

사용자 경험 데이터 기반 초소형 전기차 모빌리티 서비스 품질 평가

임문원* · 김윤희* · 전동환* · 김범준* · 김종남** · 김민재** · 최희선** · 배석주*†

* 한양대학교 산업공학과

** 한국자동차연구원 E-모빌리티연구센터

User Experience Data-Based Quality Evaluation for Micro Electric Vehicle Mobility Services

Lim, Munwon* · Kim, Yunhee* · Jeon, Donghwan* · Kim, Beomjun* · Kim, Jongnam** ·
Kim, Minjae** · Choi, Huiseon** · Bae, Suk Joo*†

* Department of Industrial Engineering, Hanyang University

** E-Mobility R&D Center, Korea Automotive Technology Institute

ABSTRACT

Purpose: This study aimed to develop a tailored Quality of Service (QoS) evaluation and prediction model specifically for mobility services using micro electric vehicles (MEVs). The purpose of this work was to enhance prediction accuracy and provide a more refined evaluation metric by analyzing user experience data, considering unique characteristics of MEVs.

Methods: A weighted evaluation model was developed to capture the interactions and significance of variables derived from user experience. Specifically, this study proposed a weighting method based on usage records, user driving patterns, and travel distances. A weighted regression analysis was then performed to objectively evaluate QoS, aiming to improve predictive power and interpretability.

Results: The findings highlighted that user experience history significantly influenced QoS, demonstrating the importance of tailored assessments for MEV-based mobility services using empirical data. The proposed weighted model has an advantage over traditional models in terms of prediction accuracy and interpretability.

Conclusion: To ensure the sustainability of MEV-based mobility services, it is essential to move beyond conventional survey-based QoS evaluations. Data-driven models incorporating user-specific factors provide more accurate and comprehensive assessment results. The application of the proposed model to real-world

● Received 29 October 2024, 1st revised 25 November 2024, accepted 28 November 2024

† Corresponding Author(sjbae@hanyang.ac.kr)

© 2024, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

* 본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “초소형 전기차 실증 및 산업육성 체계 구축”(과제번호 P0009445)으로 수행된 연구결과입니다. 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2021202090056C)

operational data demonstrated its effectiveness in improving the precision of QoS evaluations.

Key Words: Microcar, Mobility Services, Quality of Service, Service Evaluation, User Experience

1. 서 론

초소형 전기차는 전기차의 경량화, 소형화를 통해 교통 문제를 해결하고자 하는 환경친화적인 이동 수단으로, 교통 혼잡, 주차 공간 부족과 같은 도시 문제를 완화하고, 소도시에서의 접근성 및 교통 인프라 부족 문제를 해결할 수 있는 중요한 대안으로 간주된다. 초소형 전기차는 기존 내연기관 차량에 비해 에너지 소비가 적고, 배출가스가 없는 친환경적인 특성을 지니고 있어, 다양한 정부 정책과 산업체의 지원을 통해 그 보급이 촉진되고 있다(Patil et al., 2024). 유럽 및 아시아 일부 국가에서는 초소형 전기차의 확산을 위하여 정책적 지원을 강화하고 있으며, 이러한 추세는 초소형 전기차 기반의 모빌리티 서비스 확대에도 긍정적인 영향을 미치고 있다(Loustric and Matyas, 2020). 초소형 전기차 모빌리티 서비스는 단순히 개인 차량으로의 역할 뿐만 아니라, 차량 공유 서비스와의 연계를 통하여 다양한 실증 연구가 진행되고 있다. 또한, 사용 편의성과 접근성을 기반으로 공공분야에서 다양한 플랫폼 서비스가 개발되고 활용됨에 따라, 초소형 전기차 기반 공공 모빌리티 서비스의 고도화가 활발히 이루어지고 있다(Kim et al., 2023). 이러한 배경에서 초소형 전기차는 기존 대중교통, 자율주행 및 카셰어링 서비스와 결합하여 교통수단의 효율성을 높일 수 있는 잠재력을 지니고 있다. 초소형 전기차의 특성상, 전기차의 소형화와 지역 맞춤형 이동 솔루션을 통해 특정 지역 중심의 산업 클러스터를 형성하기 용이한 특성을 가진다(Cho et al., 2024). 이외에도, 개인화된 이동 수단에 대한 수요 증가와 공유 경제의 확산은 초소형 전기차가 다양한 이용자층을 위한 신규 이동 솔루션을 제시하는 데에 중요한 역할을 하고 있다(Lang et al., 2022).

이와 같이 초소형 전기차는 새로운 친환경 이동 수단으로서의 역할 뿐만 아니라, 대중교통 연계 및 공유 모빌리티의 역할까지 수행하기에 적합한 차종이지만, 초소형 전기차를 활용한 비즈니스 모델이 지속 가능하기 위한 서비스 품질(QoS: Quality of Service) 평가 체계는 아직 미비한 실정이다. 기존의 QoS 평가 체계는 주로 이용자를 대상으로 설문조사를 실시한 이후 이를 기반으로 서비스 만족도를 평가하고, 설문조사 데이터를 중심으로 독립변수와 종속변수 간의 관계를 규명하여 평가 결과를 해석하는 방식으로 이루어져 왔다(Chou et al., 2011). 가장 전통적인 기법으로, 이용자 만족도와 관련도가 높은 신뢰성, 반응성, 확신성, 공감성, 유형성의 5가지 차원을 기반으로 QoS를 평가하기 위한 SERVQUAL 모델이 개발되었다(Parasuraman et al., 1988). 이후 경제성, 유용성, 환경성 등 다양한 평가요인이 반영된 설문 항목을 재구성하여 다각적인 측면에서 서비스를 평가하기 위한 시도가 이루어졌다(Arteaga-Sánchez et al., 2020). 이외에도, 서비스의 이용 시기, 혹은 서비스의 이용 주체에 따라 설문 대상 그룹을 세분화하여 이용 시기별, 주체별 QoS 평가 모델을 수립한 사례가 존재한다(Akhmedova et al., 2020).

