

Rasch 모형을 적용한 광역교통서비스의 서비스 수준 평가 분석

온서준¹, 김수지², 장기태³, 김정화⁴

On, SeoJun¹, Kim, Suji², Jang, Kitae³, Kim, Junghwa⁴

Identifying Travel Satisfaction in Mega Commuting Trip Using Rasch Modelling

ABSTRACT

Economic development has resulted in the concentration of population and industry in the metropolitan area. Additionally, the Republic of Korea is experiencing this phenomenon, with more than half of the population living in the Seoul capital area. To alleviate this concentration of population, the Korean government implemented the new town development policy. Unfortunately, this has led to an increase in the commuting population, causing an imbalance in transportation services due to financial and policy differences in each region. This paper analyzes the level of user satisfaction with mega commuting in three aspects: mobility, accessibility, and connectivity. To objectively assess the level of user satisfaction, which is qualitative data, the Rasch Model is used to analyze the collinearity of user data. The results indicate that the level of user satisfaction differs by region, and service satisfaction with mobility is lower than that with accessibility and connectivity. Therefore, prior to the introduction of new town policies, it is necessary to develop metropolitan transportation infrastructure.

Keywords : Mega commuting, Rasch model, Travel satisfaction, User big-data

초록

2018년 기준 우리나라 수도권 인구 및 GDP 비중은 49.8%와 52.2%로 OECD 주요 31개 국가 중 4번째로 높으며, 2019년 전체의 약 50% 이상이 수도권에 거주하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 수도권 집중 현상 해결을 위해 정부는 신도시 정책으로 수도권 내 인구 균등화를 도모했고, 그 결과 수도권 내 거주 인구가 인근 신도시 및 경기, 인천으로 일부 확산하였으나, 기존 인프라로의 접근을 위해 통행이 늘어났다. 전반적인 수도권 내 통행량이 늘어난 것에 비해, 신도시 입지 선정 과정에서 지역별 예산 및 정책 차이로 발생한 교통인프라 불균형으로 이용자가 체감하는 광역교통 서비스 격차가 발생하였고, 이는 시민의 삶의 질과 직결되는 문제 중 하나로 주목받고 있다. 이러한 문제를 최소화하고자 본 연구에서는 광역교통서비스에 대한 이용자들의 설문조사 응답 결과를 바탕으로 이동성, 접근성, 연결성 세 가지 측면에서 이용자 서비스 수준 평가를 시도했다. 이용자들의 서비스 수준이라는 정성적인 결과를 객관적으로 파악하기 위해 Rasch 모형으로 서비스 수준을 객관화하여 동일선상에 서 분석했고, 그 결과 전반적으로 이용자들이 체감하는 이동성 서비스 수준이 접근성, 연결성에 비해 낮은 것을 확인하였으며 통행별 광역교통 서비스 수준 차이를 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 토대로 향후 신도시 개발 시 광역교통 인프라 개발의 중요성과 이용자 서비스 수준을 기반으로 수도권 내 지역별 광역교통서비스 개선방안을 제언했다.

검색어 : 광역교통, Rasch 모형, 통행만족도, 교통계획, 이용자 빅데이터

* 경기대학교 도시·교통공학과 석사과정 (Kyonggi University · tjwdsdhs@naver.com)

** 한국과학기술원 조천식 녹색교통대학원 박사 (KAIST · sujikim@kaist.ac.kr)

*** 중신회원 · 한국과학기술원 조천식 녹색교통대학원 교수 (KAIST · kitae.jang@kaist.ac.kr)

**** 중신회원 · 교신저자 · 경기대학교 도시·교통공학과 교수 (Corresponding Author · Kyonggi University · junghwa.kim@kyonggi.ac.kr)

Received December 23, 2022/ revised May 24, 2023/ accepted June 7, 2023

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

대한민국은 일제강점기에서 광복을 거쳐 6.25에 이르기까지 서민들의 위태롭고 급변하는 삶 속에서 일거리를 찾기 위해 도시로 점차 물리게 되었다. 이러한 경제 개발 환경으로 인해 경인선과 경부선 지역을 중심으로 경제 발전에 혜택을 받은 지역의 인구가 증가하게 되었다. 반면 이 두 지역에 해당하지 않았던 지역들은 일자리와 교통 인프라의 결여로 점차 수도권 및 대도시권으로 인구가 유출되어 수도권으로 대규모 인구이동이 발생하여 수도권 인구집중 현상이 발생하게 되었다. 수도권의 인구변화 자료에 대한 통계청의 자료에는 1985년도 전국 총인구 39.1%가 수도권 지역에 거주하고 있고, 경기도 인구 11.9%, 서울 인구 23.8%, 인천 3.4%로 구성되어 있었으나 점차 수도권 인구 비중은 점차 증가해 2000년 전체인구의 46.3%가 수도권에서 거주하였으며 통계청 「장래인구 추계 시·도·편 : 2020-2050」에 따르면 수도권은 현재 전국 인구의 약 50.4%에 해당하는 2,605만 명으로 추정되어 수도권은 인구 유입으로 인해 현재까지도 인구가 증가하는 추세이다. 이러한 수도권 지역의 지속적인 인구 유입과 신도시 개발과 함께 진행되었던 교통 주요 대책은 오히려 상당수 지연되거나 취소되었고, 지속적인 인구 증가와 더불어 통근인구와 통근 시간, 통근 거리의 증가로 나타나고 있는데, 서울 내 도시권에서는 서울 주변 지역에 건설된 신도시가 베드타운(bed town)으로 전락하면서 직주의 원격화와 장거리 통근 및 통근의 광역화 현상이 나타났다(Yoon and Kim, 2003). 또한 2016년 발표된 OECD Family Database 자료를 보면 26개 회원국의 주중 하루 평균 통근 시간은 28분(남성 33분, 여성 22분)인데 비해, 한국은 58분(남성 74분, 여성 42분)으로 나타났다. OECD 평균에 비하면 통근 시간이 타 회원국에 비해서 2배 이상의 시간을 소요할 정도로 통근 시간이 높아진 것을 확인할 수 있다.

삶의 질 및 행복도는 통근에 대한 만족도와 높은 연관성을 보인다. 일상 중 통근 시간이 긴 직장인일수록 삶의 만족도 및 행복도가 낮았으며, 특히 통근 시간이 1시간이 넘는 경우 만족도는 극히 낮아지는 것으로 나타났다(Stutzer and Frey, 2008). 또한 경기도 내에서 지역 외부 통근자는 지역 내부 통근자 대비 스트레스를 약 1.4배 더 받는 것으로 나타났다(Park, 2021). 즉, 통근 시간에 장시간 소요하는 인구를 최소화하고, 통행 시 서비스 자체의 질을 높이는 것은 단순히 이동 시 편의뿐만 아니라 삶의 질과 행복으로 이어지는 중요한 문제로 직결된다. 하지만 수도권 권역을 구성하는 각 행정구역의 지역적 특성 및 재정 및 정책의 집행 여건에 따라 권역 내 교통서비스의 격차가 발생하는 실정이며 기존 교통서비스 정책에는 이용자의 서비스 인식 수준을 기반으로 한 접근방식이

부족한 실정이다. 이에 수도권 내 거주자들이 신속하고 편리하고 쾌적하며 안전하게 광역교통을 누릴 수 있도록 광역교통서비스 수준의 양적 질적 향상을 위해 새로운 이용자 중심의 접근방식이 필요하다.

본 연구는 기존 교통서비스 측정을 위해 활용했던 정량적 자료를 기반으로 한 분석이 아닌 이용자가 체감하는 서비스 수준을 기반으로 광역교통서비스 수준을 평가 및 분석하고자 한다. 구성된 설문조사를 바탕으로 수도권 내 이용자들의 서비스 수준을 통행분류별로 분석해 설문조사를 통해 나타난 서비스 수준의 정성적 수치를 Rasch 모형을 통해 정량적인 수치로 전환하여 나타난 결괏값과 그래프를 비교 및 분석한다. 이때, 개인마다 다르게 느끼는 서비스 수준을 객관적으로 분석할 수 있도록 새롭게 제안된 Rasch 모형을 이용해 지표별로 느끼는 이용자들의 서비스 수준이라는 정성적 수치를 동일선상에서 정량화할 수 있다. 이를 통해 광역교통서비스에 대한 이용자의 서비스 수준을 토대로 광역교통서비스의 문제점 및 향후 정책 방향성을 제안하고자 한다.

