

텔파이 기법을 활용한 실시간 수요대응 자율주행 대중교통서비스 도입 방안 연구

A Study on Introducing Autonomous Public Transportation On-demand Service in Real Time Using Delphi Method

정 준 영* · 심 상 우** · 김 민 석***

* 주저자 : 한국교통안전공단 교통조사평가처 선임연구원
 ** 교신저자 : 한국교통안전공단 교통조사평가처 책임연구원
 *** 공저자 : 한국교통안전공단 교통빅데이터센터 책임연구원

Junyoung Joung* · Sangwoo Shim* · Minseok Kim*

* Korea Transportation Safety Authority

† Corresponding author : Sangwoo Shim, swshim@kotsa.or.kr

Vol. 21 No.5(2022)
 October, 2022
 pp.183~196

pISSN 1738-0774
 eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.5.183>

Received 25 November 2021
 Revised 14 December 2021
 Accepted 24 October 2022

© 2022. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

국내의 경우 대중교통 최소서비스 수준 분석을 통해 대중교통 접근성을 평가하고 있으나 이는 운영자 측면의 평가로 이용자 측면의 대중교통 접근성 분석은 이루어지지 않고 있다. 이에 본 연구에서는 알뜰교통카드 데이터를 이용하여 이용자의 대중교통 접근성을 분석한 결과 법정정보보다 법정리의 접근시간 및 거리가 크며, 대중교통 접근성이 낮은 유형을 분류하여 분석한 결과 전체 평균 접근 시간에 비해 유형 1은 95%, 유형 2는 64% 더 크게 나타났다. 이러한 대중교통 접근성 문제 해결을 위해 텔파이 조사를 통한 실시간 수요대응 자율주행 대중교통차량의 효율적인 도입 방안을 제시하고자 하였다. 텔파이 조사 결과 기능은 환승연계 및 D2D, 서비스는 예약 및 정보제공서비스, 노선 운영 방식은 준동적 및 동적 운영, 접근거리는 300m, 노선 운행 거리는 10km, 정시성은 5분 이내와 같이 9개 항목에 대해 전문가들의 의견이 일치하였다.

핵심어 : 자율주행 대중교통, 접근시간, 접근 거리, 텔파이 조사, 수요대응

ABSTRACT

Public transportation accessibility has been evaluated through minimum level of service for public transportation. However it is evaluated based operators rather than users. This study analyzed the users' accessibility(first-mile, last-mile) to public transportation using altteul transport card data. As a result of user's accessibility of public transportation, rural areas was lower than that in the urban areas. This study classified type 1 and 2 based average approach time, and average approach time of Type 1 and 2 were more than average approach time of total area. We proposed an efficient introduction of autonomous public transportation on-demand service using delphi survey. As a result of delphi survey, experts agreed on 9 items regarding function, service item, route operation, approach distance, route mileage, punctuality.

Key words : Autonomous public transportation, Accessibility, Delphi survey, On-demand

I. 서 론

1. 연구 배경 및 목적

4차 산업 혁명의 한 축인 자율주행자동차에 대한 상용화를 위해 미국, 유럽 등 많은 국가에서 연구 개발 및 지원이 이루어지고 있으며, 국내에서도 2027년까지 Lv4 수준의 자율주행자동차 상용화를 위해 많은 노력을 하고 있다. 자동차관리법에서 자율주행자동차의 개략적인 정의와 임시운행허가 근거만을 제시하고 있어 상용화를 위한 법적근거가 부족한 상황이었으나, 자율주행자동차의 정의를 세분화하고 시범운행지구를 도입하는 등 관련 생태계기반을 조성하는 내용의 ‘자율주행자동차 상용화 촉진 및 지원에 관한 법률’이 2020년에 제정되었다. 이에 따라 국토교통부는 자율주행자동차 시범운행지구를 전국 7곳에 지정하여 연구·시범운행 환경 및 규제특례를 제공하였으며, 세종특별자치시(서클)와 성남시 판교(제로셔틀, 로보셔틀)에서는 수요응답형 자율주행 모빌리티 서비스가 운영 중에 있다. 또한 국토교통부는 2021년 자율주행 분야에 특화된 ‘제1차 자율주행 교통물류 기본계획’을 고시하여 자율주행 기반의 맞춤형 서비스 제공을 통해 자율주행 서비스의 고도화를 지원하고, 이를 통해 2025년까지 대중교통 접근시간 20%, 환승시간 50% 감축되는 효과를 기대하고 있다.