하지만, 기존의 QoS 평가는 설문조사 평가 결과를 바탕으로 이루어져, 실질적인 서비스 이용 경험을 종합적으로 평가하기에는 어려움이 존재한다. 최근 연구에 따르면 설문조사 외에도 서비스 이용기록 데이터가 서비스의 품질을 평가하는 데에 주요한 정보를 제공하고 있다는 점이 강조되고 있다(Banerjee et al., 2010; Anderson et al., 2013; Song et al., 2016). 또한, 서비스 플랫폼으로부터 확보된 데이터를 기반으로 정확하고 신뢰할 수 있는 정보를 기반으로 서비스를 평가하는 것이 서비스의 전반적인 품질을 증진하고, 고객의 서비스 재이용에 주요한 영향을 미친다는 사실이 규명되었다(J. Park and H. Park, 2024). 즉, 모빌리티 서비스의 품질 평가 시 실질적인 이용 데이터를 기반으로 정량적인 분석 결과를 제공하는 것이 중요하다. 또한, 기존 QoS 평가 모델의 경우, 독립변수와 종속변수 간의 단순 상관관계를 통해 평가하거나, 서비스에 주요한 영향을 미치는 변수들의 중요도를 충분히 반영하지 못하는 경우

가 대부분이었다(Tyrinopoulos and Antoniou, 2013). 실제로 모빌리티 서비스의 품질을 평가할 때 일부 변수가 다른 변수들에 비해 더 중요한 영향을 미칠 수 있음에도 불구하고, 기존 연구들은 이러한 차이를 규명하는 데에 한계점이 존재하였다. 특히, 초소형 전기차의 경우 차종의 특성상 서비스를 이용하는 이용자의 운전 행태가 매우 상이하며, 서비스 이용 시기와 이동거리 등이 품질 평가에 중요한 변수로 작용할 수 있다(Zuo et al., 2019). 따라서, 초소형 전기차의 특성을 반영한 객관적인 QoS 평가를 수행하기 위하여, 초소형 전기차 모빌리티 서비스에 대한 특화형 품질 평가 모델이 요구된다.

본 연구에서는 기존 연구에서 지적된 한계점을 보완하기 위하여, 이용자 경험 빅데이터 기반의 초소형 전기차 모빌리티의 QoS 평가 및 예측 모델을 제안하고자 한다. 실제 이용기록을 기반으로 이용 경험 데이터를 수집하고, 독립 변수 간의 상호작용과 중요도를 고려한 가중화 모델을 도입하여 개선된 설명력과 낮은 오차로 QoS를 평가, 예측할 수 있는 모델을 구축하고자 한다. 특히, 초소형 전기차 이용자의 운전 행태에 따라 세분화를 수행하여 이들의 가중치를 조정함으로써, 보다 정교한 평가가 가능한 모델을 수립한다. 제안 모델에 대한 적합성을 검증하기 위하여, 초소형 전기차 서비스 육성 실증 지원사업의 일환으로 확보된 모빌리티 서비스 운영 데이터를 기반으로 QoS를 평가 및 고도화하였다. 가중화 모델을 기반으로 실제 데이터 적용을 통한 실증을 수행함으로써, 모빌리티 서비스의 품질을 객관적으로 평가하고, 품질 평가 결과에 대한 정밀도 향상에 기여하고자 한다.

연구의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 모빌리티 서비스 특화형 QoS 모델의 가중화 절차에 대하여 상세히 기술하였으며, 3장에서는 실제 모빌리티 서비스 운영 데이터에 제안된 방법을 적용하여 QoS 평가 및 예측의 개선도를 평가하고, 이에 대한 정량적인 분석 결과를 제공한다. 마지막으로 4장은 본 연구에 대한 결론과 더불어, 향후 연구에 대한 내용을 제시한다.

2. 모빌리티 서비스 특화형 QoS 가중화

초소형 전기차 모빌리티 서비스로부터 서비스의 이용 일시, 이용 기간, 주행거리 및 운전 패턴과 관련된 다양한 변수를 확보할 수 있다. 데이터 내에 수많은 계측 변수가 존재하지만, 실질적으로 QoS에 주요한 영향을 미치는 변수들은 일부분이다(Reese et al., 2017). 2장에서는 서비스의 최신 기록, 이용자의 운전 행태, 서비스 이용 수준에 따라 중요도를 반영함으로써 QoS를 보다 정밀하고 효과적으로 평가하기 위한 방법을 제시한다. 따라서, 최근 이용기록 기반 가중화, 이용자 패턴 기반 가중화, 이동거리 기반 가중화 기반의 QoS 평가 모델을 제안하고, 이를 통합적으로 고려하여 서비스를 평가하기 위한 방법론을 제안하고자 한다. 각 가중화 기법에 대한 상세 내용은 하기와 같다.

