

## 실시간 수요대응 자율주행 모빌리티 평가 항목 정의

노승원, 노창균\*, 문병섭, 하정아  
한국건설기술연구원 도로교통연구본부

### Defining Evaluation Criteria for Real-time Demand Response Autonomous Mobility

Seungwon Noh, Chang-Gyun Roh\*, Byeongsup Moon, Jung-Ah Ha

Dept. of Highway and Transportation Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

**요약** 정해진 경로를 규칙적으로 운행하는 대중교통수단은 이용자 감소의 영향으로 효율성이 떨어져 정부의 지속적인 보조금 투입이 필요하거나 노선 감축으로 인해 이용자 불편이 예상된다. 최근 자율주행기술의 발전으로 대중교통수단에 자율주행기술을 접목하고, 이를 활용하여 이용자의 요청에 따라 운행하는 수요대응형 교통수단으로 발전 시키고자 노력하고 있다. 이러한 새로운 시스템이 제공하는 대중교통 서비스는 시스템 측면에서 충분한 기계적 신뢰성이 확보되고, 운영 알고리즘과 서비스 측면에서 대중교통 이용자의 요구사항이 만족되어야 한다. 본 연구는 수요대응 자율주행 대중교통 서비스의 공공성 확보를 위해 고려해야 할 요인들을 검토하고 평가 항목 구성 방안을 제시하고자 하였다. 이에 수요대응 자율주행 대중교통 서비스의 공공성을 정의하고, 기존의 국내의 대중교통 평가체계 검토 결과와 철도시스템의 RAMS(Reliability, Availability, Maintainability, Safety) 개념을 바탕으로 시스템 관점과 이용자 관점에서 평가항목을 새로이 정의하였다. 본 연구에서 정의한 항목들은 수요대응 자율주행 대중교통이 갖추어야 할 최소한의 요구사항으로, 수요대응 자율주행 대중교통이 공공성이 확보된 수단으로 자리매김하는데 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

**Abstract** Due to the decreasing number of passengers in public transportation operating in a specific route regularly, the operator either requires subsidy or cancels the route, causing inconvenience to the public. Therefore, the public transportation system integrates the Demand Response Transportation with the remarkably improved autonomous driving technologies to overcome the above situation. The new mode of public transportation, Autonomous Demand Response Public Transportation, is required to meet a certain level of reliability and several requirements in terms of systems, operational algorithms, and provided service. This paper firstly defines the publicness of the autonomous demand response public transportation. Then, new criteria in both system and passenger points of view are defined using a literature review on the rail system's public transportation evaluation criteria and RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, and Safety). These criteria are then used to evaluate the publicness of the new mode of public transportation. The suggested criteria are the minimum requirements and are expected to contribute to the autonomous demand response public transportation to achieve publicness.

**Keywords** : Demand Response Public Transportation, Autonomous Vehicle, Evaluation Criteria, RAMS, Service Quality

본 논문은 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 21AMDP-C161756-01).

\*Corresponding Author : Chang-Gyun Roh(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)  
email: rohcg@kict.re.kr

Received November 9, 2021

Revised November 30, 2021

Accepted January 7, 2022

Published January 31, 2022

## 1. 서론

최근의 육상교통시스템은 기존의 전통적인 교통수단(승용차, 버스, 택시, 철도) 외에 공유 자전거와 공유 전동 스쿠터 등 새로운 개인 교통수단(Personal Mobility, 이하 PM)이 도입되고 이용자가 증가하는 추세를 보이고 있다. 이러한 PM의 이용은 상대적으로 짧은 거리 통행에 집중되는 특성을 보이고 있으며, 승용차 보유대수 및 이용의 증가와 지하철 및 철도 노선망의 확장과 함께 버스수단의 이용 분담율을 지속적으로 감소시키는 원인으로 여겨진다.

버스는 정해진 경로를 일정한 시간 간격을 갖고 운행하기 때문에 일정 수준의 이용자가 확보되지 않을 경우 운영 효율이 떨어지게 되고, 이는 노선 감축을 초래하여 이용자의 불편을 야기하거나 비효율적인 노선 유지를 위해 정부의 보조금을 지속적으로 투입해야 하는 일이 발생하게 된다. 더욱이 총인구가 감소함에 따라 이러한 현상은 가속화 될 것으로 생각된다. 버스수단의 비효율성을 극복하기 위한 방안으로 이용객이 많지 않은 지역에서 정해진 노선이 아닌 이용객의 요청에 따라 버스의 경로를 변경 및 운행하는 수요대응형 대중교통에 대한 연구들이 진행되어 왔다[1-3].