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구는 수도권 광역교통 서비스를 이용하는 이용객을 대상으로 광역교통 서비스에 대해 이용자가 체감할 수 있는 지표를 이동성, 접근성, 연결성의 3가지 측면에 대해 선정한 이후 해당 지표별 서비스 수준에 대한 설문조사를 구성 및 실시하여 나타난 유형별 이용자들의 지표별 문항에 대한 서비스 수준을 분석하고자 한다. 첫 번째로 연구의 배경 및 목적을 밝힌다. 둘째, 광역 교통서비스 지표와 관련된 기존 문헌을 통한 서비스 지표선정 및 서비스 수준 분석을 정량적으로 진행한 기존 문헌을 통해 연구의 시사점을 도출한다. 셋째, 광역교통서비스를 체감할 수 있는 이용자 입장의 대표 지표를 선정하고, 선정된 지표에 맞게 설문조사를 설계한다. 넷째, 수집된 설문조사 결과를 통해 이용자들의 광역교통서비스에 대한 서비스 수준을 Rasch 모형을 통해 객관적, 정량적으로 분석하고, 분류별 서비스 수준이 낮은 항목을 도출한다. 마지막으로 연구의 결과를 요약하며 해당 연구의 한계점 및 향후 연구과제에 대해 제시한다.

2. 광역 교통서비스 정의 및 선행연구 검토

2.1 광역 교통서비스 정의 및 범위 설정

본 연구는 광역교통서비스 평가를 위해 광역 교통서비스의 수단적 범위 및 광역통행에 대한 개념 정의를 다시 설정하였다. 광역교통 서비스 평가를 위한 수단 범위는 공공의 영역에서 이동권을 보장하기 위해 제공하는 교통서비스라는 관점에서 BRT, GTX와 같은 “도로 외 버스와 철도를 포함하는 대중교통”으로 정의하였다. 광역



Fig. 1. Diagramming of Range of Mega Commuting Trip

통행을 지원하는 광역교통 서비스의 경우 일반적인 대중교통과 달리 대도시권 광역교통 관리에 관한 특별법에 따라 광역철도와 간선급행체계, 광역급행형·직행 좌석형 버스로 정의하였다. 이와 함께 광역교통은 두 개 이상의 시도를 광역교통을 이용하여 남다른 통행 행위로 정의하여 향후 분석을 진행하고자 한다.

2.2 교통서비스 지표 설정 방안에 대한 선행 정책 연구 분석

광역교통서비스에 대해 분석하기 위해서 지표를 설정하기 위해 국내에서 진행된 교통서비스 지표선정과 관련된 선행정책연구를 참고하였다. Kim et al.(2006)은 서비스라는 추상적 개념을 구체적 교통 현상과 연결하기 위해 교통서비스의 개념을 정립하였고, 다양한 지표 후보군을 설정한 이후, 해당 후보군에 대한 정량적 데이터 수치와 이용자 설문조사 결과 비교를 통해 이용자 측면에서 좁혀가는 연구를 진행하였다. Lee et al.(2009)은 대중교통 서비스 수준에 대한 진단을 위해 대중교통수단인 버스와 지하철을 대상으로 대중교통 서비스 지표를 설정하여 진행하였는데, 이때 이용자 조사 결과와 교통카드 및 BMS(Bus Managed Service) 자료와 같은 정량적 도구로 측정된 결과를 비교하여 정량적 지표와 정성적 지표에 대한 비교를 진행하였다. 제3차 대도시권 광역교통 시행계획(2017~2020) 또한 교통카드 자료, 실시간 교통정보의 정량적 수치를 통해 광역교통서비스에 대한 이용자 체감지표를 산출하였다. Park et al.(2020)은 대도시권 공간확장에 따라 늘어난 통근인구와 시간의 서비스 개선을 위해서 이용자 측면에서 교통서비스 요소를 분류하였다. 해당 교통서비스 요소 중 신뢰할 수 있는 교통카드 자료를 이용하여 측정할 수 있고 통행 가·종점 단위로 집계할 수 있는 지표를 광역교통서비스 지표로 선정하였다.

교통서비스 지표에 대한 선행연구 문헌 고찰 결과, 기존 연구 방안은 광역교통 이용자들의 서비스 체감 수준을 온전히 기반으로 하기보다 주행속도, 교통카드, BMS(Bus Management System) 자료와 같은 정량적 지표와 이용자 설문조사를 통해 산출된 이용자

서비스 수준 비교를 통해 정량적 수치를 정성적 수치와의 오차범위를 좁혀가는 연구를 진행하였다. 즉, 이용자가 체감하는 서비스 수준을 기반으로 진행되는 광역교통서비스 수준 측정 연구는 부족하며, 정성적 지표를 객관적으로 비교하기 위한 시도는 없었다. 이용자의 정량적 수치만으로 이용자의 만족도 수준을 파악하던 기존 연구들은 이용자별로 서비스에 대해 통행시간, 환승시간, 접근시간과 같은 정량적 수치는 같더라도 지역별로 실제 서비스에 대해 정량적 수준과 별개로 인식 수준은 다를 수 있다는 문제점에 관해서 별도의 연구가 부족하다. 교통서비스 수준 분석을 통해 서비스 제공자 입장이 아닌 서비스 소비자 입장에서의 서비스 수준 분석 시도가 선행연구에서는 충분히 이뤄지지 못했다. 이용자의 서비스 수준과 같은 정성적 자료를 객관적으로 비교하기 위해 정량적 자료로 치환하여 이용자의 서비스 수준 상태를 보다 객관적으로 측정하는 방안을 통해 향후 지표개발과 최저 서비스 수준 설정에 관한 연구가 필요한 시점이다. 그렇기에 이를 정량적으로 분석할 수 있도록 방법론을 모색한 이후, 광역교통서비스에 대한 이용자 수준 파악을 통해 분석을 수행하고자 한다.

3. 데이터 수집

3.1 데이터 수집 개요

광역교통서비스에 관해서 기존 연구에서 선정된 지표 중 이용자가 직접적으로 체감할 수 있으며, 이용자 관점에서 직관적으로 만족도 수준을 나타낼 수 있는 지표를 선정하기 위해 이용자가 통행 시 소요되는 통행시간 및 거리와 직접적인 연관이 있는 지표를 기반으로 선정하였다. 먼저, 광역교통 이용 시간을 나타낼 수 있는 이동성과 광역교통을 이용하기 위한 접근 용이 및 접근시간을 나타내는 접근성, 광역교통을 통한 통행 시 환승 편의 및 환승 시간을 나타내기 위한 연결성으로 선정하여 광역통행 시 통행시간에 직접적인 영향을 미치는 평가 지표를 설정하였고, 지표별로 이용자가 서비스 수준을 답변할 수 있는 설문조사 문항을 구성하였다.

해당 데이터는 설문조사 위탁 업체를 통해 서울, 인천, 경기권 내에서 광역교통 통행을 하는 광역교통 이용자를 대상으로 설문조사를 2021년 1월 29일~2월 5일간 서울, 인천, 경기권 내에서 광역교통 통행을 하는 광역교통 이용자를 대상으로 서비스 수준 설문조사를 시행하였다. 총 1,305명의 유효 표본 결과를 얻을 수 있었다. 설문조사에 대해서 거주 지역에 대한 설문 응답 결과는 서울특별시 20.2%, 인천광역시 20.2%, 경기도 59.6%로 나타났다. 성별은 남자 43.9%, 여자 56.7%, 연령대는 20대 31.4%, 30대 36.7%, 40대 19.9%, 50대 10.2%, 60대 1.9%로 나타났다. 광역통행을 이용하는 이용자의 직업군은 일반 사무 종사자 54.4%, 관리자,

전문가 및 관련 종사자 14.1% 외 다수로 이루어져 있었다. 차량을 보유한 사람은 55.7%, 차량 미보유 44.3%로 나타났다. 광역통행 수단은 광역버스 45.8%, 광역철도 30.9%, 광역버스와 철도를 모두 이용하는 비율은 23.3%로 나타났고, 통행 목적은 출근 및 등교 43.6%, 업무 통행 21.0%, 여가 및 관광 33.5%, 기타 1.8%로 이뤄져 있다. 통행 빈도는 주 1~2일 35.5%, 주 3~4일 12.8%, 주 5일 이상 29.7%, 기타 22.0%로 나타났다. 또한 설문조사를 통해 나온 광역교통서비스 이용자에 대해서 성별 통행 목적, 환승 시설 이용 유무별, 수도권 지역과 1, 2기 신도시의 광역통행 비교를 통해 다차원적으로 접근하여 조사를 진행한 결과 1기 신도시와 서울 간의 전체 통행은 188명(14.40%), 2기 신도시와 서울 간의 광역교통 서비스 통행 이용자는 78명(5.97%)으로 나타났다.