2.1 이용기록 기반 가중화

서비스의 이용 시점이 오래되었음에도 불구하고 최근 기록과 동일한 데이터로 간주하여 QoS 모델에 반영하는 경우, 품질 평가의 정밀도와 설명력이 저하되는 경우가 존재한다. 이러한 현상은 변동효과(Volatility Effect)라고 정의되며, Qi et al.(2020)의 연구에 따르면, 변동 효과를 상쇄 및 보정하기 위하여 아크탄젠트(Arctangent) 함수를 활용하여 데이터의 가중화를 수행할 수 있다. 이용기록 기반 가중치 $W_{time}(i)$ 는 Eq. (1)과 같이 모수 α, β 를 가지는 아크탄젠트 가중화 함수로 계산되며, 총 L 개의 데이터 중 i 번째 데이터가 수집된 일시 t_i 와 첫 이용기록, 마지막 이용기록 간의 차를 기반으로 산출된다. 이 때, 가중화 모델의 효율성과 정확성을 향상시키기 위하여 Gibbard(1974)가 제안한 파레토 기반 평가 법칙을 반영한다. $\lceil 0.2L \rceil$ 는 전체 데이터의 20%를 초과하지 않는 최대 정수를 의미하며,

상위 20%의 가중치가 전체 가중치의 80%를 만족하고, 가중치의 총합이 1이 되도록 제약조건을 설정한다. 위와 같은 함수와 제약조건을 만족하는 모수 α, β 를 추정하여 가중화 모델을 적합한다. 가중화 함수의 양상을 시각화한 예시는 <Figure 1>과 같으며, 이용기록의 수집 시기가 오래된 데이터일수록 낮은 가중치를 부여받아 QoS 모델 상에 낮은 중요도로 반영이 이루어진다.

$$W_{time}(i) = \alpha \cdot \arctan\left(t_i - \frac{t_1 + t_L}{2}\right) + \beta, \tag{1}$$

$$s.t. \sum_{i=1}^L W_{time}(i) = 1, \quad \sum_{i=L - \lceil 0.2L \rceil + 1}^L W_{time}(i) = 0.8.$$

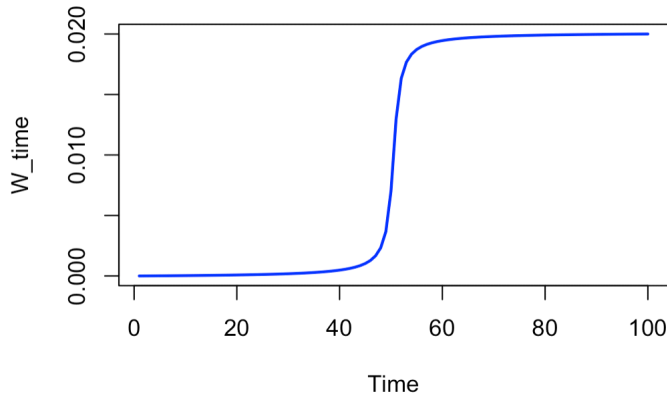


Figure 1. Time-Based Arc-tangent Weighted Function

2.2 이용자 패턴 기반 가중화

둘째로, 운전 패턴과 같이 이용자가 서비스를 이용하는 행태에 따라 QoS가 상이하게 평가될 수 있으며, 이러한 이용자군의 유형에 따라 상이한 사용자 경험을 제공할 가능성이 높다. 이를 반영한 서비스 평가 모델을 개발하기 위하여 이용자들의 운전 기록 데이터를 기반으로 군집분석을 수행하는 경우, 각 이용자의 운행 패턴 유형과 더불어 이용자군별 가중화를 수행할 수 있다. 이 때, 각 군집이 가지는 크기를 기반으로, 군집 간의 비율을 활용한 기하함수를 활용하여 가중치를 할당한다. 가중화 기법에 대한 수식과 제약조건은 Eq. (2)와 같으며, 총 L 개의 이용자 데이터 중 i 번째 사용자에게 대한 군집 크기 s_i 와 평균 군집 크기에 대한 비율인 r_i 에 대한 함수로 이루어진다. 이 때, 가중화 함수와 제약조건을 만족하는 파라미터 값인 w_{user} 를 추정함으로써 가중화의 추정 및 반영이 이루어지며, 이에 대한 시각화 예시는 <Figure 2>와 같다.

$$W_{user}(i) = \frac{w_{user}}{\log_2\left(r_i + \frac{1}{r_i}\right)}, \quad r_i = \frac{s_i}{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L s_i}, \tag{2}$$

$$s.t. \sum_{i=1}^L W_{user}(i) = 1.$$

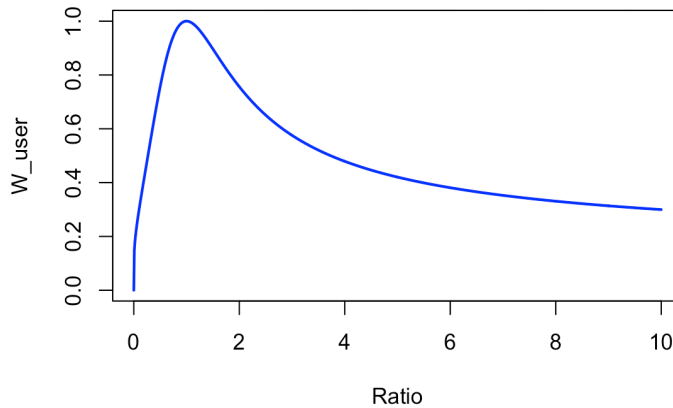


Figure 2. User-Based Geometric Weighted Function

2.3 이동거리 기반 가중화

마지막으로, 모빌리티 서비스에서의 이동 거리는 서비스의 품질을 평가하기 위한 주요 요인인 관계로, 이를 QoS 평가 모델 수립 시에 주요하게 반영하여야 한다. 특히, 이용자의 운행 패턴에 따라 이동거리가 상이할 수 있는 관계로, 특정 이용자에게 대한 QoS를 분석하는 경우, 해당 이용자가 속한 이용자군을 기준으로 가중화가 이루어져야 한다. 2.2장에서 기하함수를 활용한 가중화 방식과 유사한 형식으로 가중치를 할당할 수 있으며, 이에 대한 수식은 Eq. (3)과 같다. 총 L 명의 서비스 이용자 중 i 번째 이용자가 군집 C 에 속한 경우, 해당 이용자의 이동거리인 d_i 와 군집 C 내 사용자들의 수 L_C 를 기반으로 군집 내 평균 이동거리 비율을 환산할 수 있다. 이를 기반으로, Eq. (3)와 유사한 형식으로 가중치를 부여할 수 있으며, 이용자 패턴 기반 가중화 방식과 유사하게 수식에 대한 파라미터 값인 w_{dist} 를 추정하여 가중화의 반영이 이루어진다.