자율주행 대중교통의 시범 운영 등에 따라 이와 관련된 연구도 다수 수행되었는데 Alber et al.(2015)는 자율주행 대중교통의 이용자 만족도와 운전자 수익을 최대화하는 스케줄링과 수요 제어 방법론을 제안하였으며, Lim et al.(2018)은 자율주행과 공유교통시대를 고려한 자율주행 대중교통 서비스 비즈니스 모델 및 지역 맞춤형 교통서비스를 제시하였다. Salazar et al.(2018)는 수요응답형 자율주행 서비스가 기존의 대중교통 시스템과 연계되어 운영되는 것이 단독으로 운영되는 것에 비해 환경적 편익이 더 크고, 시간과 비용 측면에서 상당한 이점을 가져올 것이라고 분석하였고, Heipp(2018)는 수요응답형 자율주행 대중교통이 교외지역 대중교통 운영비의 보조금 의존도를 낮추고 서비스의 질을 향상시키는 효율적인 대안이라고 제시하였다. Tak et al.(2019)는 자율주행기반 모빌리티 서비스 유형을 분류하고, 도로 인프라 수준을 고려하여 7개의 서비스 도입 전략을 도출하였다. Kim(2019)은 자율주행 대중교통 공공성 확보를 위해 서비스 제공, 안전성, 인프라 확충, 수용성 개선 등에 대한 쟁점을 도출하였으며, Bin et al.(2020)은 승용차 및 대중교통 통행시간, 자율주행 대중교통 요금에 통근자들의 자율주행 대중교통 서비스 이용 시 중요 변수가 된다고 제시하였다. Yoon(2020)은 자율주행 대중교통체계의 효율적 구축을 위해 폐쇄형, 개방형, 수요응답형 순으로 도입이 예상하였으며, Seo et al.(2021)은 경기도를 중심으로 교통소외지역을 선정하고 계층적 클러스터링 방법론을 적용하여 자율주행 대중교통 서비스 우선 도입 지역을 선정하는 방법론을 제시하였다. Ceder(2020)는 시간적, 비용적, 편의적 측면에서 자율주행 대중교통과 비교해 개인차량의 비효율성을 밝히며 미래 운송수단은 자율주행 대중교통에 기초해야 함을 강조하였으며, Schluter et al.(2020)는 수요대응 자율주행 대중교통이 도심과 교외를 연결할 때 경제적·환경적 교통비용을 줄일 수 있을 것이라고 제시하였다. Litman(2021)은 자율주행이 보급되더라도 주요 통행에 고용량 운송이 여전히 필요하고, 특히 교외지역에서 대중교통 승·하차지점으로의 환승 및 접근 서비스를 제공하는 방안으로 자율주행 서비스를 제공하는 것이 효과적이라고 제안하였으며, Lee et al.(2019)은 국내외 78개 자율주행 대중교통 서비스 사례 조사를 통해 서비스 유형별, 운영형태별, 요금체계에 따른 운행소요비용을 제시하였다.

기존 연구에서는 자율주행 대중교통 서비스 도입을 위해 필요한 사항 및 구축 전략, 우선 도입 지역 선정 방법을 제시하였고, 일부 연구에서 도심과 교외 지역을 연결 및 환승지점까지 접근 서비스를 수요대응 자율주행 대중교통의 적절한 방법으로 제시하였으나 이들 연구는 실제 데이터가 아닌 가상 데이터를 기반으로

시뮬레이션하거나 개념만 제시하였다. 이에 본 연구에서는 실제 이용자의 First Mile¹⁾과 Last Mile²⁾을 파악할 수 있는 알뜰교통카드 데이터를 이용하여 현재 대중교통서비스의 접근성 문제점을 분석하고 이를 해결하기 위해 실시간 수요대응 자율주행 대중교통서비스 도입을 위한 기능 및 운영 방안 등을 제시하는 것을 목적으로 한다.

II. 대중교통 최소서비스 수준 분석

대중교통 최소서비스 수준 분석은 매년 시행하는 대중교통 현황조사의 하나로 지자체 간 대중교통 서비스 수준의 격차를 줄이고 대중교통 서비스 수준이 낮은 지역의 대중교통 서비스 공급을 확대하는 것을 목적으로 법정동·법정리 단위로 공간적 접근성과 시간적 접근성으로 나누어 대중교통 접근성을 평가하고 있으며, 각 세부 기준은 <Table 1>와 같다.

<Table 1> The Evaluation Item of Minimum Level of Service for Public Transportation

Evaluation Item	Evaluation Area		Analysis Criteria
Spatial Accessibility	Residential, Commercial, Industrial area among Urban areas.		· The Road Extension included in the 400m Range at the Bus Stop.
			· The Road Extension included in the 800m Range at the Subway Station.
	Other area (Green area among Urban areas, Non-urban areas)		· The Road Extension included in the 800m Range at the Bus Stop.
			· The Road Extension included in the 800m Range at the Subway Station.
Temporal Accessibility	Dong-Area	· (Low Density) Population density is less than 200 persons/km ²	· Runs 1 times per hour. (Once every 60 minutes.)
		· (Medium Density) Population density is 200 ~ 8,350 persons/km ²	· Runs 1.33 times per hour. (Once every 45 minutes.)
		· (High Density) Population density is more than 8,350 persons/km ²	· Runs 6 times per hour. (Once every 10 minutes.)
	Ri-Area	· (Low Density) Population density is less than 110 persons/km ²	· Runs 4 times per day.
		· (High Density) Population density is more than 110 persons/km ²	· Runs 9 times per day.