하지만, 수요대응형 대중교통 서비스 역시 운전자 인건비를 포함한 운영비용이 이용료 수입에 비해 과대하여 경제성 확보가 쉽지 않은 한계가 있다. 운영비용을 절감하기 위한 방안 중 하나로 급속히 발전중인 자율주행 기술을 탑재한 차량을 이용하여 수요대응 대중교통 서비스를 제공하는 시스템 개발이 진행중에 있다[4]. Fig. 1에

서와 같이 수요대응 자율주행 대중교통 서비스 시스템은 자율주행 차량시스템 외에도 예약, 결제, 차량 도착 안내 등을 수행하는 모빌리티 서비스 시스템, 차량 위치 및 주행 관제, 차량 배차, 승객 현황 관리 등을 수행하는 차량 운행관리 시스템, 최적경로 생성 및 차량 재배치를 수행하는 동적 배차 시스템, 시스템간 통신 시스템 등 다양한 하부 시스템들로 구성되어 있다.

수요대응 자율주행 대중교통 서비스 시스템은 복잡 시스템으로 하부 시스템들이 유기적으로 작동 할 때에만 대중교통 서비스 제공이 가능하기에 기존의 대중교통 서비스와 비교해 공공성 확보가 쉽지 않을 것으로 예상된다. 또한, 새로운 시스템이 제공하는 대중교통 서비스는 기존의 대중교통 평가방법에서 제시하는 지표들을 수정 및 보완하고 새로운 지표를 도입할 필요가 있다. 따라서, 본 연구는 수요대응 자율주행 대중교통 서비스의 공공성 확보를 위해 고려해야 할 요인들을 검토하고 평가 항목 구성 방안을 제시하고자 한다. 이를 위해 다음 장에서 국내외 대중교통 평가 체계 및 평가 항목들과 타 수단의 시스템 기반 서비스 품질 확보 방안을 검토한다. 검토한 내용을 바탕으로 3장에서 수요대응 자율주행 대중교통 서비스 평가 항목 구성 방안을 제시하고, 4장에서는 향후 발전 방향에 대해 논의하고자 한다.

## 2. 기존 문헌 고찰

본 장에서는 수요대응 자율주행 모빌리티 평가와 관련된 기존 평가제도를 검토하고 그 내용을 제시하고자 한

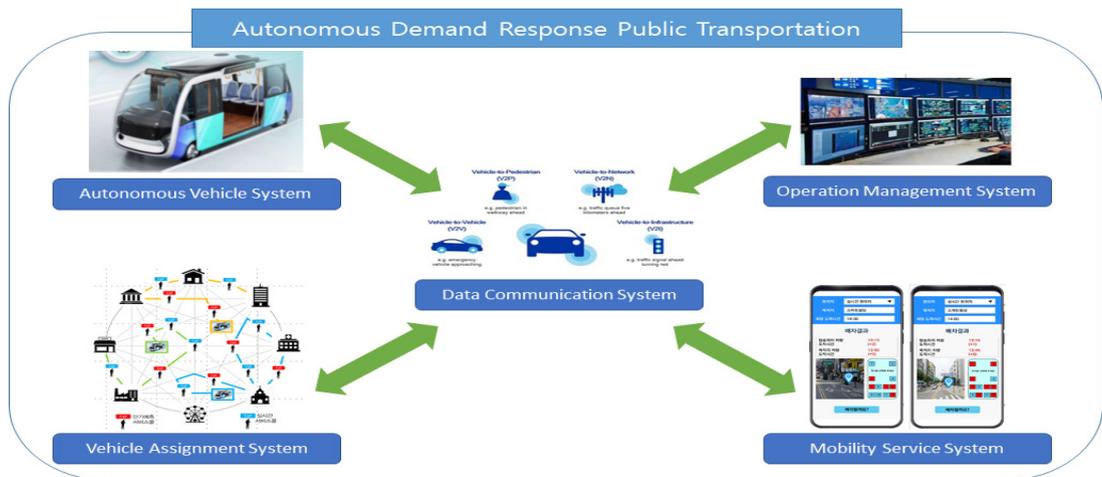


Fig. 1. System architecture for Autonomous Demand Response Public Transportation[4]

다. 기존 자율주행 관련 평가는 정보 및 통신의 신뢰성 및 손실률 등으로 한정되어 있는 등 차량의 거동부문에 한정되어 있으며, 서비스의 평가와 관련된 부분은 국내외 모두 관련 연구 및 제도가 마련되어 있지 않다. 이에 본 연구에서는 관련 평가가 이루어지고 있는 대중교통 부문으로 한정하여 기존 제도를 검토하고자 한다.