$$W_{dist}(i) = \frac{w_{dist}}{\log_2 \left(r_i + \frac{1}{r_i} \right)}, \quad r_i = \frac{d_i}{\frac{1}{L_C} \sum_{d \in C} d} \quad \text{where } d_i \in C, \quad (3)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^L W_{dist}(i) = 1.$$

상기의 3가지 가중화 방법을 QoS 평가 모델에 개별적으로 반영하거나, 전통적인 단순 가산 가중 기법(SAW: Simple Additive Weighting)을 활용하여 통합적으로 반영할 수 있다(Hwang and Yoon, 1981). 이에 대한 수식은 Eq. (4)와 같으며, 사전에 지정된 중요도 p, q, r 에 따라 합산식을 기반으로 최종 QoS 평가 모델에 반영할 가중치를 산출할 수 있다. 이와 같은 서비스 지표 가중화 방법론을 활용하는 경우, 보다 높은 중요도를 가지는 데이터의 영향력을 반영하여 객관적인 서비스 평가지표 결과를 제공할 수 있다는 장점을 가진다.

$$W(i) = p \cdot W_{time}(i) + q \cdot W_{user}(i) + r \cdot W_{dist}(i) \quad (4)$$

$$\text{s.t. } p + q + r = 1$$

3. 데이터 적용

본 연구에서는 초소형 전기차 모빌리티 서비스 실증 사업을 통하여 확보된 이용자들의 이용기록 데이터를 바탕으로 진행중인 서비스의 QoS를 평가하였다. 연구에서 제안한 가중화 모델을 기반으로 QoS 평가 모델을 적용하였으며, 제안한 연구의 적합성을 검토하기 위하여 가중화가 이루어지지 않은 기존의 QoS 평가 모델 적용 결과 대비 예측 오차, 설명력, 모델 유의성 등의 개선도를 비교하였다. 모빌리티 서비스 데이터는 2020년 7월부터 2022년 10월까지 수집한 차량 단말 데이터로, 이용자가 서비스 이용 시 차량이 운행을 시작했던 시점부터 운행이 종료된 시점까지의 운행 기록을 기반으로 수집되었다. 확보된 데이터의 경우 40,349개의 이용기록에 대한 36개의 변수가 존재하였으며, 크게 이용기록에 대한 기본 정보, 이용자의 운전 행태 정보와 차량 성능 정보로 구분할 수 있다. 각 정보에 대한 상세 변수 목록은 <Table 1>과 같으며, 서비스 실증을 통하여 확보한 데이터를 기반으로 QoS를 객관적으로 평가, 예측하고자 다양한 독립변수가 활용되었음을 확인할 수 있다.

Table 1. List of Variables for Mobility Service Data

Type		Variable
Basic information		Date of operation, number of trips on the operation date, trip start time, end time
Driving behavior	Overall information	Average speed, rpm usage
	Speed information (number)	Number of rapid accelerations, decelerations, sudden starts, stops, accelerations, decelerations, steady driving events, speeding violations
	Speed information (time)	Idling time, time with vehicle speed between 0-10km/h, 10-20km/h, 20-30km/h, 30-40km/h, 40-50km/h, 50-60km/h, 60-70km/h, 70-80km/h
	Angle information (number)	Number of trips with vehicle angle above 3 degrees, between 0 and 3 degrees, between 0 and -3 degrees, below -3 degrees
	Angle information (distance)	Distance traveled with vehicle angle above 3 degrees, between 0 and 3 degrees, between 0 and -3 degrees, below -3 degrees
Vehicle performance		Vehicle type, number, trip distance, duration, battery usage, quality of service

3.1 주요 변수 선택

모델링을 수행하기 전, 전체 변수로부터 서비스 제공 품질과 관련도가 높은 변수를 선정하기 위하여 상관분석 및 변수선택을 수행하였다. QoS(Quality of Service)를 종속변수로 설정하고, 이외의 변수들을 독립변수로 가정하여 상관계수를 검토한 결과는 <Figure 3>과 같다. 종속변수인 QoS는 우측 최하단에 위치하여 있으며, 상관성 검토 결과 급감속횟수(Number of rapid decelerations), 급정지횟수(Number of sudden stops), 과속횟수(Number of speeding violations), 평균속도(Average speed), 차량속도가 60-70km/h인 시간(Time with vehicle speed between 60-70km/h), 차량속도가 70~80km/h인 시간(Time with vehicle speed between 70-80km/h)와 같은 일부 독립변수를 제외하는 경우 대부분 0.4 이상의 값으로 일정 수준의 상관관계를 가진다.