공간적 접근성은 평가 지역의 전체 도로연장 대비 대중교통시설(버스정류장 또는 지하철역) 기준 400~800m 범위 이내에 포함된 도로 연장의 비율(%)로, 시간적 접근성은 분석 지역의 전체 정류장 수 대비 인구밀도에 따른 운행횟수 기준을 만족하는 정류장의 비율(%)로 각각 평가한 후 이들의 산술 평균을 통해 최종적으로 전국 법정동·법정리 단위로 대중교통 최소서비스 수준을 평가하고 있다. 대중교통 최소서비스

1) 집 또는 회사 등에서 출발하여 대중교통을 이용할 정류장 또는 역까지 이동하는 거리 또는 시간

2) 대중교통에서 하차하여 최종 목적지(집 또는 회사 등)에 도착할 때까지 이동하는 거리 또는 시간

수준은 공간적 및 시간적 접근성의 산술 평균한 수치에 따라 확보, 취약, 사각 지역으로 구분하는데 80% 이상이면 확보 지역, 60%~80%은 취약 지역, 60% 미만은 사각 지역으로 구분하고 있다. 2021년 대중교통 최소 서비스 수준 분석 결과 법정동 지역은 64.3%, 법정리 지역은 50.5%만 대중교통 최소서비스 수준을 확보하고 있는 것으로 나타나 법정동에 비해 법정리 지역의 대중교통 접근성이 떨어지는 것으로 나타났으며 그 결과는 <Table 2>와 같다.

<Table 2> The Evaluation Result of Minimum Level of Service for Public Transportation(2021)

Area	Satisfied		Vulnerable		Blind	
	Number of Area	Rate	Number of Area	Rate	Number of Area	Rate
Dong	2,339	64.3%	644	17.7%	656	18.0%
Ri	7,659	50.5%	3,340	22.0%	4,170	27.5%

그러나 대중교통 최소서비스 수준 분석은 대중교통 시설이나 운행횟수 등 벽지노선 지원이나 수요응답형 교통수단 도입 근거로 사용되기 위해 지역별로 최소한의 서비스 수준을 확보하였는지 평가하는데 주목적이 있으며, 이용자의 대중교통 접근성을 파악할 수 있는 데이터의 부재로 이용자보다는 공급자 측면에서만 평가되고 있다. 또한 법정 지역 단위(동, 리)로 상이한 분석기준을 적용하고 있어 대중교통에 대한 형평성을 다르게 평가하고 있으며, 지역 내 대중교통 접근성이 취약한 지역(마을)이 있음에도 해당 법정지역 하나의 분석 결과로 귀결되어 지역 내 다양한 특성이 반영되지 못하는 한계점이 있다. 이에 본 연구에서는 이용자의 대중교통 접근성을 파악할 수 있는 알뜰교통카드 데이터를 활용하여 이용자 측면의 대중교통 접근성을 분석하였으며, 이를 통해 실시간 수요 대응 자율주행 대중교통서비스 도입 방안을 모색하고자 한다.

Ⅲ. 알뜰교통카드 데이터를 활용한 이용자 측면 대중교통 접근성 분석

알뜰교통카드는 국민들의 대중교통비 절감을 위해 국토교통부 대도시권광역교통위원회에서 추진하고 있는 사업으로 대중교통을 타기 위해 도보나 자전거로 이동한 거리만큼 적립된 마일리지로 대중교통비 감면 혜택(최대 30%)을 받을 수 있는 교통카드이다. 2022년 8월 기준 전국 17개 시·도 162개 시·군·구에서 참여하고 있으며, 약 43만명의 이용자가 해당 서비스를 이용하고 있다.

알뜰교통카드는 대중교통을 이용하기 위해 이동한 거리만큼 마일리지를 적립해주므로 이동거리 산정을 위해 출발지 및 목적지에 대한 위치 정보와 GPS 오류 등으로 위치정보가 수집되지 않는 경우 보정 처리를 위해 출발시간 및 도착시간을 수집하고 있는데 이는 이용자의 대중교통 접근시간 및 거리를 파악할 수 있는 유일한 데이터라고 할 수 있으며, 알뜰교통카드 시스템에서 수집하는 자료는 <Table 3>과 같다.

