

# 수요응답형 자율주행 대중교통서비스 평가 방법

## An Approach to the Service Evaluation of Demand-Responsive Autonomous Mobility

심 상 우\* · 김 민 석\*\* · 정 연 식\*\*\*

\* 주저자 : 한국교통안전공단 디지털혁신처 책임연구원

\*\* 공저자 : 한국교통안전공단 디지털혁신처 책임연구원

\*\*\* 교신저자 : 영남대학교 도시공학과 교수

Sangwoo Shim\* · Minseok Kim\* · Younshik Chung\*\*

\* Korea Transportation Safety Authority

\*\* Dept. of Urban Planning and Engineering, Yeungnam University

† Corresponding author : Younshik Chung, tpgist@yu.ac.kr

Vol. 23 No.5(2024)

October, 2024

pp.137~146

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2024.23.5.137>

Received 13 September 2024

Revised 4 October 2024

Accepted 10 October 2024

© 2024. The Korean Society of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

### 요 약

수요응답형 교통수단(demand-responsive transit: DRT)은 대중교통 서비스가 부족한 지역에 적정 수준의 서비스를 공급하고자 하는 개념으로 최근 인천 수요응답형 교통수단(Incheon mobility on demand: I-MOD), 세종 셔틀 등 민간에서 서비스를 제공하기 시작했으며, 최근 자율주행기술을 접목하여 서비스를 제공하려는 연구가 진행되고 있다. 이러한 환경 변화에 맞춰 본 연구는 수요응답형 자율주행 대중교통서비스 평가 방법을 개발하는 것을 목적으로 한다. 본 연구에서는 국·내외 관련 평가 제도, 연구 사례 및 자율주행 대중교통서비스의 특성을 검토하여 수요응답형 자율주행 대중교통서비스에 적합한 평가 지표 및 방법을 제시하고 계층화 분석(analytic hierarchy process: AHP)을 통해 각 지표의 중요도를 산정하였다. 이러한 연구 결과는 향후 수요응답형 자율주행 대중교통서비스를 제공하는 기관 평가에 활용되어 서비스 경쟁력을 제고하고 지속가능성을 확보하는데 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

핵심어 : 자율주행 대중교통, 수요응답형 교통수단, 서비스 평가, AHP

### ABSTRACT

Demand-responsive transit (DRT) is a concept introduced to provide appropriate service to areas with insufficient public transit services. Since the focus has been on regional expansion, a service evaluation and feedback system has not yet been established. In the context of recent research to combine DRT service and autonomous driving technology, this study examines domestic and overseas-related evaluation systems and research cases to discover indicators that meet demand-response autonomous mobility service evaluation. This study proposes a method for evaluating demand-responsive autonomous mobility services using an analytic hierarchy process (AHP) technique based on the investigated indicators. It is expected that the results will be used as primary data for building an evaluation system, contributing to enhanced service competitiveness and secure sustainability.

Key words : Autonomous public transportation, Demand-responsive transit, Service evaluation, Analytic hierarchy process (AHP)

## I. 서론

최근 4차 산업 혁명의 한 축인 자율주행자동차에 대한 상용화를 위해 미국, 유럽 등 많은 국가에서 연구 개발 및 지원이 이루어지고 있다. 국내에서도 2027년까지 레벨 4 (level 4: Lv4) 수준의 자율주행자동차 상용화를 위해 많은 노력을 하고 있으며, 자율주행자동차의 정의를 세분화하고 시범운행지구를 도입하는 등 관련 생태계기반을 조성하는 내용의 ‘자율주행자동차 상용화 촉진 및 지원에 관한 법률’이 2020년에 제정하였다. 이를 근거로 국토교통부는 자율주행자동차 시범운행지구를 전국 7곳에 지정하여 연구·시범운행 환경 및 규제특례를 제공하였으며, 세종특별자치시(서클)와 성남시 판교(제로셔틀, 로보셔틀)에서는 수요응답형 자율주행 모빌리티 서비스를 시범운영하고 있다. 자율주행 대중교통서비스는 이용자가 스마트폰 앱을 활용하여 출발지와 목적지에 대한 배차 신청 및 결제 후 이용하므로 이용자의 수요에 따라 운행할 수 있으며, 가상의 승·하차 정류장을 기반으로 하고 있어 D2D (Door-to-Door) 서비스가 가능한 장점이 있다. 이에 국토교통부의 제1차 자율주행 교통물류 기본계획에서는 2025년까지 대중교통 접근시간 20%, 환승시간 50% 감축을 위해 자율주행서비스의 고도화를 지원할 예정이다.