국내의 대중교통 평가제도 검토를 통해 현재 대중교통 서비스의 평가항목들을 알아보고 수요대응 자율주행 대중교통 서비스 평가항목 선정의 기초자료로 활용하고자 한다. 또한, 시스템 또는 하드웨어 관점에서 서비스 품질을 관리하는 철도시스템의 사례를 검토하여 본 연구에 도입 가능 여부를 판단하고자 한다.

## 2.1 국내 대중교통 평가제도

### 2.1.1 대중교통 시책평가

대중교통 시책평가(5)는 “대중교통의 육성 및 이용촉진에 관한 법령”에 의해 매 2년마다 지방자치단체의 대중교통시책을 평가하는 제도로서 효과적·체계적인 대중교통계획 및 시책 수립을 유도하고, 대중교통정책의 합리적인 목표 수립과 체계적인 시책 마련을 위한 시스템 구축을 목적으로 하고 있다[5]. 평가는 서면평가, 현지실사, 주민만족도 설문조사 등의 방법을 활용하고 평가의 공정성과 객관성 확보를 위해 도시 규모, 도시철도 유무 및 인구수가 유사한 지방자치단체들로 분류하여 그룹별 평가를 실시하고 있다.

대중교통 시책평가는 시설, 서비스, 행정 및 정책, 이용자 등 4개의 평가부문, 10개 평가항목, 19개 평가지표 및 51개 평가내용으로 구성되어 있고, 평가지표 및 내용의 특성에 따라 계량평가와 비계량평가, 절대평가와 상대평가 방법을 혼합하여 실시하고 있다. Table 1은 대중교통 시책평가의 평가부문과 해당 평가항목을 보여준다. 또한, 도시기반시설 여건에 대한 의존성을 줄이기 위해 비계량 평가내용 평가 시 노력사항 등을 그룹별로 감안하여 평가하고, 우수한 대중교통시책 발굴·전파를 위해서 평가지표의 개선도(또는 증감률)를 반영하여 평가하고 있다.

하지만, 대중교통 시책평가는 지방자치단체의 전반적인 대중교통 체계 및 개선 노력 등을 평가하기 때문에 평가에 요구되는 자료의 양의 방대하고 정성적·정량적 지표의 혼재, 지표별 가중치 산정 및 합산 방법이 매우 복잡하다는 단점이 있다.

Table 1. Evaluation criteria [5]

Category	Criteria
Infrastructure	Public transportation and infrastructure, Transfer system between modes/vehicles
Operation	Level of Service, User Conveniency, Driver Education
Management & Policy	Management support, Policy support, Best policy
Passenger	Satisfaction survey, Mode share

### 2.1.2 대중교통 경영 및 서비스평가

대중교통 경영 및 서비스평가(6)는 2년 주기로 전국의 철도 및 도시철도, 고속버스, 시내·외 버스 등을 운영하는 대중교통 운영자를 대상으로 경영평가와 서비스평가를 구분하여 수행하고 있다. 경영평가는 운영자의 재무구조 건전화를 도모하고 합리적인 지원근거로 이용되며, 서비스평가는 대중교통 활성화를 위한 서비스 개선을 목적으로 하고 있다.

서비스평가는 대중교통 운영자 특성을 고려하여 철도 및 도시철도 운영자는 공급성, 신뢰성, 안전성, 고객만족 영역을 여객자동차운영자는 운행관리, 안전성, 고객만족 영역에 대해 평가를 시행하고 있다. 여객자동차운영자 서비스평가는 대중교통 시책평가와 비교해서 상대적으로 간략하고 계량평가 항목이 많은 특징이 있다.

## 2.2 국외 대중교통 평가

미국의 TCQSM(Transit Capacity and Quality of Service Manual[7])은 이용자 관점에서 대중교통 서비스 수준을 결정하는 항목으로 가용성(Availability)과 편의성(Comfort and Convenience)으로 구분하고 각 항목을 대표하는 지표들을 제시하였다. 예를 들면, 가용성을 대표하는 지표로 서비스 빈도, 서비스 이용 가능 시간, 서비스 제공 공간적 범위 등이 있고, 편의성 항목에는 승객 혼잡도, 정시성과 규칙성으로 대표되는 서비스 신뢰성, 통행시간 등이 있다. TCQSM은 수요대응형(Demand-Response) 대중교통 서비스에 대해서도 이용성과 편의성을 서비스 수준을 결정하는 주요 항목으로 언급하였다. 단, 각 항목을 대표하는 지표들은 수요대응형 서비스에 맞춰 서비스 빈도 대신 서비스 대응 시간들, 승객 혼잡도 대신 서비스 거부률 지표로 제시하였고, 승객의 노쇼(No-show)는 서비스 품질을 평가하는 지표로 추가하였다.