3.2 이용자 서비스 수준 측정

본 연구는 수도권 광역교통서비스 이용자의 서비스 수준을 측정 및 분석하기 위해서 서 31에서 선정한 3가지 지표별 항목에 대해서 매우 불만족, 불만족, 보통, 만족, 매우 만족의 5점 척도로 구성된 Table 1과 같이 6가지 문항으로 조사를 진행하였다. Bailes and

Table 1. Detailed Survey Items

Item	Detailed survey Item
Mobility	(M1) Travel time of Mega Commuting transports travel distance
	(M2) Overall travel distance of Mega Commuting transport
Accessibility	(A1) From Origin area to Mega commuting transportation
	(A2) From Mega commuting transportation to Destination area
Connectivity	(C1) Number of transfers while using Mega commuting transportation
	(C2) Transit time during Mega commuting transportation

Table 2. Satisfaction of Mega Commuting Service

Variable	N	Mobility		Accessibility		Connectivity		
		M	St.d	M	St.d	M	St.d	
Gender	Man	567	3.47	0.78	3.17	0.86	3.33	0.78
	Woman	736	3.02	0.90	3.44	0.77	3.18	0.83
Spatial classification of Trip	Seoul to Kyounggi	229	3.35	0.75	3.02	0.82	3.17	0.76
	Kyounggi to Seoul	577	3.10	0.91	3.48	0.80	3.25	0.82
	Seoul to Incheon	39	3.16	0.85	3.51	0.61	3.46	0.75
	Incheon to Seoul	194	3.02	0.89	3.44	0.73	3.25	0.90
	1 st Newtown	188	3.05	0.94	3.43	0.83	3.13	0.74
	2 nd Newtown	78	3.17	0.84	3.45	0.66	3.30	0.85

Nandakumar(2020)은 Rasch 모형 분석 시 최소 10명 이상의 표본이 필요하다고 하였고, 각 항목별로 최소 30인 이상의 표본이 충족되었다.

문항 구성 시 각 지표를 대표할 수 있는 요소를 선정했다. 이동성을 통행 거리와 통행시간, 접근성은 출발지와 도착지에 대한 광역교통서비스로부터의 접근 거리 및 시간 연결성은 환승 횟수 및 환승 소요 시간에 대한 요소를 선정하여 문항을 기술하였다.

4. Rasch 모형 적용방안 검토

설문조사를 통해 이용자의 행태를 측정하기 위한 문항이 이용자 들의 환경 및 성향, 지식수준에 따라서 다양한 난이도 차이를 보일 수 있다. 이러한 난이도 차이를 객관적으로 분석하기 위해서 피험자의 능력과 문항의 난이도 및 변별력 등을 측정 및 분석하는 IRT(Item Response Theory) 이론이 존재한다. Rasch 모형은 심리 측정 분야에서 1960년 Georg Rasch에 의해 제안되었으며, 문항에 대한 응답자의 반응을 수리적 공식에 의해 추정하는 통계 모형이다(Battisti et al., 2003). Rasch 모형은 이러한 IRT 이론의 특수한 형태로 여타 IRT 모형처럼 문항의 난이도 이외의 특성을 고려하지 않고 문항의 난이도만을 고려하는 특징을 가지는 모형으로, 피험자 능력을 추정하기 위하여 2-모수 또는 3-모수 문항 반응 모형들이 문항 변별도와 추측 모수들을 모형안에 포함하는 반면에, 문항 난이도만을 포함하기 때문에 비교적 단순한 형태를 보이게 된다. Rasch 모형은 ‘단순한 로지스틱 모형’이라고 불리기도 하며, 단순성(simplicity)은 측정을 보다 안정되게 해 줄 수 있는 것으로 간주한다(Wright and Panchapakesan, 1969). 또한 피험자의 개인적인 특성이 다름에도 불구하고 문항의 난이도를 파악 및 문항의 적절성을 평가하는 모형으로, 일반통계학과 달리 Rasch 모형에서는 응답자가 정답을 제공할 확률이 응답자의 능력과 문항의 난이도의 선형적 방식에 의해 산출되는데 이를 Rasch 모형이 가진 가법결합 측정(additive conjoint measurement)이라 한다. 즉, 응답자가

정답으로 응답할 확률을 로짓 변환시킴으로써 가법적 형태로 만들어 낼 수 있다. 즉, Rasch 모형은 동일한 측정 도구를 이용하여 어떤 속성이든지 동일한 척도로 값을 나타낼 수 있다는 장점과 해당 척도에 대한 문항 난이도를 단순화하여 객관적으로 수치화할 수 있다는 장점이 존재한다.

Inputs:

$$\text{Subject to } P_r \{X_{vi} = x\} = \frac{\exp(\beta_v - \delta_i)}{1 + \exp(\beta_v - \delta_i)} \quad (1)$$

such that

$$P_r \{X_{vi} = x\} = \frac{\exp(\beta_v - \delta_i)}{1 + \exp(\beta_v - \delta_i)} \quad (2)$$

$$X_{vi} = x \in \{0, 1, \dots, mi\} \quad (3)$$

Subject to

$$\begin{aligned} \text{Logit} P_r \{X_{vi} = x\} &= \ln \left[\frac{P(X_{vi})}{1 - P(X_{vi})} \right] \\ &= \ln [\exp(\beta_v - \delta_i)] = \beta_v - \delta_i \end{aligned} \quad (4)$$

X_{vi} 피험자의 반응

β_n 피험자의 능력 혹은 피험자의 서비스 항목에 대한 익숙함

δ_i 문항 i 의 난이도(문항에 대한 익숙함)

mi 문항의 최대 척도(5점)

Decision variables:

- $(\beta_v - \delta_i) < 0.5$, 피험자의 능력이 문항 난이도보다 낮을 때
 즉, 피험자가 문항에 대한 익숙할 때
- > 0.5 , 피험자의 능력이 문항 난이도보다 높을 때
 즉, 피험자가 문항 상황에 대해 익숙하지 않을 때
- $= 0.5$. 피험자의 능력과 문항 난이도가 같을 때
 즉, 피험자가 문항에 대해 익숙하게 느끼는 수준이 보통일 때

응답자(이하 피험자라고 한다)의 문항별 문항 난이도 분석을 위한 조건부 함수 (1)은 피험자와 문항 간의 조건부 확률로, 해당 값을 통해 문항의 난이도를 객관적으로 산출한다. 여기서 (2)는 문항 응답에 대한 확률변수이고, (3)는 피험자 n 이 문항 i 의 척도에 반응할 조건부 확률을 의미한다. (4)는 (1)식의 로짓 변환 형태로

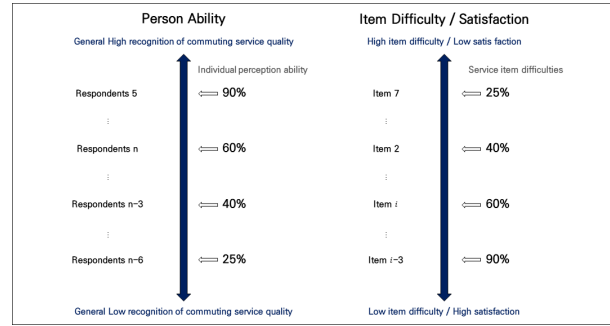


Fig. 2. Wu and Adams (2007), Illustration of Application and Link Scores on Items and Persons

가법적 형태로 만들어 문항 난이도를 측정할 수 있게 값이 산출된다.