이러한 환경 변화에 비해 현재 여객자동차운수사업법에 의해 시행되는 대중교통시책평가와 대중교통 경영 및 서비스 평가는 대중교통서비스는 운전자 고정된 배차 계획 및 운행 노선으로 운행하고 있는 환경에 맞게 이루어지고 있으며, 이러한 평가 체계는 이용자 수요에 따라 운행되는 자율주행 대중교통서비스의 특성을 반영하지 못하므로 자율주행 대중교통서비스 도입에 앞서 이를 평가할 수 있는 기준에 대한 검토가 필요한 상황이다. 이에 본 연구에서는 자율주행 대중교통서비스의 경쟁력을 제고하고 지속가능성을 확보하기 위해 기존 대중교통서비스에 대한 평가 방법을 검토하고, 자율주행 대중교통서비스의 특성을 반영할 수 있는 평가 방법의 개발을 목적으로 한다.

## II. 대중교통서비스 평가 관련 연구 검토

본 장에서는 자율주행 기술 발전에 따라 도입이 확대될 것으로 예상되는 자율주행 대중교통서비스의 평가 방법을 선제적으로 정립하여 향후 서비스의 지속가능성을 확보하고자 현재 국내·외 대중교통서비스에 대한 평가 방법 및 자율주행 대중교통과 관련한 선행 연구를 고찰하였다.

국내 대중교통서비스 평가 제도는 대중교통의 육성 및 이용촉진에 관한 법률에 따라 국토교통부가 지자체를 대상으로 평가하는 대중교통 시책평가와 대중교통 운영기관을 대상으로 평가하는 대중교통 운영자에 대한 경영 및 서비스 평가를 들 수 있다. 이들 평가의 평가 지표는 지자체 및 대중교통 운영 기관의 노력에 대한 비계량지표와 교통안전도평가지수, 배차준수율 등 계량지표를 혼용하고 사용하고 있으나 비계량지표는 해당 기관의 자료 작성 및 제출 여부에 따라 점수가 상이하므로 본 연구에서는 객관적 평가를 위해 계량지표만 대상으로 검토하였다. 대중교통시책평가 및 대중교통 운영자에 대한 경영 및 서비스 평가의 계량 지표는 연간 또는 격년 단위의 집계 자료(이용인원, 사망자수, 수송분담률 등)를 활용해 지자체 또는 운영자 단위 그룹별로 평가하고 있으나 기초자료 수집의 어려움과 지역(또는 운영자) 단위 비교 평가라는 한계로 인해 <Table 1>과 같이 이용자 관점의 지표(예, 대중교통 통행시간) 보다는 지역 또는 운영기관별 시설보유수준, 운행횟수, 운행거리 등 공급자 관점의 지표를 위주로 평가하고 있다.

국의 대중교통서비스 평가 제도는 미국 TRB (Transportation Report Board)의 TCRP Report 165, 영국 BVPIs (Best Value Performance Indicators), 싱가포르 LTA (Land Transport Authority)의 QoS(Quality of Service Standards),

일본 국토교통성의 ICE (Index of Comfortable and Easeful Ppublic Trnsprtation) 등이 있다. 국외의 경우 운영 부문, 서비스 부문, 이용자 만족도 부문으로 분류할 수 있으며, <Table 2>와 같이 운영 부문 평가 지표는 배차 시간 준수율(정시성), 사고 및 고장율, 승객수 등이 있으며, 서비스 부문 평가 지표는 서비스 범위 및 정류장 접근성, 차내 혼잡도 및 편의성, 버스정보 제공을 등으로 평가하고 있다.