싱가폴의 경우에는 버스 서비스 품질을 규제하기 위해 서비스 품질 기준(Quality of Service Standards)을 제정하고 기준을 충족시키지 못 할 경우 대중교통 운영자에게 벌금을 부과하고 있다. 서비스 품질 기준은 최소한의 운영을 보장하는 운영 품질 기준(Operating Performance Standards, 이하 OPS)과 전반적인 제공 서비스를 측정하는 서비스 제공 기준(Service Provision Standards, 이하 SPS)으로 구분하였다. OPS는 버스 고장, 스케줄 일치 및 규칙성을 포함한 신뢰도(Reliability), 버스 혼잡도>Loading) 그리고 안전성(Safety)에 대한 기준을 제시하고, SPS는 서비스 가용성(Availability), 통합성(Integration), 서비스 정보(Information)에 대한 기준을 제시하고 있다[8].

영국의 런던 버스 운영자들은 런던 정부와 계약 시 버스 노선 또는 네트워크 별로 최소 품질 기준(Minimum Performance Standard, 이하 MPS)을 설정하고, 런던 정부는 운영자의 MPS 충족 여부를 바탕으로 조정된(증가 또는 감소된) 비용을 운영자에게 지불하고 있다. MPS로 이용되는 지표에는 총 운행거리, 신뢰도(초과 대기시간 또는 정시성), 운전자 및 차량 품질 모니터링, 이용자 만족도 등이 있다[9].

유럽표준화위원회(European Committee for Standardization, 이하 CEN)는 [10]에서 대중교통 서비스 품질을 정의하고, 목표를 세우고, 측정하기 위해 필요한 사항들을 상세화하고, 서비스 품질을 측정하는 방법을 안내하고 있다. 또한 CEN은 수많은 서비스 품질 기준을 가용성, 접근성, 정보, 시간, 고객만족, 편안함, 보안 및 환경영향의 8가지 카테고리로 구분하고, 측정 방

법 예제들을 제시하고 있다.

### 2.3 철도시스템 RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety)

체계공학(Systems Engineering)에서 RAM은 개발하고자 하는 시스템의 전체 생명주기 비용(Lifecycle Costs)에 막대한 영향을 미치는 설계 요인으로 생각되며 [11], 철도시스템은 신뢰성, 가용성, 유지보수성 및 안전성의 체계적이고 일관된 관리를 위해 철도시스템의 전체 생명주기(lifecycle)에 대한 RAMS 요구사항들을 상세화하는 절차들을 유럽표준(European Standard)에서 제시하고 있다[12].

Fig. 2는 RAMS 각 요소의 정의와 철도서비스와 RAMS, RAMS 간의 관계를 나타낸다[12]. Fig. 2에서처럼 철도시스템은 RAMS의 정성 및 정량적 목표를 설정하여 철도시스템이 일정 수준의 서비스 품질 제공을 보증하고 있으며, RAMS외에도 서비스 빈도, 요금체계 등이 철도서비스 품질을 결정하는 요소들로 제시하고 있다. 또한, RAMS는 시스템의 안전성과 가용성 확보를 목표로 하고, 안전성과 가용성은 시스템의 신뢰성과 유지보수성 및 인적요소 같은 시스템 운영/관리에 영향을 받는 것으로 설명되었다.

[13]는 국내 철도시스템 설계 및 제작에 RAMS 계획과 목표 제시 및 엄격한 입증에 대한 필요성을 언급하고 실제 설정된 고속철도차량(KTX-II)의 RAM 목표와 목표달성을 위한 서브시스템 RAM 할당 값을 설명하였다. 또한, 신뢰성(Reliability) 목표는 평균고장시간간격(MTBF:

Table 2. Summary of Public Transport Service Evaluation in literature [7-10]

Country	Purpose	Performance Indicator
United States	to evaluate how passengers perceive the quality of the transit service provided	- Availability (Spatial, Temporal, Information, Capacity) - Comfort and Convenience (Reliability, Travel time, Safety/Security, Passenger loading, etc.)
Singapore	to regulate the performance of basic bus service operators and to improve the travel experience of commuters	- Operating Performance Standards (Reliability, Loading, Safety) - Service Provision Standards (Availability, Integration, Information)
London (U.K.)	to determine incentive or deduction of the contracted payment with bus operator	- Mileage operated - Reliability (Regularity /Punctuality) - Driver/Vehicle quality monitoring - Customer satisfaction - Safety, etc.
EU	to promote a quality approach to public transport operations and focus on customers' needs and expectations	- Availability - Accessibility - Information - Time - Customer care - Comfort - Security - Environmental impact