Rasch 모형을 통해 산출된 값을 일종의 그래프를 통해 더 쉽게 확인할 수 있는데, Wu and Adams(2007)에 따르면 Rasch 분석을 통해서 피험자의 능력 척도는 왼쪽에 수직으로 나타내고, 오른쪽에는 위의 일련의 수학적 과정을 통해서 피험자의 능력별로 수학적인 위치를 나타낸 값이 수직으로 표현될 수 있게 되어 있다. 이를 Wright Map 이하 피험자 문항 분포표를 통해 하나의 그래프로 나타내어, 동일한 척도상에 피험자들의 능력과 문항의 난이도를 표현할 수 있다. 즉, 문항에 대한 서비스 수준과 피험자들의 난이도를 하나의 척도상에 나타내어 문항에 대한 객관적 분석을 할 수 있다. 이러한 Rasch 모형에 대해서 문항의 난이도는 문항에 대해 익숙함으로 나타낼 수 있다. Chang et al.(2010)은 노인 버스 이용객에 대해서 서비스 제공자 입장에서 각 노인 이용객의 버스 이용 능력 수준을 측정하였다. Kim et al.(2018)에서는 문항의 난이도가 높을수록, 문항에 대해 익숙함이 낮아 관련된 서비스에 대해서 느끼는 어려움이 높고 익숙하지 않은 것으로 가정하여 환승 시설 서비스에 대한 수준 분석을 진행했고, Rasch 모형이 피험자의 개인적인 특성을 고려하지 않은 객관화된 서비스 수준 측정 모델로 제안하였다. 이를 통해 철도시설 이용객을 대상으로 한 Rasch 모형 분석을 진행하였다. 즉, Rasch 모형을 통해 분석된 문항의 난이도를 통해 서비스 수준을 측정하여 광역교통서비스에 대한 전반적인 서비스 수준을 지표별로 파악하여 나타난 통행별 서비스 수준 차이를 도출할 수 있다. Fig 2는 Wu and Adams의 그림을 활용하여 피험자 능력과 문항 난이도 파악을 통해 파악하는 서비스 수준 방안을 도식화하였다. 본 연구는 광역교통서비스 이용자의 환경 지식수준, 지역 등 개인적인 특성에 따라 다르게 느끼는 서비스 수준에 대해 객관화된 서비스의 측정 및 분석을 할 수 있는 Rasch 모형을 사용하여 지표별 광역교통서비스에 대해 객관화된 측정 및 분석을 시도한다.

5. Rasch 모형 분석 결과

5.1 문항 신뢰도 및 적합도 분석

광역교통이용자들의 서비스에 대해 익숙함을 분석하기 위해서 3가지의 지표 이동성, 접근성, 연결성에 대해 목적별로 문항의 난이도를 구분했다. 해당 분석을 위해 Winsteps 53.0 버전을 통해

Table 3. Difficulty and Fitness of Trip Classification

Trip classification	Infit		Outfit	
	MNSQ	Zstd	MNSQ	Zstd
Man	0.99	-0.38	0.97	-0.65
Woman	0.99	-0.44	0.98	-0.59
Kyonggi to Seoul	0.99	-0.31	0.98	-0.51
Incheon to Seoul	0.97	-0.30	0.97	-0.33
Seoul to Kyonggi	0.98	-0.40	0.95	-0.64
Seoul to Incheon	0.96	-0.19	1.00	-0.04
1 st Newtown	1.02	-0.08	1.01	-0.17
2 nd Newtown	0.97	-0.23	0.98	-0.17

서 다항 Rasch 모형 분석을 수행했다. 분석 이전에 문항에 대해서 요인 분석을 시행한 결과 결괏값이 0.882로 도출되어 상관관계가 높은 편임을 확인할 수 있었고, 유의확률은 0.5보다 낮아 설문 항목이 적합함을 확인할 수 있었다. 또한 항목 추정치의 평균을 0으로 설정하고 최대우도 추정법을 사용하였다. 먼저 구성 문항에 대한 내적 신뢰도를 파악하기 위해 Cronbach's α 를 통해 신뢰도 검사를 진행하였다. 해당 결괏값은 0과 1 사이이며, 결괏값이 0.7보다 높다면 신뢰성이 있는 것으로 판단하고, 0.9 이상일시 신뢰성이 매우 높은 편이라고 판단한다(Bond and Fox, 2001). 신뢰성 분석 결과 이동성 문항의 신뢰도가 0.844, 접근성 문항의 신뢰도가 0.748, 연결성 문항의 신뢰도가 0.768로 나타나 설문 항목을 신뢰할 수 있는 것을 확인하였다.

해당 이용자의 문항 난이도 분석을 위해서 설정된 각 문항은 5점 척도 문항이기 때문에 $m_i = 5$ 가 되며, $X_{vi} = x \in \{1, \dots$

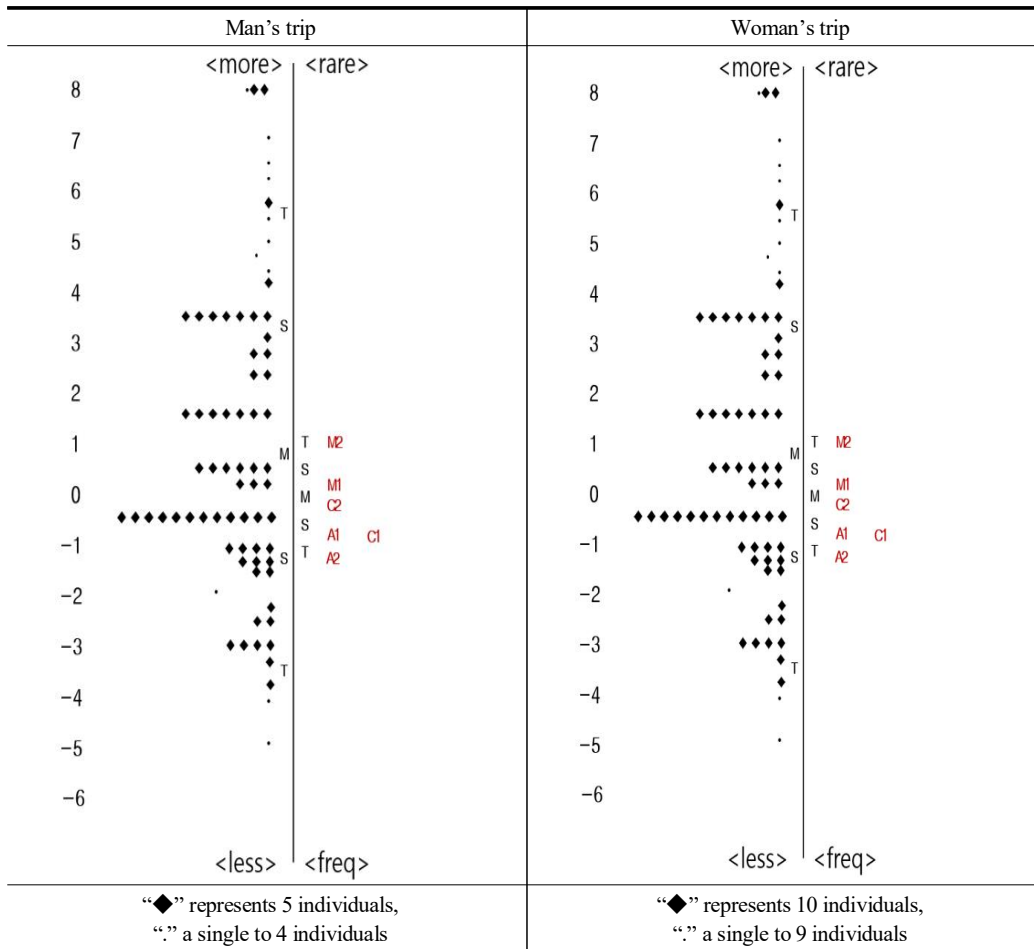


Fig. 3. Wright Map by Trip Classification 1

※'M' represents the means of respondents and items. Term 'S' represents one-sample standard deviation, and 'T' is for a two-sample standard deviation. M1, M2, A1, A2, C1, C2 are the criteria introduced in Table 1.