<Table 1> Public Transportation Assessment Systems in Korea

Item	Target	Purpose	Measurement Index
Public transportation policy assessment	Local government	Inducing systematic public transportation planning	Route mileage per passenger, exclusive bus lane installation rate, traffic safety index, ADAS* installation rate, digital tachograph submission rate, bus information provision rate, passenger satisfaction, transportation card use rate etc.
Public transportation management and service assessment	Public transportation operator	Promotion of use of public transportation through service quality improvement	Drive wage rate and turnover rate, debit rate, operating balance rate, rote schedule compliance rate, ADAS installation rate, traffic safety index, digital tachograph submission rate, passenger satisfaction etc.

\* Advanced driver-assistance systems

<Table 2> Public Transportation Assessment Systems in Overseas

Item	USA TCRP Report 165	UK BVPIs	Singapore QoS	Japan ICE
Target	Public transportation operator	Local government	Public transportation operator	Public transportation operator
Operating	Service area and frequency, Route schedule compliance rate, Safety	Route mileage, passenger per vehicle	Rote schedule, rote schedule compliance rate, failure rate, accident rate	Safety device installation in bus
Service	Payment convenience, accessibility, user convenience	Bus information	Information provision rate, accessibility, transfer convenience	Bus information provision rate, passenger occupancy
Passenger satisfaction	-	Service satisfaction	-	-

<Table 3> DRT LOS Indicator Options on TCQSM and OPTP

Item	TCQMC Illustrative indicator	OPTP Additional Indicator Options
Availability	<ul style="list-style-type: none"> <li>• What is the average response time for a spontaneous trip request?</li> <li>• What is the DRT service span (days per week, hours per day)?</li> <li>• What percent of residents in a community live within the DRT coverage area?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• What is the required minimum notice (in minutes/hours) for a trip request before the desired pick-up time?</li> <li>• Do all communities within the core jurisdiction have equal access to DRT service?</li> <li>• Is DRT service offered for specific locations outside of the core jurisdiction (town, city, or county)?</li> </ul>
Comfort and Convenience	<ul style="list-style-type: none"> <li>• What is the on-time performance of DRT pick-ups and drop-offs?</li> <li>• What percent of DRT trip requests are denied by the service provider?</li> <li>• Percent of DRT passengers fail to show up for a scheduled trip</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• What percent of DRT trips provide point-to-point service (customer-requested locations, instead of pre-designated pick-up and drop-off points)?</li> </ul>

Brake et al.(2004)는 대중교통서비스가 부족한 지역에 적정 수준의 서비스를 공급하고자 기존의 버스와 택시의 중간 단계의 공공서비스 형태인 수요응답형 대중교통서비스(Demand Responsive Transit, 이하 DRT)를 제안하였다. 국내에서도 대중교통서비스의 사각 지역을 줄이고자 2012년도에 충남 아산시에서 브랜드 택시를 활용한 수요응답형 마중택시를 최초 도입된 이후 운영 지역이 점차 확대되어 현재 84개 지자체에서 운영 중에 있다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2022). 그러나 국내 DRT는 도입 초기 단계로 정부 및 지자체의 정책 방향이 DRT의 서비스 개선보다는 운영 지역 확대에 초점을 두고 있었기 때문에 아직까지 DRT 운영 수준을 평가하는 평가 체계를 정립하지는 못한 실정이다. 반면 미국의 Transit Capacity and Quality of Service Manual(TRB, 2013)에서는 대중교통 이용자의 선호도 조사 결과를 바탕으로 DRT 이용자 관점에서의 대중교통 서비스수준(Level Of Service, 이하 LOS) 측정 시 대중교통수단에 대한 가용성과 편의성을 고려한 지표를 제안한 바 있으며, Oregon Public Transportation Plan(2020)에서는 형평성을 고려한 지표를 추가 제안하였고 그 내용은 <Table 3>과 같다.

자율주행 대중교통서비스 평가와 관련하여 Rho et al.(2022)는 수요응답형 자율주행 대중교통서비스의 공공성 확보를 위한 평가 항목 구성 방안을 철도 시스템에서 사용하고 있는 RAMS (reliability, availability, maintainability, safety)를 적용하여 제시하였으며, Ha et al.(2022)는 이용자 만족도 조사를 통해 일정 점수 이상을 만족하는 평가 지표를 실시간 수요응답형 자율주행 대중교통의 공공성 확보를 위한 평가 지표로 제시하였다. 그러나 이들 연구는 공공성 평가 항목 및 지표는 제시하였으나 운영 성과를 평가하는 지표 및 방법론은 제시하지 못하였다. 또한 Yoon(2020)의 연구 결과와 같이 자율주행 대중교통에 대한 안전성(교통사고, 차량오작동(고장) 등)이 우려된다는 응답자가 약 45%로 나타나 안정성에 대한 평가를 강화할 필요가 있다고 제시하였다.