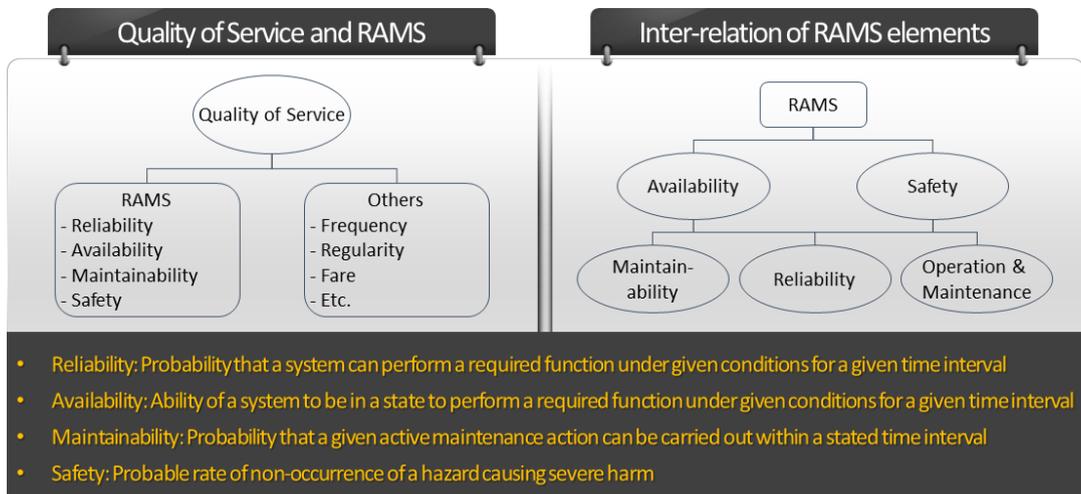


Fig. 2. Description of RAMS in EN 50126 [12]

Mean Time between Failure)으로, 가용성(Availability)은 계획된 서비스를 수행할 수 있는 확률로, 그리고 유지보수성(Maintainability)은 평균수리시간(MTTR: Mean Time to Repair)으로 설정 되었고, 목표 달성 여부는 차량 운행 후에 검증하는 것으로 설명하고 있다.

### 3. 평가 항목 정의

#### 3.1 공공성의 정의

본 연구는 미래의 수요대응 자율주행 수단을 이용한 대중교통 서비스를 가정하고, 새로운 서비스의 공공성 확보 및 평가를 위해 평가 방법을 정의하고자 한다. 이를 위해 먼저 본 연구에서의 수요대응 자율주행 대중교통 서비스의 '공공성'에 대한 정의를 하고자 한다. 우선 사전적 의미의 '공공성'은 한 개인이나 단체가 아닌 일반 사회 구성원 전체에 두루 관련되는 것으로 공평하고 치우치지 않으며 드러내어 놓고 여럿이 널리 한가지로 베푸는 의미로 해석되기도 한다[14]. 유사한 맥락에서 공공성을 지니는 서비스에는 의료, 교육, 교통(도로 및 철도) 등이 대표적인 예로서 누구에게나 공통적 혹은 보편적으로 합리적인 비용에 제공되는 서비스를 지칭한다.

본 연구에서는 '공공성'의 사전적 의미를 바탕으로 수요대응 자율주행 대중교통 서비스가 추구하는 '공공성'에 대해 다음과 같이 정의 하고자 한다. 첫째, 기존의 대중교통 서비스와 비교해 수요대응 자율주행 대중교통에 대한 거부감을 최소화하여 수요대응 자율주행 대중교통

의 활성화를 추구한다. 두 번째로는 향후 수요대응 자율주행 대중교통이 보편화 되고, 지속가능한 서비스로의 발전을 추구하고, 마지막으로 전체(기존+수요대응 자율주행) 대중교통 시스템의 발전 및 활성화를 목적으로 한다.

#### 3.2 평가 항목 제안

기존의 대중교통 서비스 제공에 필요한 요소들에 비해 수요대응 자율주행 대중교통 서비스는 훨씬 복잡하고 다양한 시스템들을 필요로 하고, 그 시스템들의 설계기준에 따라 제공되는 서비스의 품질, 즉 서비스 공공성이 달라지는 특성을 보일 것으로 예상된다. 이는 철도시스템과 유사한 특징으로 시스템 관점에서 수요대응 자율주행 대중교통 서비스 공공성 확보를 위해 RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) 개념을 이용하고자 한다. 또한, 국내외 기존문헌에서 제시하는 주로 이용자 관점에서의 대중교통 서비스 평가에 사용된 항목들 중에 RAMS 각 요소에 해당하는 항목들을 벤치마킹/수정/세분화 등을 통해 이용자 관점에서 수요대응 자율주행 대중교통 서비스의 공공성 평가 항목으로 활용하고자 한다(Fig. 3). 이용자 측면에서 수요대응 자율주행 대중교통 서비스의 공공성은 기존의 대중교통 서비스 평가항목들과 유사할 것으로 생각되나, 수요대응 측면에서 평가항목의 세부적 의미는 상이할 것으로 예상된다.