<Table 3> Allteul Transport Card System Collection Data

Data	Definition	Data	Definition
Location	<ul style="list-style-type: none"> • The Starting Coordinate • The Boarding Bus Stop(station) Coordinate • The Getting off Bus Stop(station) Coordinate • The Arrival Coordinate 	Time	<ul style="list-style-type: none"> • The Starting Time • The Boarding Bus(Subway) Time • The Getting off Bus Stop(station) Time • The Arrival Time

본 연구에서는 2021년 1~5월의 알뜰교통카드 데이터(전국 128개 지자체, 총 16,158,564건)를 대도시권광역교통위원회에서 제공받아 이용자 기반의 대중교통 접근성 분석을 수행하였다. 알뜰교통카드의 데이터는 이용자 개인이 스마트폰 앱을 활용하여 개별 통행에 대한 정보를 직접 입력함으로써 생성되기 때문에 인적 오류에 의한 오류 자료들이 포함될 수 있다. 먼저 출발-도착 시각과 승하차 시각의 차이로 산정되는 출발-도착 접근시간(출발의 경우, 탑승 전 대기시간을 포함하는 차외시간을 의미)의 경우 이용자의 실수로 승차 앱을 활성화하거나, 앱을 비활성화한 후 하차하는 경우 음수가 발생하므로 제외하였으며, 접근속도가 알뜰교통카드 이용수단(도보/자전거)의 법정 최대 통행속도인 20km/h³⁾를 초과하는 데이터 역시 오류 데이터로 판단하여 제외하였다. 이와 같은 오류 데이터를 제거한 후 접근시간에 대한 90% 신뢰구간 기준인 64.35분을 초과하거나 접근거리가 4,633.25m(보행속도 1.2m/s⁴⁾×64.35분)를 초과하는 경우 이상치로 판단하여 제외하였다.

<Table 4> The Number of Using Altteul Transport Card Data

Division	Number of Data	Division	Number of Data	Division	Number of Data
Seoul	4,574,626	Ulsan	95,510	Jeonbuk	359
Busan	823,527	Sejong	54,841	Jeonnam	1,139
Daegu	425,144	Gyeonggi	3,224,500	Gyeongbuk	27,536
Incheon	905,102	Gangwon	1,374	Gyeongnam	148,494
Gwangju	177,596	Chungbuk	52,978	Jeju	32,006
Daejeon	721,072	Chungnam	50,681	Total	11,316,485

이러한 전처리 과정을 통해 11,316,485건의 알뜰교통카드 데이터가 추출되었으며, 알뜰교통카드 이용량이 많은 수도권 지역의 8,704,228건 데이터를 본 연구에서 활용하여 수도권 지역의 이용자 측면의 대중교통 접근성을 분석한 결과는 <Table 5, 6>와 같다. 분석 결과 접근 시간은 법정동은 평균 9.55분, 법정리는 평균 10.91분으로 나타났으며, 접근 거리는 법정동 274.47m, 법정리 307.5m로 나타나 법정동에 비해 법정리의 평균 접근 시간 및 거리가 크며, 확보 지역에 비해 비확보 지역의 접근 시간 및 거리가 큰 것으로 나타났고, <Fig. 1>과 같이 대부분 지역에서 도심에서 외곽지역으로 갈수록 접근 시간 및 거리가 증가하고 있다.

<Table 5> Approach Time of Dong and Ri Area based Altteul Transport Card Data

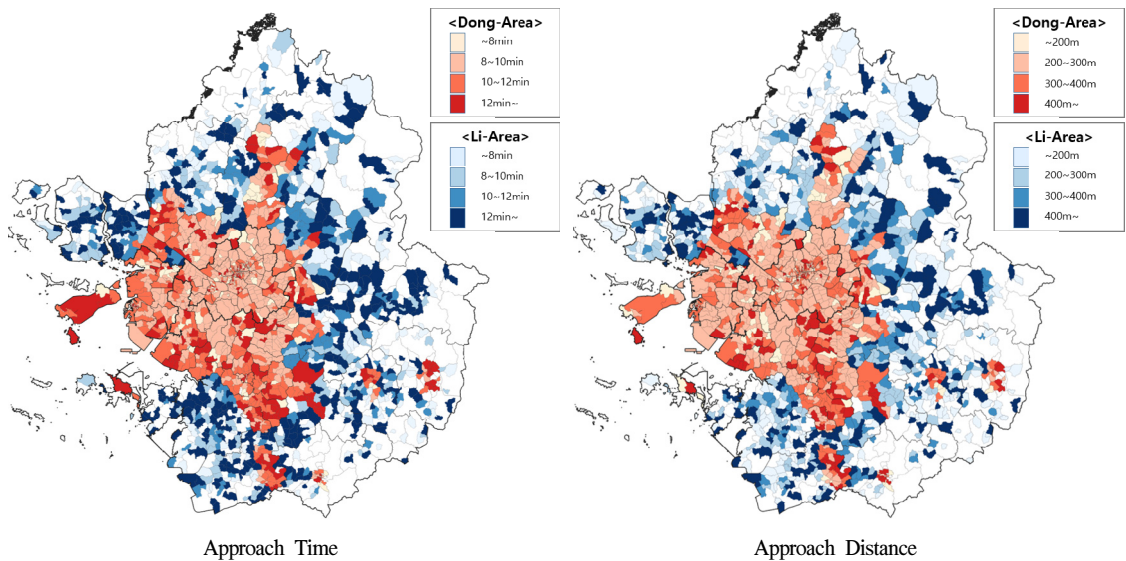
Division		Average	Standard Deviation	
Approach Time (min)	Dong	Satisfied	9.49	8.03
		Vulnerable	9.95	8.17
		Blind	10.91	8.34
		ALL	9.55	8.05
	Ri	Satisfied	10.82	8.56
		Vulnerable	11.63	8.75
		Blind	11.70	9.91
		ALL	10.91	8.63