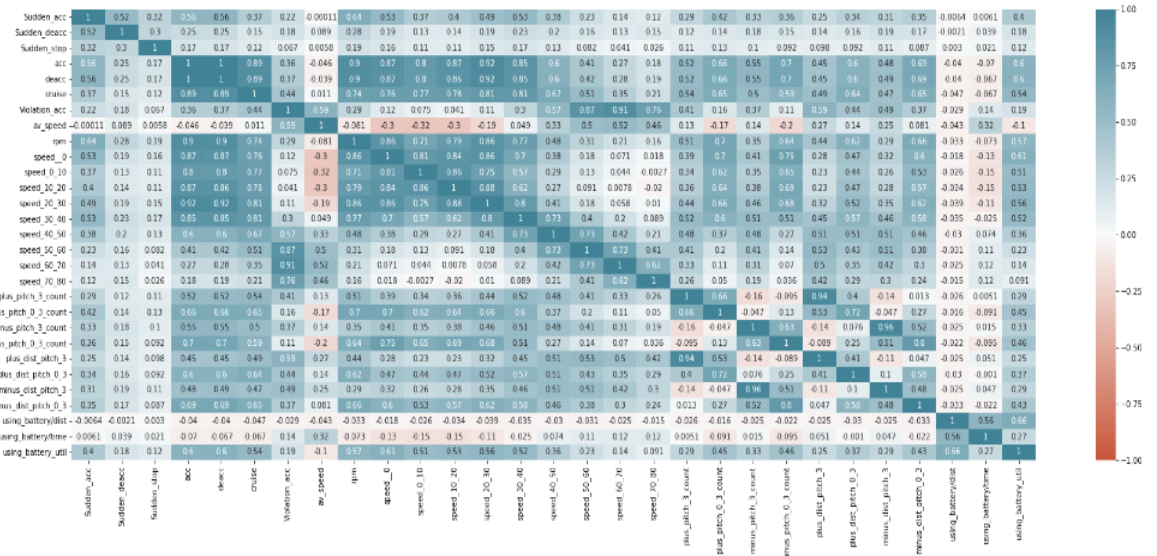


Figure 3. Result of Correlation Analysis for Mobility Service Data

상관분석 외에도 QoS에 영향을 미치는 주요한 변수를 파악하기 위하여 변수선택법을 진행하였다. 변수선택법은 수많은 변수 중 예측변수를 설명하기에 최적의 변수 조합을 찾아내는 기법으로, 전진 선택법, 후진 소거법, 단계적 선택법의 세 가지 선택 방식으로 구분된다. 전진 선택법은 변수가 지정되지 않은 상태에서 적합도가 높은 순으로 변수를 추가해 나가면서 최적 모형을 형성하는 기법이며, 후진 소거법은 모든 변수가 지정된 상태에서 적합도가 개선되는 순으로 변수를 제거해 나가는 기법이다. 마지막으로 단계적 선택법은 두 방법을 번갈아가며 진행하여 성능지표를 비교하여 회귀식을 수립하는 방법으로, 본 분석에서는 세 가지 방법을 모두 실행하여 주요 변수를 선택하였다. 변수선택 결과 각각 20개, 21개, 17개의 변수가 선별되었으며, 공통적으로 선택된 17개의 주요 변수는 <Table 2>와 같다. 전반적인 운행 속도 및 RPM과 관련된 변수와 더불어, 가감속 및 속도 위반과 관련된 운전 행태 변수가 선별되었다. 특히, 운전 각도가 0도 이하인 내리막길에서의 운행 정보가 주요한 변수로 추출된 결과를 통하여 내리막길에서의 운행 패턴에 의해 QoS가 변동됨을 유추할 수 있다.

Table 2. List of Primary Variables for QoS Evaluation

Type	Variable
Overall information	Average speed, rpm usage
Speed information (number)	Number of rapid accelerations, decelerations, accelerations, steady driving events, speeding violations
Speed information (time)	Idling time, time with vehicle speed between 0-10km/h, 10-20km/h, 20-30km/h, 30-40km/h, 40-50km/h, 50-60km/h
Angle information (number)	Number of trips with vehicle angle between 0 and -3 degrees, below -3 degrees
Angle information (distance)	Distance traveled with vehicle angle below -3 degrees

3.2 데이터 가중화

선별된 변수들을 활용하여 서비스 평가 모형을 수립하기 위하여, 이용기록, 이용자 패턴, 이동거리 기반 가중화를 수행하였으며, 세 가지 방법을 기반으로 각 데이터의 가중화 시각화한 결과는 <Figure 4>와 같다.

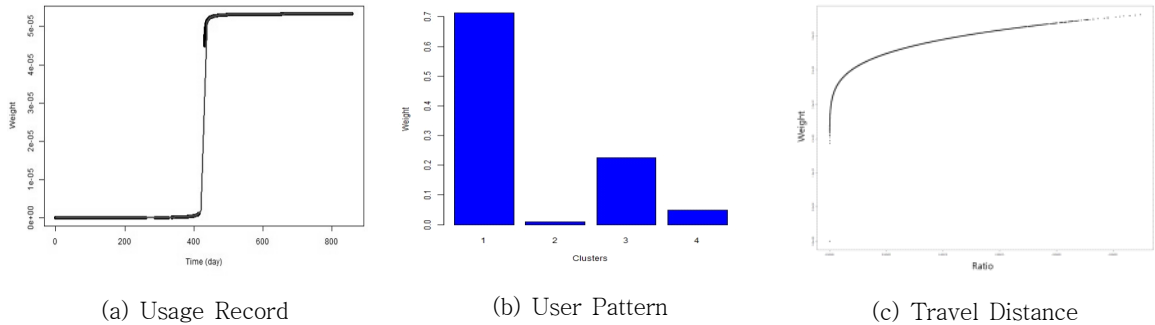
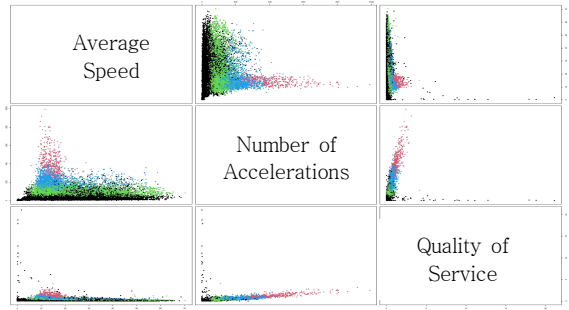
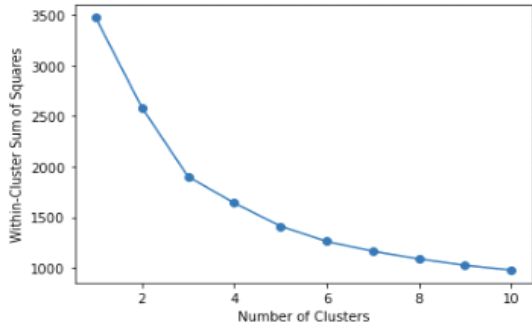