본 연구에서 제안하는 수요대응 자율주행 대중교통 서비스 평가 항목은 Table 3과 같다. RAMS 카테고리별 시스템 관점 및 이용자 관점에서 제안된 평가항목의 상세한 선정 배경과 의미는 아래와 같다.

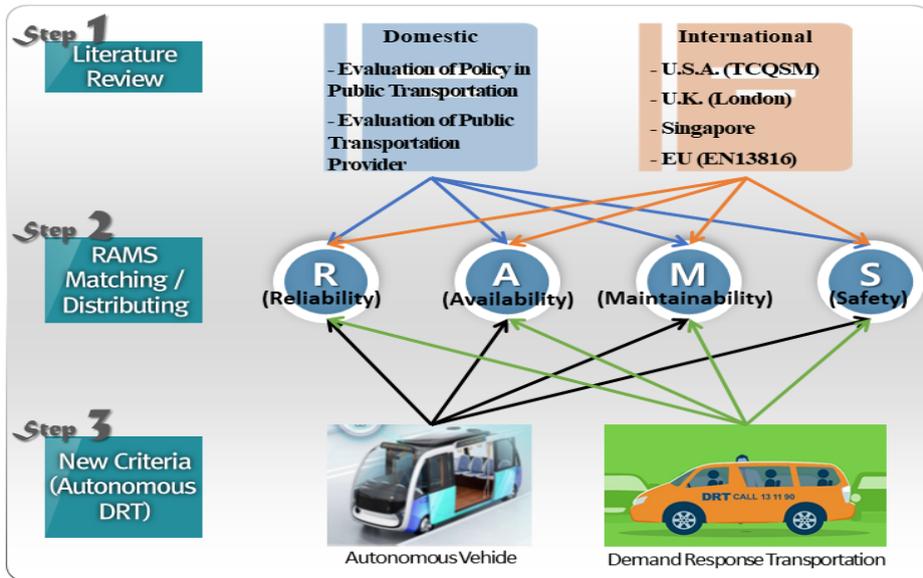


Fig. 3. Approach to identify evaluation criteria for Autonomous Demand Response Public Transportation

a) Reliability(신뢰성)

시스템 관점에서의 신뢰성은 시스템이 주어진 조건에서 계획된 시간 동안 요구된 기능을 오류 없이 수행하는 확률(능력)로 정의된다(Fig. 2). 이러한 신뢰성은 수요대응 자율주행 대중교통 서비스의 보편화 및 활성화를 위한 필수 요소로서 본 연구에서는 차량시스템과 운영·관제시스템으로 분리하여 각 시스템의 신뢰성을 공공성 평가 항목으로 선정하였다.

이용자 관점에서 대중교통 서비스의 신뢰성은 제공되는 서비스의 시간 신뢰성 또는 정확성으로 대표된다. 기존문헌에서 대중교통 서비스는 주로 운행계획 또는 배차간격의 정시성으로 평가 되었으나, 본 연구에서 수요대응 대중교통 서비스의 시간 신뢰성(또는 정확성)은 이용자와 서비스 제공자 또는 시스템이 함께 결정한 출·도착 시간에 서비스가 제공되는 정도를 의미한다.

b) Availability(가용성)

가용성은 시스템이 주어진 조건에서 일정 시간 동안 요구된 기능 수행이 가능한 상태일 능력을 의미한다(Fig. 2). 신뢰성과 함께 가용성은 수요대응 자율주행 대중교통 서비스의 보편화/활성화 및 지속적인 발전에 중요한 요소이므로 차량시스템 및 운영·관제시스템 각각의 가용성을 공공성 평가 항목으로 포함하였다.