3) 자전거의 이용시설의 구조시설에 관한 규칙 제4조 제2항, 제3항

4) Han et al.(2020), "Improvement of Pedestrian Speed Criteria for the Pedestrian Green Interval at Silver Zone"

<Table 6> Approach Distance of Dong and Ri Area based Allteul Transport Card Data

Division		Average	Standard Deviation
Approach Distance (m)	Dong	Satisfied	271.66
		Vulnerable	293.35
		Blind	348.39
		All	274.47
	Ri	Satisfied	301.68
		Vulnerable	345.93
		Blind	389.77
		ALL	307.35



<Fig. 1> Approach Time and Distance on Metropolitan Area

세부적인 이용자의 대중교통 접근성 분석을 위해 대중교통 최소서비스 수준 분석 시 법정동의 시간적 접근성 10분이 최소값이므로 평균 접근 시간이 10분 이상이면 전처리 과정을 통해 추출된 알뜰교통카드 데이터 중 알뜰교통카드 이용량이 법정동/리 인구의 5% 이상인 수도권 13개 지역을 대상으로 동일 법정동/리 내의 다양한 특성을 파악하기 위해 법정동/리 단위보다 작은 세부존 단위로 분석하였다. 세부존의 크기는 Daejeon Sejong Institute(2021)에서 수요응답형버스인 셔클 이용자의 평균 도보시간이 5분 이내로 파악되어 이를 준용하여 도보시간 5분에 도보 속도 1m/s를 적용하여 300m×300m으로 설정하여 분석하였다.

13개 지역에 대한 분석 결과 <Table 7>과 같이 평균 접근 시간은 9.36분으로 전체 평균보다는 낮으나 평균 접근 거리는 497.23m로 전체 평균보다 크게 나타났으며, 평균 접근 시간 및 거리에 대한 표준 편차가 4.4분, 383.56m로 분포가 상당히 넓게 나타났으며, 대부분 접근 거리가 증가할수록 접근 시간도 증가하는 추세를 보이고 있다.

<Table 7> The Result of Grid Analysis on Analysis Area

Division	Number of Data	Approach Time (min)		Approach Distance (m)	
		Average	Standard Deviation	Average	Standard Deviation
Goyang	95,353	9.04	3.76	470.32	344.50
Gwacheon	20,559	9.38	4.72	716.52	468.48
Gimpo	56,099	9.46	4.82	580.87	458.25
Suwon	252,098	9.77	3.61	508.49	337.06
Siheung	60,723	9.15	4.73	474.48	383.42
Ansan	91,122	9.36	4.23	499.95	363.59
Osan	15,908	10.23	5.15	494.25	369.53
Yongin	146,066	9.30	4.63	499.52	391.76
Paju	44,931	8.95	5.10	488.11	433.24
Gangseo(Seoul)	130,299	10.08	4.17	524.22	434.97
Gumcheon(Seoul)	84,382	8.44	2.82	369.64	196.92
Yangcheon(Seoul)	84,809	8.50	2.65	402.79	236.19
Namdong(Incheon)	100,827	9.68	4.34	433.99	318.08
Total	1,183,176	9.36	4.40	497.23	383.56