기존 대중교통서비스 평가 지표는 운전자가 고정된 노선과 배차에 따라 운행하는 특성을 고려하여 운전자와 관련된 사항 및 배차시간 준수율 등과 같은 지표를 적용하고 있으나 대중교통서비스 평가를 위한 정량적인 데이터 수집이 어려우며, 무인 운행 및 고정된 노선이 아닌 이용자 수요에 따라 운행 노선이 변경되는 자율주행 대중교통서비스를 평가하기에는 한계가 있다. 반면 자율주행 대중교통서비스는 시스템 기반으로 운영되기 때문에 현재 대중교통서비스와 다르게 다양한 데이터 수집이 가능하다는 장점이 있어 실제 운행 데이터를 기반으로 평가할 수 있는 차이가 있다. 이에 본 연구에서는 기존 대중교통서비스 평가 지표 중 수용이 가능한 지표와 자율주행 대중교통서비스를 통해 수집이 가능한 데이터를 기반으로 평가 지표를 도출하고 평가하는 방안을 마련하였다.

### Ⅲ. 수요응답형 자율주행 대중교통서비스 평가 지표 선정 및 평가 방법

#### 1. 수요응답형 자율주행 대중교통서비스 평가 지표 선정

국토교통부에서 연구 개발 중인 “수요응답형 자율주행 대중교통 모빌리티 서비스 개발”에서는 수요응답형 자율주행 대중교통서비스를 위해 이용자수, 재차인원, 승·하차시간 및 이동거리, 배차요청시간 및 배차시간, 위험상황발생횟수, 고장건수(차량이상건수), 승·하차지 도착 예정 시간 및 도착 시간, 접근 거리 등의 데이터를 수집할 수 있다. 이들 데이터를 활용하여 본 연구에서는 운영자 측면 지표로 운영 효율성과 관련된 차량당 이용자수, 배차성공률, 평균통행속도를 선정하였으며, 이용자 측면 지표로 이용자 만족도와 관련된 접근거리, 차량혼잡도, 차량 출발 및 도착 시간 정시성 지표를 선정하였다. 또한 안전성 평가 강화를 위해 자율주행차량 위험상황발생건수(급가·감속, 급회전 등) 및 고장으로 인한 운행취소율을 지표로 선정하였다. 또

한 현재 대중교통 운영자에 대한 경영 및 서비스 평가 지표의 계량 지표 중 적용 가능한 지표를 검토하여 운영기관의 지속가능성을 평가하는 지표인 부채 비율과, 안정성 평가를 위한 교통안전도평가지수를 지표로 선정하였다. 이와 같이 선정된 수요응답형 자율주행 대중교통서비스 평가 지표는 <Table 4>와 같으며, 실제 운행 데이터를 기반으로 운영자와 더불어 이용자 측면도 반영한 평가 지표들을 포함하고 있어 운영자 측면에서만 평가하는 현재 대중교통서비스 평가 제도의 평가 지표와는 차이가 있다.

<Table 4> Assessment Indicators of Autonomous Transit On-demand Service

Indicator	Description
Passenger per vehicle	# of passengers compared to the distance traveled by A/V
Success to scheduled trip	# of response compared to # of requests
Operation Speed	Average speed of A/V public transit
Debt Ratio	(Total debt/total capital)*100
Traffic Safety Index	((number of occurrences×0.4)+(number of casualties×0.6))/number of vehicles×10
Service Cancellation Rate	# of service cancellation among operating vehicle due to breakdown
Dangerous Situation	# of dangerous situations compared to the distance traveled by A/V
Access Distance	Average access distance traveled to ride on A/V
Passenger Occupancy	# of on board passengers compared vehicle capacity
Departure time Punctuality	Time lag between reserved time and actual boarding time
Arrival time Punctuality	Time lag between reserved arrival time and actual arrival time