기존문헌에서 이용자 관점에서의 대중교통 서비스 가

용성은 서비스 제공의 시간적 범위 및 빈도(미국), 접근성(미국, 싱가포르), 정보 제공(싱가포르, EU) 등 다양하게 평가되어 왔다. 본 연구에서 수요대응 자율주행 대중교통 서비스의 가용성은 공간적 가용성, 정보 가용성, 시간적 가용성, 차량 가용성으로 세분화 하여 고려할 필요가 있다. 공간적 가용성은 수요대응 자율주행 대중교통 서비스가 제공되는 곳이 이용자 and 거리상 근접한 정도를 나타내고, 정보 가용성은 서비스에 대한 정보의 제공 정도를 의미한다. 시간적 가용성은 1)하루 중 또는 일주일 중에 서비스가 제공되는 시간의 정도, 그리고 2)서비스 제공 시간이 이용자의 요청 시간에 근접한 정도로 더 세분화가 가능할 것으로 생각되고, 차량 가용성은 이용자의 요청에 대한 서비스 제공 가능성을 의미한다.

c) Maintainability(유지보수성)

Fig. 2에 따르면 유지보수성은 일정 시간 안에 계획된 시스템의 유지보수를 완료할 확률(능력)을 의미한다. 시스템 관점에서 유지보수성은 신뢰성과 함께 가용성을 결정하는 요소([12])이며 기존의 대중교통 서비스에 비해 다양하고 복잡한 시스템이 요구되는 수요대응 자율주행 대중교통 서비스의 경우 차량시스템 뿐 아니라 운영·관제시스템의 유지보수성도 전체 서비스의 공공성 확보에 큰 영향을 미칠 것으로 생각된다.

Table 3. Evaluation Criteria for Autonomous Demand Response Public Transportation

	System Perspective	Passenger Perspective
Reliability	- Vehicle reliability - Operation system reliability	- Temporal reliability
Availability	- Vehicle availability - Operation system availability	- Spatial availability - Information availability - Temporal availability - Vehicle availability
Maintainability	- Vehicle maintainability - Operation system maintainability	-
Safety	- Safety (e.g., accident) - Security	- Satisfaction surveys

d) Safety(안전성)

Fig. 2에서 안전성은 잠재적인 인적/물적 피해를 야기하는 상황이 발생하지 않는 확률로 정의되고 있다. 안전성은 기존의 국내외 모든 대중교통 서비스 평가항목에 포함되는 요소로서 수요대응 자율주행 대중교통 서비스의 거부감을 최소화하여 수요대응 자율주행 대중교통 활성화에 중요한 역할을 할 것으로 생각된다.

본 연구에서 수요대응 자율주행 대중교통 서비스의 시스템 관점 안전성은 기존문헌의 대중교통 서비스 평가에 사용된 인적/물적 피해 사고 외에도 외부의 물리적 또는 가상 공격(침입/해킹 등)으로부터 시스템을 보호하는 능력인 시스템 보안성을 포함한다. 또한, 이용자 관점에서 안전성은 승객이 서비스 이용 중에 체감하는 안전성을 나타내는데 이용자 만족도 조사를 통해 자율주행 차량의 주행안전성, 탑승·하차 장소의 안전성 등을 평가할 수 있을 것이다.

4. 결론 및 향후 연구 방향

“수요대응 + 자율주행 + 대중교통”의 복합적 기술 및 서비스가 결합된 새로운 형태의 대중교통 수단을 대상으로 한 대중교통 서비스의 공공성 개념과 평가체계 적용은 기존 방법과는 달라야 할 것이다. 본 연구에서는 기존 문헌 검토를 통해 국내외 대중교통 서비스 평가체계의 평가항목과 철도시스템의 RAMS(신뢰성, 가용성, 유지보수성, 안전성) 개념을 검토하여 수요대응 자율주행 대중교통 서비스의 공공성 확보를 위한 평가항목을 도출하고자 하였다.

이에 수요대응 자율주행 대중교통 서비스의 ‘공공성’을 1) 수요대응 자율주행 대중교통에 대한 거부감 최소화 및 활성화 추구, 2) 수요대응 자율주행 대중교통의 보

편화 및 지속가능한 서비스로의 발전, 3) 전체(기존+수요대응 자율주행) 대중교통 시스템의 발전 및 활성화로 정의하였다. 이런 ‘공공성’ 확보를 위해 본 연구에서는 수요대응 자율주행 대중교통 서비스 평가 항목을 RAMS 각 분야에 대해 시스템 및 이용자 관점으로 구분하여 도출하였다. 먼저 시스템 관점에서 수요대응 자율주행 대중교통 서비스의 공공성은 차량시스템과 운영·관제시스템으로 분리하여 각 시스템의 신뢰성, 가용성, 유지보수성으로 측정하고, 안전성은 전체 시스템의 안전성과 보안성으로 측정하는 것으로 제안하였다. 또한, 이용자 관점에서 공공성은 시간 신뢰성과 공간·정보·시간·차량 가용성 및 이용자 체감 안전성으로 가능토록 제안하였다. 이러한 평가 항목들은 수요대응 자율주행 대중교통이 갖추어야 할 최소한의 요구사항으로, 수요대응 자율주행 대중교통이 공공성이 확보된 수단으로 자리매김하는데 기여할 것으로 기대한다.