5}이다. Table 3은 서비스 수준 검사를 위한 척도 문항의 문항 난이도와 문항 적합도 지수값(Infit/Outfit)을 확인할 수 있다. Bond and Fox(2015)에 따르면, 해당 값이 2.0 이상일시 부적합한 결과치가 영향을 미치 결과치를 저하하고, 1.5 이상일시 부적합한 결과를 보이지만 결과치 구성에는 영향을 미치지 않는다. 0.5보다 낮은 경우, 결과치가 유의미하지 못할 정도의 측정상 오류는 없으나, 평이한 결과로 해석할 수 있다. 결과적으로 0.7과 1.3의 범위에 있을 때 문항 적합도가 가장 적절한 것으로 해석할 수 있다. Shon et al.(2021)에 따르면 여러 국내연구에서도 적합도 내적 적합도 기준을 0.5에서 1.5 내외로 설정하여 연구 결과를 도출하고 있다. Table 3에 해당 결괏값은 전반적으로 0.5 이상 1.5 이하로 유의미한 결과치를 보여 적합함을 알 수 있다.

5.2 데이터를 통한 서비스 수준 측정 및 분석 결과

Rasch 모형 분석에서 Wright Map(피험자 문항 분포표)은 문항의 난이도와 피험자의 능력을 동일한 측정 척도상에 배치하여 객관적으로 확인할 수 있는 표로, 이를 통해 피험자의 능력과 문항을 비교하여 적절한 측정이 이뤄졌는지 확인할 수 있다(Wu and Adams, 2007). 이때 문항의 난이도는 광역교통서비스에 대한 이용자의 익숙함에 반비례하므로, 하단에 위치할수록 문항에 대해 익숙함이 높은 것을 알 수 있으므로 해당 피험자 문항 분포표를 통해서 서비스에 대한 이용자의 능력 및 문항의 난이도를 확인할 수 있다. 이에 대한 해석 시 M의 값은 피험자와 항목의 평균치를 나타내고, S는 1-표본 표준편차(약 68%)를 나타낸다. T는 2-표본 표준편차(95%)에 대해서 나타낸다. 각 M1, M2, A1, A2, C1, C2는 Table 1에서와 같이 이동성, 접근성, 연결성에 대한 문항의 값을 나타낸다.

Fig. 3을 통해 남녀 간의 통행을 확인하였을 때 남성이 대비

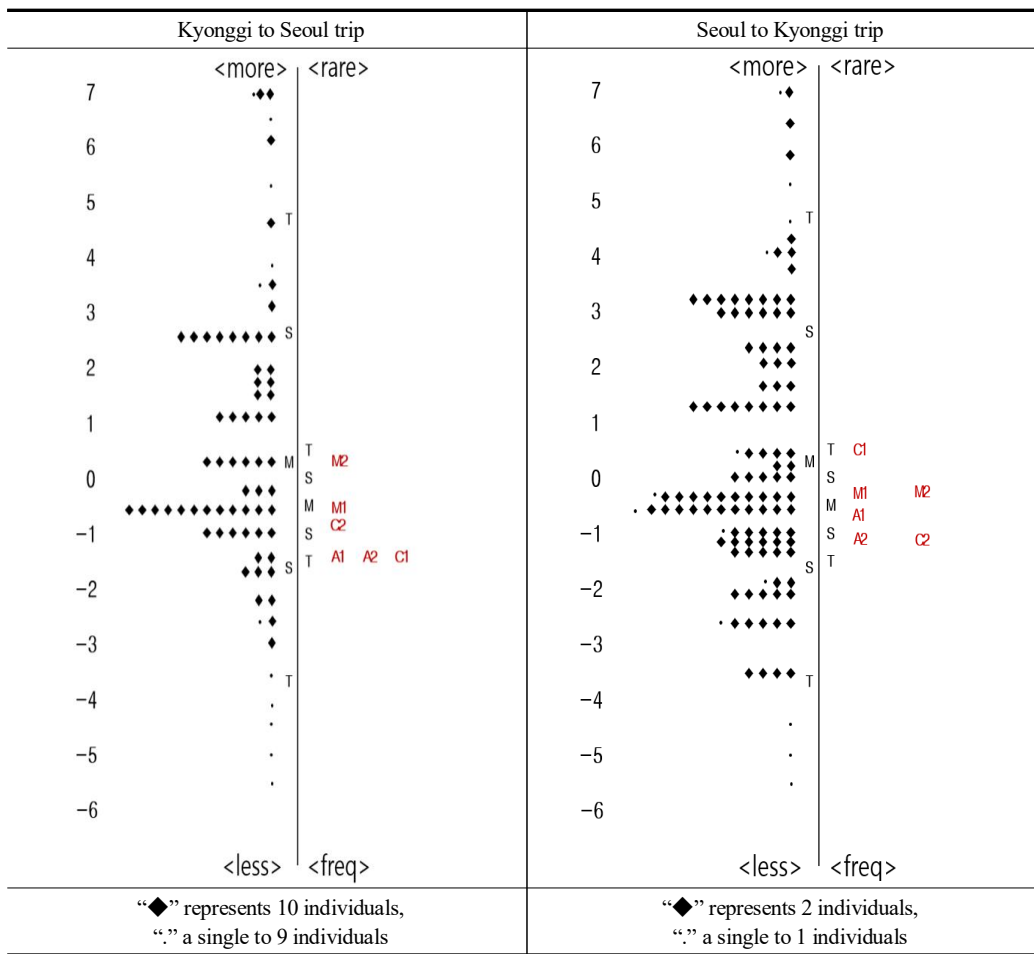


Fig. 4. Wright Map by Trip Classification 2

※'M' represents the means of respondents and items. Term 'S' represents one-sample standard deviation, and 'T' is for a two-sample standard deviation. M1, M2, A1, A2, C1, C2 are the criteria introduced in Table 1.

광역교통서비스에 대해 문항 난이도가 낮게 즉, 광역교통서비스에 대해 익숙함이 높은 편임을 알 수 있으며, 인구 분포 역시 평균값 근처에 과반수가 분포하는 양상을 보인다. 지표별 확인 시, 대부분 비슷한 양상을 보였으나, 비교적 여성이 광역교통서비스를 통해 도착지까지 접근할 때의 접근성에 대한 서비스 수준이 더 높게 나타났다.

Fig 4의 Wright Map은 경기도와 서울 간의 통행에 대한 피험자 문항 분포표이다. 이를 통해서 나타난 결과로 전반적인 광역교통 이용자의 능력이 문항 난이도보다 높게 나타났으며, 경기와 서울 간의 통행에서 접근성은 문항 난이도가 전반적으로 낮아 광역교통 서비스에 대한 접근성 문항에 대해 이용자들의 익숙함이 높은 양상을 보였고, 이동성에 대해서는 문항 난이도가 높은 것으로 나타났다. 연결성 지표에 대한 문항의 응답에서 두 통행의 양상이 다른 것을 확인할 수 있는데, 연결성 문항에 대한 서울에서 경기도로

광역교통서비스를 이용할 때 환승 횟수에 대한 문항 난이도가 전체 지표 중에서 가장 높으나, 경기도에서 서울로 갈 시에는 환승 소요 시간에 대한 문항의 난이도가 더 높은 것으로 나타났다. 즉, 경기도와 서울 간의 전반적인 통행은 접근성에 대한 이용자의 능력치가 상대적으로 높고, 광역교통서비스의 이동 소요 간에 대한 이용자의 능력치가 가장 낮게 나타났다.