## 2. 수요응답형 자율주행 대중교통 서비스 평가 방법

수요응답형 자율주행 대중교통서비스를 운영하는 기관의 경우 자본 여력에 따라 차량대수, 운행범위 등이 차이가 날 수 있으므로 공정하고 객관적인 평가를 위해 기관간 상대평가보다는 평가 기준에 따라 절대평가를 하는 것이 적절할 것이다. 이에 본 연구에서는 대중교통 운영자에 대한 경영 및 서비스 평가 및 대중교통 시책 평가 등에서 이용하는 목표 달성도를 이용하여 각 평가 지표를 평가 기준을 마련하였다. 목표 달성도는 평가 지표의 점수가 높을수록 좋은 상향 지표와 낮을수록 좋은 하향지표에 따라 상이하하며, 그 식은 다음과 같다.

$$\text{상향지표 목표달성도} : S_i = \frac{Result_i - MinG_i}{MaxG_i - MinG_i} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{하향지표 목표달성도} : S_i = 100 - \frac{Result_i - MaxG_i}{MinG_i - MaxG_i} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

여기서,  $S_i$  : 평가지표 i 평점,  $Result_i$ : 평가지표 i 실적,  
 $MinG_i$ : 평가지표 i 최저목표,  $MaxG_i$ : 평가지표 i 최대목표

평가지표 목표달성도 산정 시 기준이 되는 최대목표와 최저목표 중 부채비율, 교통안전도평가지수는 대중교통 운영자에 대한 경영 및 서비스 평가의 경우 시내/농어촌버스의 기준을 적용하였고, 고장으로 인한 운행 취소율은 철도 및 도시철도를 기준으로 적용하였으며, 차량당 승차인원, 배차성공율, 차량혼잡율은 한국교통안전공단에서 운영 중인 4개 지자체(제천시, 공주시, 임실군, 예천군) DRT 데이터를 기반으로 설정하였다.

그 외 정시성 및 접근거리는 Joung et al.(2022)의 결과를 반영하였으며, 그 내용은 <Table 5>와 같다. 이와 같은 기준을 적용하여 산출된 목표 달성도는 대중교통 운영자에 대한 경영 및 서비스 평가에서 적용하는 것과 같이 결과 100점을 초과하면 100점, 50점 이하일 경우에는 최소 점수 50점을 부여하여 산출한다.

<Table 5> Maximum Goal and Minimum Goal on Evaluation Indicators

Indicator	Unit	Direction	Minimum Goal	Maximum Goal
Passenger per vehicle	passengers/vehicle	Upward	1	5
Success to scheduled trip	%	Upward	50	100
Operation Speed	km/h	Upward	15	30
Debt Ratio	%	Downward	1,000%	100%
Traffic Safety Index	-	Downward	2.0	0
Service Cancellation Rate	%	Downward	0.23	0.0
Dangerous Situation	dangerous situations/100km	Downward	25	15
Access Distance	m	Downward	0	300
Passenger Occupancy	%	Downward	100	40
Departure time Punctuality	minute	Downward	5	0
Arrival time Punctuality	minute	Downward	5	0

각 평가 지표의 목표 달성도를 기반으로 수요응답형 자율주행 대중교통서비스를 평가하기 위해 각 지표의 가중치를 산정하였다. 가중치 산정은 의사결정 목표가 다수의 평가 기준으로 이루어져 있을 시 평가 항목들을 계층화한 후 쌍대 비교를 통해 각 항목 간 상대적 중요도를 종합적으로 판단하는 의사결정 방법인 AHP (Analytic Hierarchy Process) 기법을 활용하였다. AHP 조사 결과의 신뢰성 및 일관성을 높이기 위해 본 연구에서는 교통안전분야 7명, 대중교통분야 6명, 자율주행 전문가 5명을 대상으로 설문을 실시하였으며, 대중교통분야의 경우 운영자 관점의 지표를 잘 이해하고 있는 대중교통 운영자의 경영 및 서비스 평가 사업에 다년간 참여한 전문가들로 선정하였다. 또한 신뢰성 있는 조사 결과를 확보하기 위해 각 항목의 중요도를 쌍대비교하는 문항 이전에 항목별 중요도를 먼저 기입함으로써 일관성 있는 응답을 유도하였다. 일관성 검증은 일반적으로 일관성 지수(consistency index)와 일관성 비율(consistency ratio)을 통해 산정하였으며, 본 연구에서는 일관성 비율 값이 0.1보다 작은 경우에만 유효한 표본으로 판단하였다.