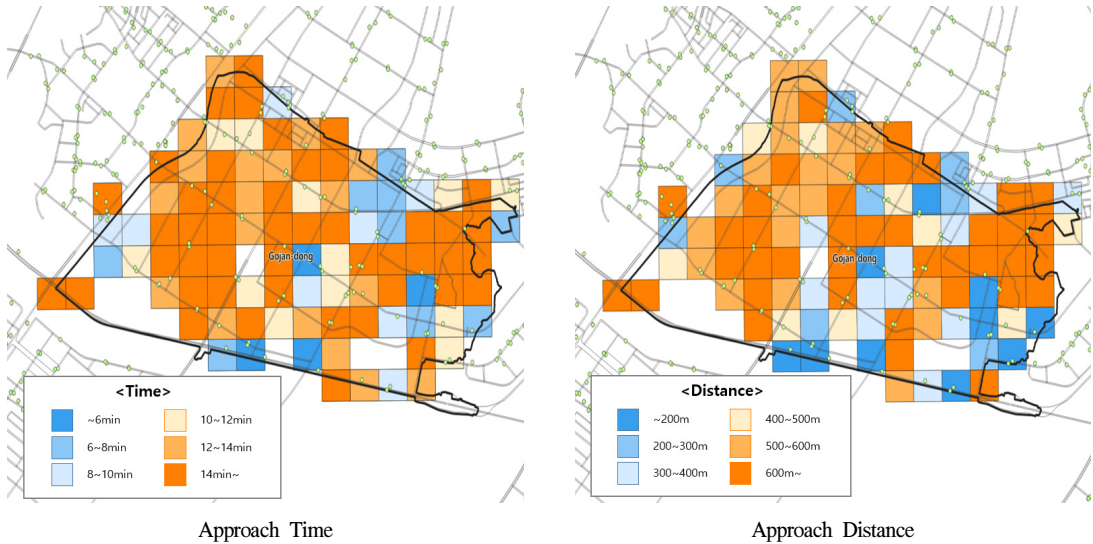
본 연구에서는 유형 분류를 위한 접근 시간 및 거리의 기준으로 3사분위수를 적용하여 접근 시간 및 거리가 모두 기준을 초과하는 유형(Type 1)과 접근 시간은 기준을 초과하나 접근 거리는 기준보다 작은 유형(Type 2)으로 분류하여 분석하였고, 그 결과는 <Table 8>과 같다.

<Table 8> Average Approach Time and Distance of Types

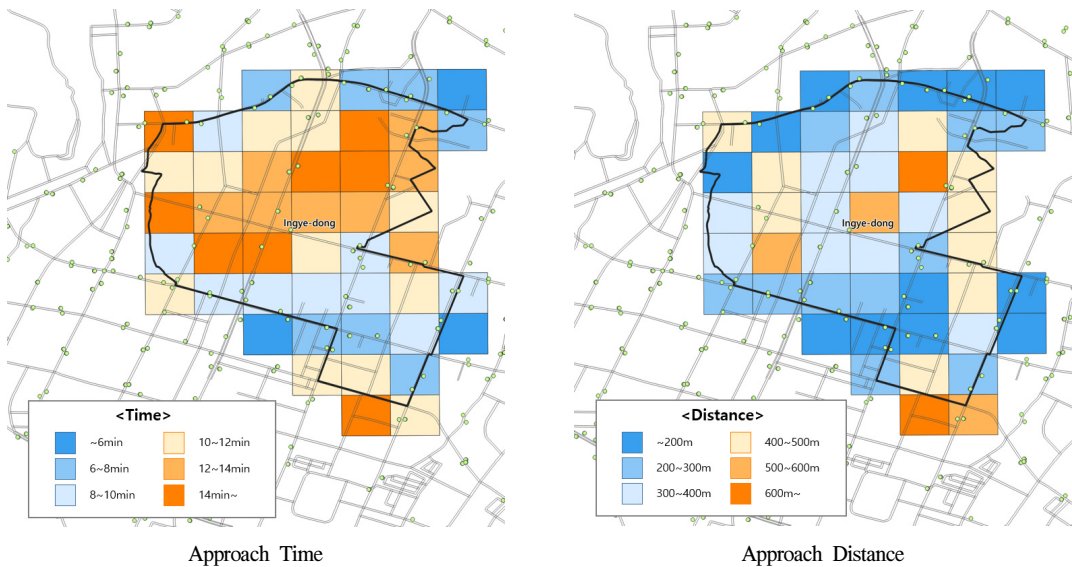
Division	Average Approach Time (min)			Average Approach Distance (m)		
	Type 1	Type2	Total	Type 1	Type2	Total
Goyang	16.59	14.05	9.04	1118.99	470.94	470.32
Gwacheon	17.39	16.36	9.38	1536.33	854.76	716.52
Gimpo	18.33	17.08	9.46	1319.45	527.49	580.87
Suwon	17.23	14.46	9.77	1167.11	516.92	517.14
Siheung	16.85	14.54	9.15	1015.83	559.89	486.53
Ansan	18.18	16.10	9.36	1229.98	498.48	474.48
Osan	17.52	15.61	10.23	1201.95	504.16	499.95
Yongin	19.15	17.27	9.30	1094.66	529.87	494.25
Paju	17.55	16.17	8.95	1202.51	524.11	499.52
Gangseo(Seoul)	17.62	16.09	10.08	1255.87	451.28	488.11
Gumcheon(Seoul)	17.98	15.99	8.44	1470.10	576.78	524.22
Yangcheon(Seoul)	12.91	12.29	8.50	766.67	411.41	369.64
Namdong(Incheon)	13.21	11.83	9.68	842.93	468.41	402.79
Total	18.83	15.88	9.36	1152.37	473.72	433.99