Fig 5의 인천과 서울 간 통행에 대한 피험자 문항 분포표를 확인하면 인천과 서울 간 통행 역시 전반적인 피험자의 능력이 문항 난이도 대비 높은 것을 확인했고, 이는 광역교통서비스에 대한 전반적인 서비스 수준이 갖춰진 것을 확인할 수 있다. 서울에서 인천 간 통행에 대한 피험자의 능력치가 일관되지 않게 분산된 내용을 확인할 수 있는데 이는 각기 통행에 대한 서비스 인식 차이가 다르다는 것을 확인할 수 있다. 이동성 지표인 M1, M2에 대한 이용자의 문항 난이도가 최상단에 위치했고, A1에 대한 문항

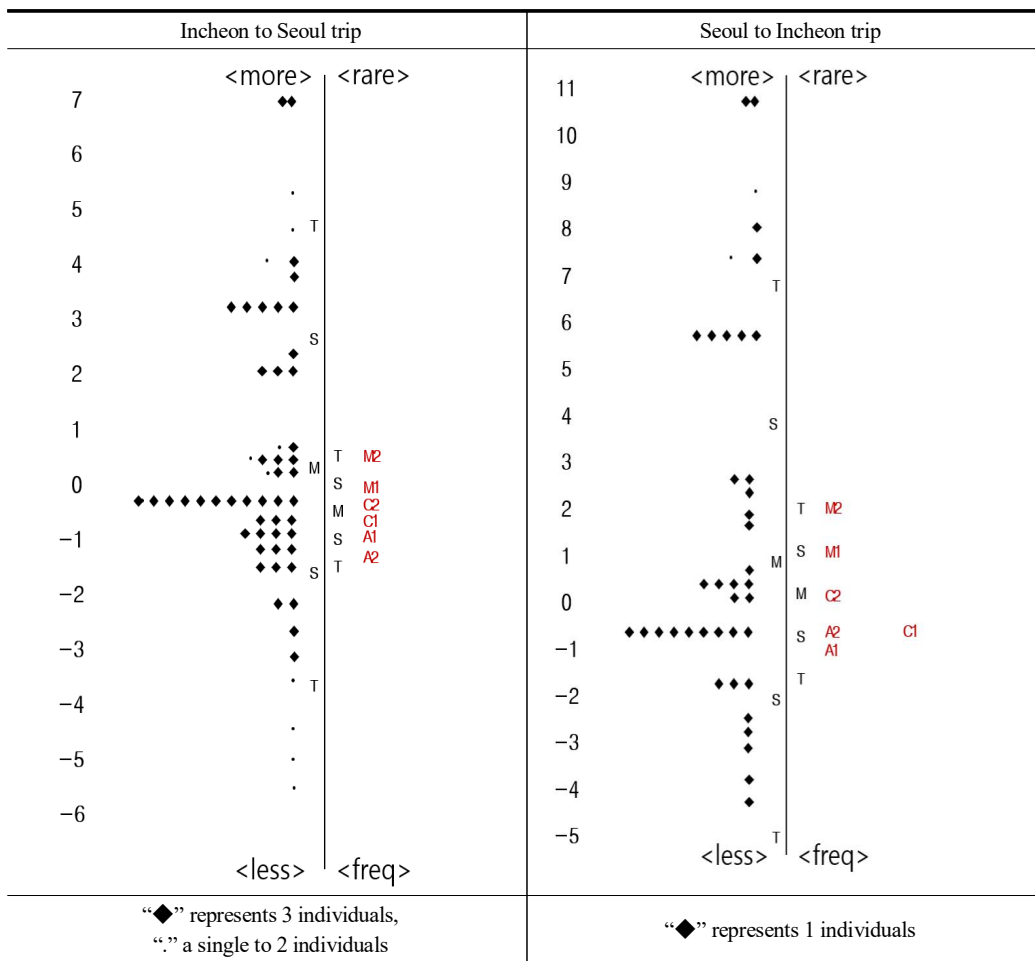


Fig. 5. Wright Map by Trip Classification 3

※'M' represents the means of respondents and items. Term 'S' represents one-sample standard deviation, and 'T' is for a two-sample standard deviation. M1, M2, A1, A2, C1, C2 are the criteria introduced in Table 1.

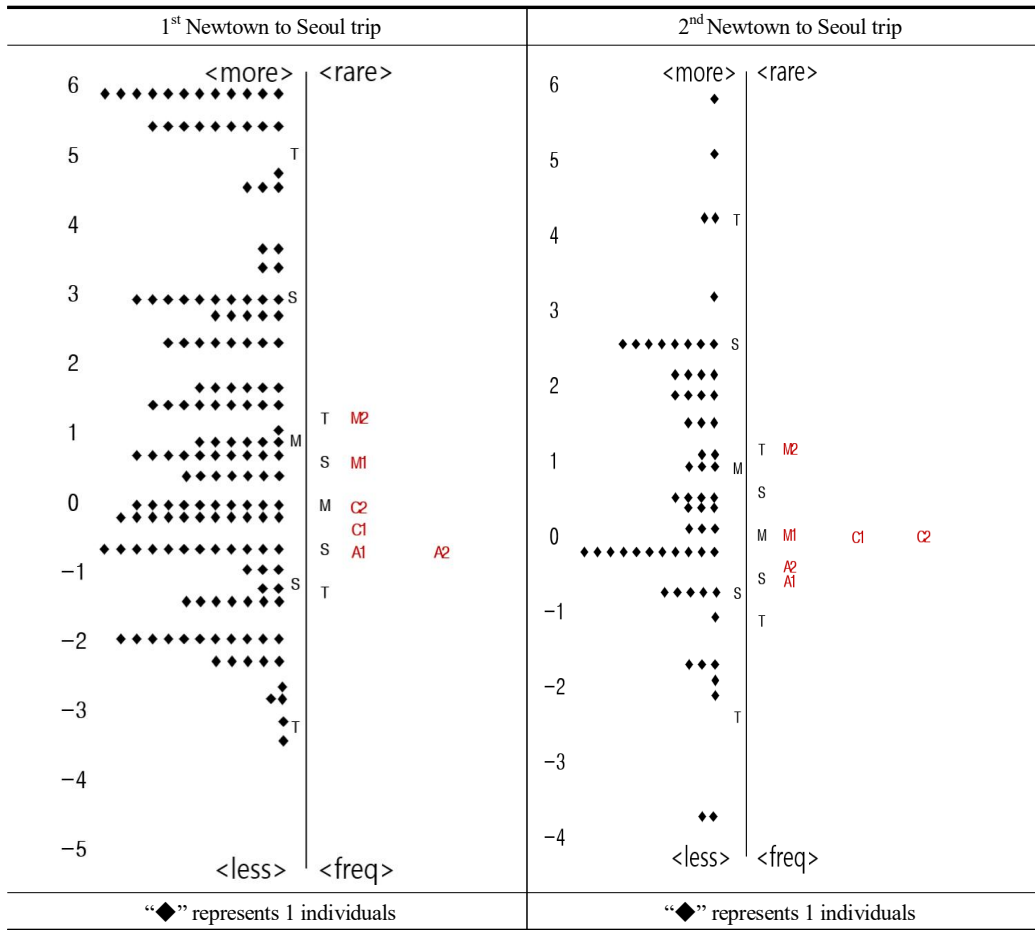


Fig. 6. Wright Map by Trip Classification 4

※'M' represents the means of respondents and items. Term 'S' represents one-sample standard deviation, and 'T' is for a two-sample standard deviation. M1, M2, A1, A2, C1, C2 are the criteria introduced in Table 1.

난이도가 가장 낮게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 이는 이동성에 대한 서비스 수준이 가장 낮게 나타났으며, 접근성에 대한 서비스 수준이 측정된 지표 중 가장 높은 것을 확인할 수 있다.