$$\text{일관성 지수 (C.I. : Consistency Index)} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \dots\dots\dots (3)$$

여기서,  $\lambda_{\max}$  : 고유값, n : 대안의 수

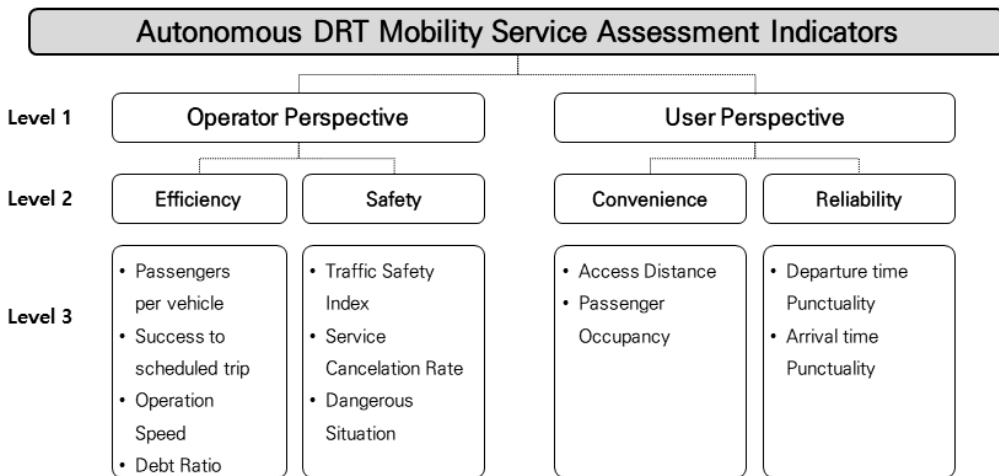
$$\text{일관성 비율 (C.R. : Consistency Ratio)} = \frac{C.I.}{R.I.} \dots\dots\dots (4)$$

여기서, R.I : 행렬 9점 척도를 무작위로 입력 시 얻은 C.I. 값 평균

본 연구에서는 11개의 평가 지표에 대한 평가를 위해 3개의 계층으로 분류하여 지표를 구성한 후 각 평가 항목별 중요도를 판단하고 가중치를 산정하였다. 먼저 각 평가 항목을 개별 특성에 따라 이용자 관점과 운영

자 관점 2개의 그룹으로 묶고, 이를 다시 계층화하여 서비스 평가 지표를 구성하였다.

대분류인 제1계층은 운영자 및 이용자 관점 지표 2가지로 구분되며, 중분류인 제2계층은 효율성, 안전성, 편의성, 신뢰성 총 4가지로 분류하였다. 운영자 관점의 지표인 효율성은 운영의 효율성을 대표하는 운행거리 대비 승객 수와 서비스의 전반적 효율성을 파악할 수 있는 배차성공률, 통행의 질적 효율성을 대표할 수 있는 통행속도와 운영자 및 서비스의 재정건전성을 파악하기 위해 운영자의 부채비율로 구성된다. 안전성은 승객의 안전 확보와 관련되는 사고의 발생건수와 사상정도가 고려된 지표인 교통안전도평가지수와 위험운전행동, 차량·운영·관계 시스템의 고장으로 인한 운행취소율 지표로 구성하였다. 이용자 관점 지표는 편의성과 신뢰성으로 구분하였으며, 편의성은 수요응답형 자율주행 대중교통서비스 도입으로 인한 접근거리, 차량 이용의 쾌적성을 반영하기 위한 차량혼잡율로 구성하였다. 신뢰성은 이용자가 안내받은 예정 배차시각과 실제 탑승시각의 시각차(Time-lag)와 예정 도착시각과 실제 하차시각의 시각차로 구성하였고, 이를 도식화 한 그림은 아래의 <Fig. 1>과 같다.