전체 평균에 비해 Type 1의 평균 접근 시간은 95%, 평균 접근 거리는 166%가 더 크게 나타났으며, Type

2는 평균 접근 시간은 64%가 더 크게 나타났지만 평균 접근 거리는 10% 정도 크게 나타났는데 Type 1은 대중교통 수요가 많음에도 대중교통시설(버스정류장, 지하철역)이 설치되어 있지 않아 대중교통을 이용하기 위해 먼 거리를 이동하기 때문이며, Type 2는 대중교통시설은 설치되어 있으나 대중교통 이용 수요가 적어 배차 간격이 길게 운영되어 발생하였으며, 이들 유형의 사례는 <Fig. 2, 3>과 같다. 안산시 고잔동(Type 1)의 경우 실제 이용하는 버스정류장과 거리가 멀어 접근 시간 및 거리가 길게 나타났으며, 수원시 인계동(Type 2)의 경우는 정류장과의 거리는 가까우나 배차간격이 길어 접근 시간이 큰 것으로 나타났다.



<Fig. 2> Case of Type 1 (Gojan-dong, Ansan)



<Fig. 3> Case of Type 2 (Ingye-dong, Suwon)

알뜰교통카드 데이터를 기반으로 이용자의 대중교통 접근성을 GRID 단위로 분석한 결과 대중교통시설 부족으로 접근 시간 및 거리가 크게 나오거나, 대중교통시설이 있더라도 배차 간격이 길게 운영되어 접근 시간이 크게 나타나는 유형을 확인할 수 있었다. 이러한 접근성을 개선하기 위해서는 추가적인 노선 신설 및 차량 투입이 요구되거나 이를 위해서는 많은 재정 지원이 요구되며, 차량 크기로 인한 접근성의 제약이 있다. 이에 본 연구에서는 국토교통부에서 D2D 서비스를 위해 연구 개발 중인 “실시간 수요대응 자율주행 대중교통 모빌리티 서비스 개발”의 자율주행 대중교통차량을 기반으로 효율적인 도입 방안을 검토하고자 한다.

IV. 실시간 수요대응 자율주행 대중교통서비스 도입 방안

“실시간 수요대응 자율주행 대중교통 모빌리티 서비스 개발”에서는 D2D 서비스를 위해 기존 대중교통차량길이보다 짧은 5.2m(재차 인원 15인(입석 포함), 완충 시 운행거리 170km)의 자율주행 대중교통차량을 개발하고 있으며, 해당 차량은 이면 도로 등 기존 대중교통차량이 진입하지 못하는 도로에 접근할 수 있는 장점이 있다. 또한 별도 노선 없이 이용자 수요(콜)가 있을 경우 5분 이내에 배차가 될 수 있도록 하여 기존 대중교통과 같이 고정된 노선 및 운행 시간에 따라 대중교통을 이용하지 않아도 되므로 이용 편의성이 증진되며, 별도 버스정류장 설치 없이 가상 정류장을 기반으로 이용자의 탑승 위치를 안내하기 때문에 기존 대중교통에 비해 이용자의 접근성이 향상될 것으로 기대된다. 본 연구에서는 통제된 피드백이 제공되는 수차례의 설문조사를 통해 어떠한 문제에 대한 전문가 집단의 합의를 이루는데 유용한 의사결정 수단인 델파이 기법을 통해 실시간 수요대응 자율주행 대중교통서비스의 기능, 서비스, 운영 방식 등을 제시하고자 하였다.

델파이 기법은 전문가적 직관을 객관화된 수치로 나타내는 방법이기 때문에 조사에 참여하는 전문가의 자질이 매우 중요한 사항이므로 본 연구에서는 <Table 9>과 같이 교수, 연구원 등 총 18명의 전문가 패널을 구성하였으며, 3차에 걸친 델파이 조사·분석 과정에 모두 참여하여 분석의 신뢰성을 고려하였다. 델파이 조사 이전에 알뜰교통카드 데이터 기반 이용자 접근성 문제 및 개발 중인 자율주행 대중교통차량에 대한 사항을 공유하고 이를 기준으로 실시간 수요대응 자율주행 대중교통서비스 도입 방안에 대한 상위분류체계로 대중교통 기능, 서비스 항목, 노선 운영 방식, 정류장과의 거리(접근 거리), 노선 운행 거리, 정시성으로 분류되었다.