Fig. 6에서 대도시권 인구 유입의 주원인 중 하나인 신도시 개발 사업에 따른 신도시의 거주 인구의 신도시와 서울 간의 광역통행을 확인하기 위한 1기, 2기 신도시와 서울 간의 피험자 문항 분포표를 통해 확인한 결과 1기 신도시는 전반적으로 M2의 결과치가 가장 높고, 접근성 지표 질문과 더불어 C1, 환승 횟수에 대한 문항 난이도가 가장 낮게 나타났다. 이는 이동 시 전체거리 대비 이동시간에 대한 서비스 인식이 가장 낮은 것을 확인할 수 있으며, 상대적으로 접근성과 C1(환승 소요 시간에 대한 문항)이 높게 형성된 걸 확인할 수 있다. 2기 신도시의 경우 역시 M2에 대한 결과치가 가장 높고 접근성 지표 질문과 더불어 C1, 환승 횟수에 대한 문항 난이도가 가장 낮게 나타났다. 전반적인 신도시에 대해서 이동성 지표에 대한 서비스 수준이 타 지표의 서비스 수준에 비해

뒤떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

5.3 항목별 문항 난이도 수치 분석

전반적인 문항이 피험자의 능력에 비해 쉬우면 상대적으로 해당 문항에 대해 익숙함이 높아 서비스 수준이 높은 것으로 파악할 수 있고, 반대로, 문항이 피험자의 능력에 비해 어려우면 서비스 수준이 상대적으로 떨어지는 것을 확인할 수 있다. Table 4는 문항의 난이도를 수치화하여 각 통행 목적과 문항별 결과값을 기술한 것이다. 이를 통해서 문항 난이도에 대해서 파악해보면 먼저 이동성 문항에 대한 난이도는 전체 통행 중 서울과 인천 간의 통행의 이동성 문항 난이도 값이 M1=0.55, M2=1.65로 가장 높게 나타났으며, 접근성 지표에 대해 분석한 결과 전반적인 문항의 난이도는 평균치보다 낮게 나왔지만 상대적으로 서울 경기 통행의 A1의 문항 난이도가 -0.22, 2기 신도시와 서울 간의 통행에 A2의 문항 난이도가 -0.31로 가장 높았다. 연결성 지표에 관해서 확인하

Table 4. Item Difficulties (δ_i) and Rank Analysis for Item Satisfaction by Trip Classification

Trip classification	Mobility		Accessibility		Connectivity	
	M1	M2	A1	A2	C1	C2
Man	0.24	1.10	-0.41	-0.47	-0.46	-0.01
Woman	0.31	1.10	-0.50	-0.61	-0.42	0.11
Kyonggi to Seoul	0.25	0.11	-0.56	-0.45	-0.37	0.03
Incheon to Seoul	0.11	1.03	-0.41	-0.81	-0.26	0.44
Seoul to Kyonggi	0.19	0.22	-0.22	-0.65	1.04	-0.58
Seoul to Incheon	0.55	1.65	-0.90	-0.76	-0.52	-0.03
1 st Newtown	0.26	1.05	-0.37	-0.50	-0.52	0.05
2 nd Newtown	0.00	0.96	-0.39	-0.31	-0.26	0.01

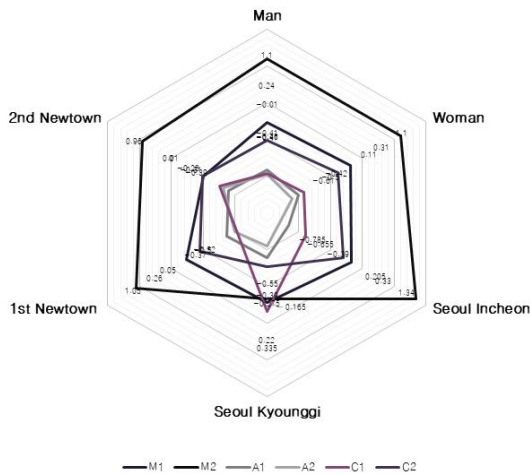


Fig. 7. Mean Value of Item Difficulty Estimates by Trip Classification

면, 경기도와 서울 간의 통행에서 경기에서 서울로의 통행의 C1 문항의 문항 난이도가 1.04, 인천에서 서울로의 통행의 C2 문항 난이도가 0.44로 문항 난이도가 가장 높았다. 이에 대한 Table 6의 결과값에 대해서 Fig. 7를 통해 표현하였다.

문항 난이도에 대해서 나타낸 Fig 7를 통해서 남·여별 통행의 경우 거의 비슷한 양상을 드러냈으나, 접근성 측면에서 여성이 남성 대비 문항 난이도를 더 낮게 체감하여 서비스 수준이 더 높은 것을 확인할 수 있었다. 통행 별 지표에 대한 각각의 문항의 난이도를 파악하면 이동성 문항의 서비스 수준이 가장 낮게 형성되고 있는 것을 확인할 수 있었고, 접근성 지표의 서비스 수준은 타 지표에 비해 상대적으로 높은 편임을 확인할 수 있었다. 혼잡성 지표 문항 중 환승 소요 간에 대한 서비스 수준은 서울과 경기 간의 통행이 타 통행에 비해서 뚜렷하게 낮은 것을 확인할 수 있었다.

6. 결론

Lee et al(2009)에 따르면 과거 대비 거주 인구가 수도권 전역으로 확대되면서, 점차 주거 이동유형이 장거리 교외지 이동으로 전환되는 추세이고 이로 인한 서울의 주거 교외화가 광역화되었다. 이러한 주거 이동유형에 맞춰 광역 교통수단의 개발 및 발전이 광역교통서비스 정책에 있어서 더욱이 중요해졌다. 현재의 수도권의 인구는 지속적인 포화상태를 유지하고 있고, 이에 따라 정책적으로 수도권 내 광역교통서비스의 신규 도입을 통해 시민들의 불편함을 해결하기 위한 시도가 다수 진행되고 있다. 하지만 신규 광역교통수단의 도입은 광역교통서비스에 대한 이용자의 서비스 수준에 기반한 분석 결과를 토대로 이뤄지지 않은 채 정책이 수립되고 있다. 그렇기에 본 연구에서는 Rasch 모형 분석을 통해서 수도권 내 광역교통서비스에 대한 이용자들의 서비스 수준 측정을 통해 지표별 문제점을 파악하였다. 이동성, 접근성, 연결성의 3가지 측면에서 측정된 광역교통서비스에 대해 6가지 문항을 통해서 광역통행 이용자를 대상으로 서비스 수준을 설문하였고, 성별 분류와 서울과 경기, 인천, 1, 2기 신도시로 통행을 분류하여 서비스 수준을 통행별 분류 분석하였다.

광역교통서비스 지표별 이용자들의 서비스 수준 분석 결과 이동성 지표는 전반적으로 난이도가 타 지표에 비해 높게 나타나 이용자들이 민감하게 반응하는 서비스 지표인 동시에 서비스 수준이 타 지표보다 낮게 나타났다. 남·여 간 서비스 수준 차이는 그 차이가 미묘하여 전반적으로 비슷한 양상으로 보였고, 각 항목의 평균치 결과 역시 비슷하게 나타난 것을 확인하였고 이를 통해 광역교통서비스 수준에 대해 성별에 의한 큰 차이는 발생하지 않은 것으로 확인되었다.

첫째, 이동성 측면에서 서비스 수준을 분석한 결과 서비스 수준이 가장 낮은 서울과 인천 간의 통행이다. Han and Lee(2021)에 따르면 서울과 인천 간 통근 통행 및 주거 비중이 꾸준히 높아지고

있는 추세이다. 늘어나는 광역통행에 대응하여 기존 인프라 내 광역교통 노선 증대 및 노선의 간결성을 통해 전반적인 통행시간을 줄이기 위한 정책적 고려가 이뤄져야 한다. 더불어 신규 광역교통수단에 대해 기존 인프라와의 조화에 대한 고려로 서울과 인천 간 통행에 대해 이동성 지표 중심의 개선대책 마련이 필요함을 제언한다.

둘째, 접근성 측면에서 서비스 수준을 분석 결과가 서울과 2기 신도시의 광역통행이 가장 낮은 결과를 보였다. 판교와 위례 신도시를 제외한 2기 신도시는 입지적으로 서울 도심까지 거리가 30 km 이상 떨어져 있으며, 거리상 문제해결을 위해 신분당선과 김포 도시철도 등의 새로운 광역교통 서비스를 도입해왔으나, Kim and Lee(2020)에 따르면 현재 2기 신도시는 주거 업무시설의 도입이 인프라 및 서비스 시설보다 더 빨랐고, 광역교통시설 도입 과정에서 일부 사업 진행이 늦춰지며 아직 2기 신도시 내 일부 지역에 대해 광역 교통수단 도입이 완전히 이뤄지지 않아 접근성의 문제가 발생하고 있다. 이에 현재 진행되는 사업과 향후 신도시 계획 방향성에 대해서 주택 공급진행 이전에 광역교통 노선계획을 주거계획과 동시에 진행되어 이동성 및 접근성 문제 발생을 정책적으로 사전에 방지해야 할 것을 제언한다.