<Fig. 1> Hierarchical Result of Evaluation Indicators

대중교통 관련 전문가들의 AHP 분석 결과 각 항목별 응답자들의 일관성비율(C.R.) 값은 최대 0.054, 최소 0.000으로 0.1보다 작은 값으로 나타나 모든 표본이 일관성 검증을 만족하는 것으로 나타났다. 제1계층의 2 가지 항목에 대한 상대적 중요도는 이용자 관점(0.573)이 운영자 관점(0.427)보다 높은 것으로 나타났는데 이는 수요응답형 자율주행 대중교통서비스가 운영자보다는 이용자 중심의 서비스를 제공하기 때문에 나타난 것으로 사료된다. 이로 인해 제2계층에서도 이용자 관점의 신뢰성(0.406) 가장 높게 나타났다. 이어서, 안전성(0.248), 효율성(0.179), 편의성(0.167) 순으로 나타나는 것으로 볼 때 자율주행 대중교통에 대한 안전한 서비스가 될 수 있도록 관리하는 것도 중요하다. 제3계층의 11개 평가 항목 중에서도 이용자 관점의 배차시간 정시성(0.259), 도착시간 정시성(0.147) 지표가 가장 높게 나타나 수요응답형 자율주행 대중교통수단의 핵심 지표는 신뢰성으로 판단된다.

분석 결과를 종합하면, 수요응답형 자율주행 대중교통서비스의 평가 지표는 공급자 중심이 아닌 이용자 중심의 평가가 필요함을 확인할 수 있었으며, 이를 위한 정책 추진이 요구됨을 알 수 있었다. 특히, 전체 평가항목 중에서도 가장 중요도가 높게 나타난 정시성 지표는 이용자 중심인 수요응답형 자율주행 대중교통 서비스

도입 시 기존의 대중교통서비스와는 확실한 차별성을 제공해야 할 것으로 보인다. 실제로 최근 수행된 대중교통수단에 대한 만족도 조사<sup>1)</sup> 결과 수요응답형 자율주행 대중교통서비스의 경쟁 수단인 버스에 대한 만족도가 낮게 나타났다. 정시성에 이어 접근거리에 대한 중요도가 높게 나타난 점은 기존 대중교통 이용에서 나타나는 접근성에 대한 개선사항을 자율주행 대중교통 서비스를 통해 제공할 수 있어야 할 것으로 보인다. 또한, 위험운전행동 지표가 높게 나타난 점은 자율주행 대중교통 도입에도 불구하고, 안전한 이용환경 조성을 위한 노력이 지속되어야 함을 의미한다. 대중교통 특성 상 사고발생 시 다수의 인명 피해가 발생할 수 있다는 점을 고려하면 자율주행 대중교통서비스로 전환된 상황에서도 교통안전관리는 매우 중요할 것으로 사료된다.

<Table 6> Hierarchical Weight by AHP Analysis

1st Layer	Weight	C.R	2nd Layer	Weight	C.R	3rd Layer	Weight	C.R
Operator Perspective	0.427	0.000	Efficiency	0.179	0.000	Passenger per vehicle	0.063	0.054
						Success to scheduled trip	0.067	
						Operation Speed	0.036	
			Safety	0.248		Debt Ratio	0.013	0.000
						Traffic Safety Index	0.079	
						Dangerous Situation	0.107	
User Perspective	0.573	0.000	Convenience	0.167	0.000	Service Cancellation Rate	0.063	0.000
						Access Distance	0.133	
			Reliability	0.406		Passenger Occupancy	0.034	0.000
						Departure time Punctuality	0.259	
						Arrival time Punctuality	0.147	0.000

#### IV. 결론 및 향후 연구 과제

본 연구에서는 기존 대중교통서비스 평가 지표를 검토한 후 수요응답형 자율주행 대중교통서비스의 특성을 고려하여 이용자수, 배차성공률, 통행속도, 부채 비율, 교통안전도지수, 위험운전행동, 운행취소율, 접근거리, 출발 및 도착시간 정시성과 같은 11개 항목을 선정한 후 AHP 분석을 통해 평가 방법을 검토하였다. AHP 분석 결과 제1계층의 2가지 항목에 대한 상대적 중요도는 이용자 관점(0.573)이 운영자 관점(0.427)보다 높은 것으로 나타나 수요응답형 자율주행 대중교통서비스는 이용자 중심의 평가가 필요한 것으로 나타났다. 제2계층에서도 이용자 관점의 신뢰성(0.406)의 중요도가 높으며 안전성(0.248), 효율성(0.179), 편의성(0.167) 순으로 분석되었다. 제3계층의 11개 평가 항목 중에서는 배차시간 정시성(0.259), 도착시간 정시성(0.147), 접근거리(0.133), 위험운전행동(0.107)이 높게 나타났으며, 이러한 결과로 볼 때 수요응답형 자율주행 대중교통서비스의 핵심 지표는 신뢰성 및 안전성으로 판단된다.