Figure 4. Visualization of Weighted Scores for Usage Record, User Pattern, and Travel Distance

이용기록 가중화의 경우, 데이터로부터 확보된 서비스 이용 시점을 활용하였으며, 서비스가 처음으로 시작된 초기 시점 대비 최종 시점까지의 시차를 기반으로 계산되었다. 이후, 최종 시점과 가장 가까운 데이터가 이용기록에 주요한 영향을 미치도록 가중치를 부여하기 위하여, 아크탄젠트 함수로 가중화를 수행하여 주어진 이용기록 데이터를 효과적으로 모사하는 모수를 추정하였다. 이에 대한 파라미터 추정치는 $\hat{\alpha} = 1.69 \times 10^{-5}$, $\hat{\beta} = 2.66 \times 10^{-5}$ 로 도출되었다.

다음으로, 이용자 패턴 가중화를 수행하기 위하여, K-평균 군집화(K-means Clustering) 기법을 활용하여 이용자의 운전 행태를 군집화하였다. K-평균 군집화 방법론은 주어진 데이터가 K개의 군집으로 형성되어 있다고 가정하고, 군집의 중심점을 기반으로 각 데이터를 K개의 군집으로 할당하는 기법이다. 이용자 데이터를 가장 효과적으로 표현하는 군집의 개수 K를 규명하기 위하여 군집 개수별 군집 내 제곱합을 산출하였고, 군집 내 제곱합의 감소가 이전 대비 완만해지는 엘보우 포인트(Elbow Point)를 기준으로 최적 군집 수를 K=4로 결정하였다. 군집화 결과와 서비스 이용자의 운행 패턴을 시각화한 결과는 <Figure 5>와 같으며, 형성된 4개의 이용자 패턴에 대한 설명은 <Table 3>에 기술하였다. 군집화 결과 대표 변수 3개에 따라 4개 군집의 운행 패턴에 분명한 차이가 존재하는 것을 확인할 수 있으며, 도출된 이용자 패턴에 따라 기하함수 기반의 가중화를 수행한 파라미터의 추정치는 $\hat{w}_{user} = 6.61 \times 10^{-5}$ 이다.



(a) Within Sum of Squares over the Number of Clusters

(b) Scatter Plots for User Clusters

Figure 5. Visualization of Clustering Result for User Patterns

Table 3. Description of Clustered User Patterns

Type	Description
High-Speed Efficient Drivers	Minimal idling time. high average speed. focus on steady and efficient driving.
Accelerative Low-Speed Drivers	Frequent acceleration. low average speed. stop-and-go driving pattern.
High-Speed Aggressive Drivers	Frequent speeding. high average speed. aggressive driving style.
Low-Speed Efficient Drivers	Minimal idling time. low average speed. conservative and cautious driving.

마지막으로, 이동거리 기반 가중화의 경우 장거리 이용 고객의 데이터를 주요한 데이터로 간주하여 가중화를 수행한다. 모빌리티 서비스의 실증 데이터로부터 확보된 이동 거리를 기반으로 가중화를 수행하였으며, 가중화 수행 방식은 이용 패턴과 동일한 기하함수 기반의 가중화를 수행하였다. 이를 기반으로 파라미터를 추정한 결과 $w_{dist} = 4.12 \times 10^{-4}$ 로 추정이 이루어졌다.

3.3 QoS 평가 모델 수립

제안된 3가지의 가중화 기법을 기반으로 QoS 평가 모형의 성능 개선도를 평가하기 위하여, 가중화를 진행하지 않고 일반 회귀 모형을 적합한 결과와 가중화 회귀 모형을 적합한 결과를 비교하였다. 가중화가 적용이 되지 않은 경우, 이용기록, 이용자 패턴, 이동거리 기반 가중화를 각각 수행한 경우, 그리고 세 가지의 가중화 기법을 모두 통합하여 가중화를 수행한 경우에 대한 성능을 정량적으로 평가하여 이에 대한 비교를 수행하였다. 모형의 성능을 평가하기 위한 지표로, 수립된 회귀 모형의 오차값을 기반으로 제공된 평균제곱오차(RMSE: Root Mean Square Error)와 보정된 R^2 (Adjusted R^2)를 도출하였다. RMSE는 회귀 모형의 예측 성능을 평가하는 지표 중 하나로, 실제값 y_i 과 예측값 \hat{y}_i 의 차를 측정하기 위하여 사용된다. 보정된 R^2 는 회귀 모형의 설명력을 평가하는 지표로, 전체 데이터의 변동 중 수립된 회귀모형으로 설명이 가능한 데이터의 변동 비율을 의미하며, 1에 가까운 값을 가질수록 설명력이 높다. RMSE와 Adjusted R^2 에 대한 수식은 Eq. (5)와 같으며, n 은 총 관측치의 수, p 는 독립 변수의 개수, \bar{y} 는 예측변수의 평균치를 의미한다.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2},$$

$$\text{Adjusted } R^2 = 1 - \frac{(1 - R^2)(n - 1)}{n - p - 1}, \text{ for } R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (5)$$