향후 연구로는 본 연구에서 제안한 평가항목을 바탕으로, 각 평가 항목을 정량적으로 보여주는 객관적 평가지표 개발, 검토 및 선정이 필요 할 것이다. 또한, 실제 수단 및 시스템 개발, 서비스 제공을 통해 항목 및 지표에 대한 검증이 필요할 것이며, 제안된 평가 항목 및 지표를 토대로 AHP(Analytic Hierarchy Process) 분석 등을 통한 항목/지표별 가중치를 도출하여 평가 체계 구축이 필요할 것으로 예상된다.

References

[1] R. Daniels, C. Mulley, “Flexible Transport Services: Overcoming Barriers to Implementation in Low-Density Urban Areas”, *Urban Policy and Research*, 30(1), pp. 59-76, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/08111146.2012.660872>

- [2] C. Roh, H. Jeon, "Decision-Making Process for Demand Response Public Transportation Service Design—A Case Study in Incheon, Korea", *Sustainability*, 13(10), 5574, May 2021.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/su13105574>
- [3] M. Alonso-González, T. Liu, O. Cats, N. Van Oort, S. Hoogendoorn, "The Potential of Demand-Responsive Transport as a Complement to Public Transport: An Assessment Framework and an Empirical Evaluation", *Transportation Research Record*, 2672(8), pp. 879-889, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1177/0361198118790842>
- [4] <https://www.kaia.re.kr/portal/landmark/readTskView.do?menuNo=200060&tsklD=161756&yearCnt=1> (accessed Sep. 2021).
- [5] Korea Transportation Safety Authority, "Manual for Evaluation of Policy in Public Transportation", 2021.
- [6] Korea Transportation Safety Authority, "Manual for Evaluation of Public Transportation Provider (Management and Service Quality)", 2020.
- [7] Transportation Research Board, "Transit Capacity and Quality of Service Manual, Third ed.", 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.17226/24766>
- [8] Land Transport Guru, <https://landtransportguru.net/quality-of-service-qos-standards> (accessed Sep. 2021).
- [9] Transport for London, "London's Bus Contracting and Tendering Process", 2015, Available at: (<http://content.tfl.gov.uk/uploads/forms/lbsl-tendering-and-contracting.pdf>) (accessed Sep. 2021).
- [10] European Committee for Standardization, "Transportation-logistics and services-public passenger transport-service quality definition, targeting and measurement", EN 13816, 2002.
- [11] MITRE, "Systems Engineering Guide", 2014. Available at: (<https://www.mitre.org/sites/default/files/publications/se-guide-book-interactive.pdf>) (accessed Sep. 2021).
- [12] European Committee for Electrotechnical Standardization, "Railway applications - The specific and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)", EN 50126, 1999.
- [13] J. Cha, I. Chung, K. Jo, "KTX-II RAMS Application Standard for Safety of Passenger Transportation Service", Proceedings of the KSR (Korea Society for Railway) Conference, pp. 1525-1538, Nov. 2008.
- [14] J. Choi, E. Park, E. Choi, "Development of evaluation index of publicness in rail system", 2017. Available at: (<https://www.koti.re.kr>) (accessed Sep. 2021).

노 승 원(Seungwon Noh)

[정회원]



- 2007년 2월 : 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 (도시계획석사)
- 2020년 8월 : 조지메이슨대학교 시스템엔지니어링학과 (공학박사)
- 2021년 6월 ~ 2021년 12월 : 한국건설기술연구원 박사후연구원
- 2021년 12월 ~ 현재 : 한국교통연구원 부연구위원

<관심분야>

교통시스템, 시스템 신뢰성/안전성

노 창 균(Chang-Gyun Roh)

[정회원]



- 2008년 2월 : 연세대학교 도시공학과 (공학석사)
- 2012년 2월 : 연세대학교 정보산업도시공학과(도시) (공학박사)
- 2012년 2월 ~ 2016년 2월 : 연세대학교 도시공학과 강사
- 2014년 5월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

<관심분야>

교통류, 모빌리티 서비스, 자율주행 지원 인프라

문 병 섭(Byeongsup Moon)

[정회원]



- 1993년 2월 : 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 (도시계획석사)
- 2002년 8월 : 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 (교통공학박사)
- 2001년 9월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 선임연구위원

<관심분야>

ITS, 자율주행

하 정 아(Jung-Ah Ha)

[정회원]



- 2006년 8월 : 중앙대학교 컴퓨터 소프트웨어학과 (공학석사)
- 2013년 2월 : 아주대학교 건설교통공학부 (공학박사)
- 2001년 12월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

〈관심분야〉

보행안전, 자율주행