본 연구는 선행 연구 검토 및 관련 데이터 분석을 통해 수요응답형 자율주행 대중교통서비스의 평가 지표 및 방법을 제시하고, AHP 분석을 통해 각 평가 항목의 가중치를 산정하였으나 실제 운영 데이터의 부재로 그대로 적용하기에는 한계가 있다. 따라서 수요응답형 자율주행 대중교통서비스 도입 이후 수집되는 데이터

1) 정시성에 대한 개선요구는 전체 응답자의 약 7.6%로 조사됨(정시 도착에 대한 만족도는 버스 59.7%, 지하철 72.6%) (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2022).



를 기반으로 운영기관의 규모와 관계 없이 객관적인 평가를 할 수 있도록 평가 기준 및 지표를 검증하여 최소/최대 목표를 재설정할 필요가 있으며, 이러한 결과를 기반으로 수요응답형 자율주행 대중교통서비스 평가 매뉴얼 및 제도를 마련하여야 할 것이다. 또한 현재 데이터 수집이 되지 않아 시스템 보안성에 대한 평가 지표를 설정하지 못했으나 안전성 측면에서 이를 평가하기 위한 데이터 수집 방안을 검토할 필요가 있으며, 향후 자율주행 대중교통서비스 운영 시 추가 수집 가능한 데이터가 발생할 경우 이에 대한 추가적인 평가 지표를 설정할 필요가 있다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 22AMDP-C161756-02).

## REFERENCES

- Brake, J., Nelson, J. D. and Wright, S.(2004), “Demand responsive transport: Towards the emergence of a new market segment”, *Journal of Transport Geography*, vol 12, no. 4, pp.323-337.
- Ha, J. A., Kim, J. Y., Moom, B. S. and Jang, J. Y.(2022), “Development of evaluation indicators to ensure publicity of autonomous public transportation mobility on-demand service in real time”, *Journal of Highway Engineering*, vol 24, no. 6, pp.241-249.
- Joung, J. Y., Shim, S. W. and Kim, M. S.(2022), “A study on introducing autonomous public transportation on-demand service in real time using delphi method”, *Journal of Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 21, no. 5, pp.183-196.
- Korea Research Institute for Human Settlements(2020), *Strategies to implement autonomous public Korea transportation safety authority*, <http://etas.kotsa.or.kr>, 2023.8.1.
- Land Transport GURU, <http://landtransportguru.net>, 2022.10.17.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2022), *4th Public transportation master plan*, pp.74-75.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2022), *Final report of the 2021 public transportation status survey public transportation facilities and modes*, pp.155-156.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2022), *Final report of the 2021 public transportation status survey public transportation users*, pp.337-342.
- Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism(Japan), [www.mlit.go.jp](http://www.mlit.go.jp), 2022.10.17.
- Oregon Public Transportation Plan(2020), *Public transportation level of service, final white paper*, pp.72-76.
- Roh, C. G., Noh, S. W., Moon, B. S. and Ha, J. A.(2022), “Defining evaluation criteria for real-time demand response autonomous mobility”, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, vol 23, no. 1, pp.871-879.
- Transportation Research Board(2013), *Transit capacity and quality of service manual-3rd edition*.
- UK Government, <http://legislation.gov.uk/uksi/2005/598/schedule/11/made>, 2023.10.01.

- Yoon, T. G.(2020), “Strategies to implement autonomous public transit”, *Transportation Technology and Policy*, vol. 17, no. 2, pp.72-76.
- Yoon, T. K., Park, J. I., Yeon, K. B., Lee, H. K., Jung, K. Y. and Lim, Y. T.(2019), *Strategies to implement autonomous public transit: Focusing on autonomous bus rapid transit and shuttle services*, Korea Research Institute for Human Settlements, pp.78-83.