모형의 성능 평가 측면 이외에도, 수립된 회귀모형의 유의성을 검토하기 위하여 F -통계량(F -statistic)과 이에 대한 p -value를 산출하였으며, F -통계량은 높은 값을 가질수록, p -value는 유의수준보다 작은 값을 가지는 경우 수립된 모형이 유의함을 의미한다. 유의수준 $\alpha = 0.05$ 를 기반으로 5가지의 모형을 평가한 결과는 <Table 4>와 같다. QoS 평가 모형의 오차 개선도, 유의성 측면에서는 가중화 진행 여부와 관계 없이 모든 모형이 유사한 예측 성능과 유의성을 보임을 확인하였으나, 설명력 관점에서는 일반 모형 대비 제안된 가중화 모형이 개선된 설명력으로 QoS 평가 모형을 수립함을 확인할 수 있다. 특히, 이용기록 기반 가중화 모형의 경우 타 모형 대비 78%까지 설명력이 향상됨을 확인할 수 있다. 이를 통하여 제안된 가중화 모형을 활용하여 QoS를 평가하는 경우 일반 모형 대비 개선된 결과를 확보할 수 있으며, QoS의 변동성을 더욱 효과적으로 설명할 수 있다는 결과를 도출하였다.

Table 4. Results of QoS Models with Different Weighting Methods

Weighting Method	RMSE	Adjusted R^2	F -Statistic	p -value
General	0.24	0.36	783.28	<0.0001
Usage record	0.24	0.78	4908.05	<0.0001
Usage pattern	0.24	0.40	319.62	<0.0001
Travel distance	0.24	0.44	1191.63	<0.0001
Usage record + usage pattern + travel distance	0.24	0.42	1142.79	<0.0001

4. 결 론

본 연구는 초소형 전기차 모빌리티 서비스의 서비스 품질(QoS)을 보다 객관적으로 평가하기 위하여 기존의 설문 조사 중심의 평가 방식에서 벗어나, 사용자 경험 데이터 기반의 가중화 QoS 평가 체계를 제안하였다. 초소형 전기차 이용자들의 실제 이용기록 데이터를 기반으로 가중화 모형을 제안하였으며, 구체적으로 QoS에 주요한 영향을 미치는 세 가지 인자인 이용기록, 운전 행태, 이동거리에 대한 가중화 기법을 도입하여 QoS를 보다 정밀하게 평가하고자 하였다. 이러한 가중화 기반의 평가 방식을 통하여 기존의 QoS 모형이 가지는 한계를 극복하고, 사용자 경험을 효과적으로 반영하기 위한 평가 방법을 제시하였다. 연구 결과, 제안된 가중화 기법을 적용한 모형이 기존의 단순 회귀 모형 기반의 평가 방식에 비해 높은 설명력과 예측 정확성을 보였다. 특히, 이용기록 기반의 가중화 모형은 QoS의 변동성을 효과적으로 설명하여 최대 78%까지 설명력을 개선하는 효과를 도출하였다. 제안된 가중화 모형은 초소형 전기차 이용자들의 실제 운전 데이터를 기반으로 구성된 관계로, 사용자 경험을 더욱 정밀하게 반영하며, 이는 초소형 전기차 모빌리티 서비스의 지속 가능성과 효율성을 높이기 위한 주요 평가 방식으로 활용될 수 있다.

향후 연구로는 본 연구에서 제안한 가중화 모델을 더욱 발전시키고, 다양한 서비스 환경에서의 적용 가능성을 검토하는 것이 필요하다. 본 연구에서 사용된 데이터가 특정 지역과 이용자에 한정되어 있었던 만큼, 다양한 도시와 교외 지역에서 추가적인 데이터 수집을 통해 연구 결과의 일반화를 도모해야 한다. 현재는 한정된 범위에서의 데이터를 활용하는 관계로 연구 범위가 초소형 전기차에 국한되어 있으나, 향후 데이터의 수집 범위를 확장하는 경우 일반 차량을 대상으로 하는 QoS 방법론 개발에 대한 확장 연구를 수행할 수 있을 것으로 기대한다. 또한, 데이터 수집 기간을 확장하여 장기적인 서비스 변화와 사용자 행태의 변화를 반영하도록 모델 개선이 이루어져야 할 것이다. 나아가, 기계 학습 및 딥러닝 기법을 도입하여 모델의 예측 성능을 더욱 개선할 필요가 있으며, 다양한 알고리즘을 비교하여 최적의 예측 모델을 선정하고 평가 결과의 정확도를 높이는 방안을 모색해야 할 것이다. 이 외에도, 초소형 전기차 모빌리티 서비스의 품질은 운전 행태뿐만 아니라 서비스의 안정성, 차량 유지 관리, 운영 효율성 등 다양한 요인에 의해 영향을 받을 수 있다. 이러한 추가적인 변수를 평가 모델에 반영함으로써, 보다 포괄적이고 정교한 QoS 평가가 가능해질 것으로 기대한다.