셋째, 연결성 지표에 대해서는 경기도와 서울 간 통행의 서비스 수준이 낮게 나타났다. Park and Oh(2022)에 따르면 다양한 경기도 권에서의 통행에 대해서 단일 노선을 통해 서울을 통행하는 노선이 대도시와 주변 중소 도시 간의 생활권 단절, 환경문제 등의 문제로 인해 평면적인 시설확장에도 불균형 발생이라는 한계에 부딪힌 상황이다. 이에 일부 지역에서의 광역 교통서비스 공급은 충분히 고려되지 않아 통행 시 환승이 요구되는 광역통행을 하는 빈도가 높게 나타나게 되었다. 향후 집중된 광역통행노선을 분산하는 교통 인프라 개선을 통해 광역통행을 분산시키고 환승 지점을 광역환승 센터 사업 도입을 통해 환승 여건을 개선하여 경기와 서울 간 통행 환승 서비스 수준 향상을 위한 정책적 시도가 필요하다.

본 연구의 한계점은 지표 설정 시 다양한 이용자의 시점에서 더 다양한 문제점을 파악할 수 없다는 점이다. 이동성, 접근성, 연결성 이외의 광역교통서비스의 부가적 지표(혼잡성, 신뢰성, 쾌적성 등)에 대한 이용자들의 서비스 수준 조사를 통해 광역교통서비스를 대표하는 동시에 광역교통서비스에 대한 이용자의 서비스 인식 수준을 파악할 수 있는 지표별 서비스 수준을 파악하여 서비스 수준 격차를 심층적으로 다룰 필요가 있고, 본 연구의 문항 구성 대비 서비스 지표에 관련된 문항 구성 시 서비스 수준을 대표할 수 있는 문항을 구성하기 위해 전문가 설문조사를 통한 지표별 다양한 핵심 요소를 보다 심층적으로 파악해야 할 필요성이 존재한다. 또한 본 연구 진행은 수도권을 대상으로 한정된 연구를 진행하여 타 광역권별 도시에 적용하는 것에 있어 한계점이 존재하며 실제


광역통행 인구수 반영에 있어서 지역별 현실적인 인구 반영이 온전히 이뤄지지 않았다는 연구한계점이 존재한다. 향후 연구를 통해 지표별 기준을 통한 서비스 수준의 정량화 방안과 부가적 교통서비스 지표를 다뤄 대도시권별, 광역권별 광역교통서비스의 최저 서비스 기준을 적용하여, 지역별 격차로 인해 발생하는 교통서비스의 격차가 삶의 질의 하락으로 이어지지 않도록 기준안을 마련하는 후속 연구가 필요하다. 또한 설문 인구수에 대해 현재 Yoon and Kim(2014)는 신도시별 인구 조사가 명확한 행정 구분을 통해 이뤄지지 않는다고 하였고, 이를 통해 광역교통서비스에 대한 주요 교통축을 설정하여 설정된 교통축별 광역교통서비스 이용자 수 조사를 통해 지역별 광역통행 이용자 수를 파악하는 조사가 행해져 향후 연구 진행 시 광역 축별 이용자 비율을 설문조사 표본 선정에 반영하여 광역교통 취약지역에 관한 연구가 행해져야 한다.

감사의 글

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022R1F1A1072540).

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. 2022R1F1A1072540).

ORCID

Seojun On  <https://orcid.org/0000-0003-3884-3866>

References

- Bailes, L. P. and Nandakumar, R. (2020). "Get the most from your survey: an application of rasch analysis for education leaders." *International Journal of Education Policy & Leadership*, PDK, Vol. 16, No. 2, <https://doi.org/10.22230/ijepl.2020v16n2a857>.
- Battisti, F., Nicolini, G. and Salini, S. (2003). "The Rasch model to measure service quality." *UNIMI Economics Working Paper*, SSRN, No. 27, pp. 1-13, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.628004>.
- Bond, T. G. and Fox, C. M. (2001). *Applying the rasch model: Fundamental measurement in the human sciences*, 1st edition, Routledge, New York, USA.
- Bond, T. G. and Fox, C. M. (2015). *Applying the Rasch model: Fundamental measurement in the human sciences*, 3rd edition, Mahwah, NJ: L. Erlbaum.
- Chang, H. L. and Wu, S. C. (2010). "Applying the Rasch measurement to explore elderly passengers' abilities and difficulties when using buses in Taipei." *Journal of Advanced Transportation*, Hindawi,

- Vol. 44, No. 3, pp. 134-149, <https://doi.org/10.1002/atr.127>.
- Han, J. and Lee, G. (2021). *Empirical Understanding of Sudokwon's Growth Patterns Based on Socioeconomic Movements and its Implications*, Seoul Institute (in Korean).
- Kim, H. J., Kim, J. H., Yi, C. Y. and Yoon, H. J. (2006). *Development and Application of Transportation Service Indicator*, KRIHS 2006-29, KRIHS (in Korean).
- Kim, S. and Lee, S. (2020). "Determinants of residential environment satisfaction in the second-generation new towns of the Seoul Metropolitan Area using web crawling and text mining." *Journal of Korea Planning Association*, KPA, Vol. 55, No. 7, pp. 5-20, <https://doi.org/10.17208/jkpa.2020.12.55.7.5> (in Korean).
- Kim, J., Schmöcker, J. D., Yu, J. W. and Choi, J. Y. (2018). "Service quality evaluation for urban rail transfer facilities with Rasch analysis." *Travel Behaviour and Society*, Elsevier, Vol. 13, pp. 26-35, <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2018.05.002>.
- Lee, S. H., Kim, S. G., Kim, W. H., Kim, S. J., Lee, C., Park, J. H., Choi, S. H. and Sung, K. B. (2009). *A Study on the Public Transportation Service Index Development (2nd Phase)*, Seoul Development Institute (in Korean).
- Park, K. C. (2021). *Quality of Daily Travel in Gyeonggi-Do*, Gyeonggi Reaserach Institute (in Korean).
- Park, J. and Oh, J. T. (2022). "A study of strategies to improve the metropolitan road transportation in the capital area through the analysis of road traffic congestion." *Journal of Korean Society of Transportation*, KST, Vol. 40, No. 1, pp. 69-80, <https://doi.org/10.7470/jkst.2022.40.1.069> (in Korean).
- Park, S., Yoo, H., Kim, G. J. and Park, J. (2020). *Metropolitan Transportation Service Indicators Development*, The Korea Transport Institute (in Korean).
- Sohn, W. S., Yu, S. B., Shin, Y., Noh, H., Park, S., Kim, D. W., Park, M., Kim, N., Lee, B., Shin, E. and Park, C. (2021). "Development and validation of the core competency scale for primary pre-service teachers: applications of factor and rasch analyses." *Teacher Education Research, Research Institute for Science Education*, Vol. 60, No. 4, pp. 683-698, <https://doi.org/10.15812/ter.60.4.202112.683> (in Korean).
- Stutzer, A. and Frey, B. S. (2008). "Stress that doesn't pay: the commuting paradox." *The Scandinavian Journal of Economics*, Wiley, Vol. 110, No. 2, pp. 339-366, <https://doi.org/10.1111/j.1467-9442.2008.00542.x>.
- Wright, B. D. and Panchapakeson, N. (1969). "A procedure for sample-free item analysis." *Educational and Psychological Measurement*, Sage, Vol. 29, No. 1, pp. 23-48, <https://doi.org/10.1177/001316446902900102>.
- Wu, M. and Adams, R. (2007). *Applying the Rasch Model to psycho-Social measurement: A practical approach*, Educational Measurement Solutions, Melbourne.
- Yoon, I. H. and Kim, H. Y. (2003). "A study on commuting patterns in Seoul Metropolitan Area, 1990-1996." *Journal of Korea Planning Association*, KPA, Vol. 38, No. 6, pp. 87-97 (in Korean).
- Yoon, J. J. and Kim, E. M. (2014). "Changes in demographic and housing characteristics of new towns in Korea: Focused on five new towns in Seoul Metropolitan Area." *LHI Journal, of Land, Housing, and Urban Affairs*, Land and Housing Institute, Vol. 5, No. 4, pp. 235-246, <https://doi.org/10.5804/LHIJ.2014.5.4.235> (in Korean).