REFERENCES

- Akhmedova, A., Marimon, F., and Mas-Machuca, M. 2020. Winning strategies for customer loyalty in the sharing economy: A mixed-methods study. *Journal of Business Research* 112:33-44.
- Anderson, R., Condry, B., Findlay, N., Brage-Ardao, R., and Li, H. 2013. Measuring and Valuing Convenience and Service Quality. A review of global practices and challenges from the public transport sector.
- Arteaga-Sánchez, R., Belda-Ruiz, M., Ros-Galvez, A., and Rosa-Garcia, A. 2020. Why continue sharing: Determinants of behavior in ridesharing services. *International Journal of Market Research* 62(6):725-742.
- Banerjee, S., Srikanth, H., and Cukic, B. 2010. Log-based reliability analysis of software as a service (SaaS). 2010 IEEE 21st International Symposium on Software Reliability Engineering 239-248.
- Cho, Y. J., Lee, C.-G., Yoo, J.-Y., Kim, S.-Y., and Park, H.-J. 2024. The Impact of Industrial Clusters' Quality on the Production Resilience in the Global Crisis. *Journal of Korean Society for Quality Management* 52(2):287-301.
- Chou, C.-C., Liu, L.-J., Huang, S.-F., Yih, J.-M., and Han, T.-C. 2011. An evaluation of airline service quality using the fuzzy weighted SERVQUAL method. *Applied Soft Computing* 11(2):2117-2128.
- Gibbard, A. 1974. A pareto-consistent libertarian claim. *Journal of Economic Theory* 7(4):388-410.
- Hwang, C. L. and Yoon, K. 1981. Multiple criteria decision making. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 186.
- Kim, M., Lee, S., and Choi, J. 2023. A Study on Factors Affecting Intention to Continuous Use Metaverse Platform Service. *Journal of Korean Society for Quality Management* 51(1):97-117.
- Lang, N., Schellong, D., Hagenmaier, M., Herrmann, A., and Hohenreuther, M. 2022. Putting micromobility at the center of urban mobility. Boston Consulting Group.
- Loustric, I. and Matyas, M. 2020. Exploring city propensity for the market success of micro-electric vehicles. *European Transport Research Review* 12:1-13.
- Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., and Berry, L. L. 1988. SERVQUAL: A multiple-item scale for measuring consumer perceptions of service quality. *Journal of Retailing* 64(1):12-40.
- Park, J. S. and Park, H. 2024. An Analysis of the Effect of Platform Information Quality and Customer Information Quality on Customer Loyalty to Online to Offline Platforms. *Journal of Korean Society for Quality Management*

52(1):23-42.

- Patil, G., Pode, G., Diouf, B., and Pode, R. 2024. Sustainable Decarbonization of Road Transport: Policies, Current Status, and Challenges of Electric Vehicles. *Sustainability* 16(18):8058.
- Qi, L., Dou, W., Hu, C., Zhou, Y., and Yu, J. 2015. A context-aware service evaluation approach over big data for cloud applications. *IEEE Transactions on Cloud Computing* 8(2):338-348.
- Reese, C. S., Wilson, A. G., Guo, J., Hamada, M. S., and Johnson, V. E. 2017. A Bayesian Model for Integrating Multiple Sources of Lifetime Information in System-Reliability Assessments. *Journal of Quality Technology* 43(2):127-141.
- Song, B., Lee, C., Yoon, B., and Park, Y. 2016. Diagnosing service quality using customer reviews: an index approach based on sentiment and gap analyses. *Service Business* 10:775-798.
- Tyrinopoulos, Y. and Antoniou, C. 2013. Factors affecting modal choice in urban mobility. *European Transport Research Review* 5:27-39.
- Zuo, W., Zhu, W., Chen, S., and He, X. 2019. A Service quality management of online car-hailing based on PCN in the sharing economy. *Electronic Commerce Research and Applications* 34:127-141.

저자소개

- 임문원** 한양대학교 산업공학과에서 박사를 졸업하였으며, 현재 한양대학교 빅데이터센터에서 박사후연구원으로 재직하고 있다. 주요 연구분야는 신호 및 이미지 기반 생산 시스템 및 설비 건전성 예측 및 관리(PHM)이다.
- 김윤희** 한양대학교 산업공학과에서 박사과정에 재학중이며, 주요 연구분야는 딥러닝 기반 신뢰성 평가 및 대규모 시스템의 이상 탐지이다.
- 전동환** 한양대학교 산업공학과에서 석사과정에 재학중이며, 주요 연구분야는 가속과피열화시험 기반 성능 열화 모델링 및 수명 추정이다.
- 김범준** 한양대학교 산업공학과에서 석사과정에 재학중이며, 주요 연구분야는 보증 데이터 기반 신뢰성 추정 및 미래 고장 예측을 통한 품질 개선이다.
- 김종남** 한국과학기술원 기계공학과에서 박사를 졸업하였으며, 현재 한국자동차연구원에서 재직하고 있다. 주요 연구분야는 차량 데이터 분석 및 모델 기반 시스템 엔지니어링(MBSE)이다.
- 김민재** 조선대학교 산업공학과에서 석사를 졸업하였으며, 현재 한국자동차연구원에서 재직하고 있다. 주요 연구분야는 차량 데이터 분석 및 AI 예측 모델 시스템 기술이다.
- 최희선** 조선대학교 산업공학과에서 학사를 졸업하였으며, 현재 한국자동차연구원에서 재직하고 있다. 주요 연구분야는 초소형 전기차 및 퍼스널모빌리티 빅데이터 수집 및 분석이다.
- 배석주** 미국 조지아공과대학 산업시스템공학과(ISyE)에서 박사 학위를 취득하였으며, 현재 한양대학교 산업공학과 교수로 재직중이다. 한국PHM학회 회장을 역임하였으며, 아시아-태평양 신뢰성 및 유지관리 모델링 국제 심포지엄인 APARM의 대한민국 대표 운영 위원으로 활동하고 있다. 또한, *IEEE Transactions on Reliability*, *INFORMS Journal on Data Science*, *IIEE Transactions-DSQR* 등의 저널에 편집위원으로 선임되어 글로벌 학술 교류 활동을 수행하고 있다.