<Table 9> Career History of Experts who participated in the Dephi Survey

Division		Targeted Number of Persons	Number of Participated Panels		
			1st	2nd	3rd
Academic level	Doctor	18	18	18	18
	Total	18	18	18	18
Career	Under 10 years	4	4	4	4
	10~15 years	7	7	7	7
	More 15 years	7	7	7	7
	Total	18	18	18	18

제1차 델파이 조사는 상위분류체계를 기반으로 개방형 설문으로 진행하였고, 각 상위분류체계에서 고려될 수 있는 하위분류요소를 자유롭게 나열하도록 하였다. 조사 결과 6개 상위 분석 체계에 종속된 하위분류항

목으로 34개가 조사되었는데 이 중 의미가 중복되거나 유사한 항목을 통합하여 19개의 결과를 도출하였다. 실시간 수요 대응 자율주행 대중교통서비스의 기능으로 환승연계 및 지선, D2D, 농어촌 간선 기능이 도출되어 도시 지역에서는 환승 연계 및 D2D 기능을 수행하고 농어촌 지역에서는 간선 기능이 필요한 것으로 나타났다. 서비스 항목으로는 예약 서비스, 우선 배차 서비스, 정보 제공 서비스, 이용자 맞춤형 서비스가 도출되어 이용자 중심의 서비스 항목이 필요한 것으로 도출되었다. 노선 운영 방식은 준동적운영, 동적운영, 고정노선(순환 포함) 운영 방식, 노선 운행 거리는 5km, 10km, 15km 미만이 적절한 것으로 조사되었다. 출발지와 탑승지의 접근거리는 100m, 300m, 500m 이내로 조사되어 현재 대중교통 접근거리보다 짧게 조사되었고, 정시성(도착 예정 시간과 실제 도착 시간의 차이)은 5분, 10분, 15분 이내로 나타났으며, 그 결과는 <Table 10>과 같다.

<Table 10> Thr 1st Delphi Survey Result

Main Concept	Sub Concept	Definition
Function for Public Transport	Transfer Connection	Transportation between a departure point and a transfer point
	D2D	Transportation from origin to destination in city area
	Main Line	Transportation between regions in rural area
Service Item	Reservation	Reservation for use of autonomous public transportation
	Premieum	Priority dispatch for use of autonomous public transportation
	Information	Provide information such as route, estimated time of arrival etc.
	User Customization	Automatic reservation and dispatch considering user's type and preference
Route Operation	Semi-dynamic Route	Operation with some change to fixed route depend on reservation status
	Dynamic Route	Operation depend on reservation status without fixed point
	Fixed Route	Operation of fixed route
Approach Distance	Under 100m	Distance between a departure point and a boarding point
	Under 300m	
	Under 500m	
Route Mileage	Under 5km	Distance between a starting point and a terminal point
	Under 10km	
	Under 15km	
Punctuality	Under 5minutes	Arrival information accuracy tolerance
	Under 10minutes	
	Under 15minutes	

2차 델파이 조사에서는 1차 조사에서 수집된 총 19개 항목에 대하여 전문가를 대상으로 7점 리커트 척도를 적용하여 각 항목별 중요도에 대한 설문을 진행하였다. 1차 조사에서 도출된 각 항목에 대한 적용 타당성 검증은 CVR(Content Validity Ratio)를 분석하여 검증하였다(Lawshe, 1975). CVR은 조사 결과의 유의미함을 평가하는 방법으로 중요하다고 인식하는 패널들이 많을수록 그 항목의 유효비율 또는 범위가 증가한다는 가정을 기반으로 하는데 응답한 패널 수가 50% 이상일 때 그 타당도를 어느 정도 가지고 있다고 볼 수 있으며, CVR은 식 (1)을 통해 산정할 수 있다. Lawshe(1975)는 응답한 패널 수에 따라 CVR을 확보할 수 있는 최소 CVR 값을 <Table 11>과 같이 제시하였다. 이를 참조하여 본 연구에서는 응답한 패널 수(18명)에 따른 최소 CVR 값을 0.45로 설정하여 분석한 결과 1차 조사에서 수집된 총 19개 항목 중 9개 항목만 CVR 값이

0.45 초과하여 타당성이 있는 것으로 확인되었으며, 그 결과는 <Table 12>과 같다.

$$CVR = \frac{n_e - N/2}{N/2} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, n_e : 중요하다고 응답한 패널 수, N : 전체 패널 수

<Table 11> Minimum Value of CVR according to Number of Panel

Number of Panel	Minimum Value of CVR	Number of Panel	Minimum Value of CVR
5	0.99	20	0.42
7	0.99	25	0.37
10	0.62	30	0.33
13	0.54	35	0.31
15	0.49	40	0.29

<Table 12> Thr 2nd Delphi Survey Result

Main Concept	Sub Concept	Average	Standard Deviation	CVR (>0.45)	Result
Function for Public Transport	Transfer Connection	6.00	0.91	0.78	○
	D2D	5.06	0.87	0.67	○
	Main Line	5.11	1.64	0.22	X
Service Item	Reservation	5.61	1.24	0.56	○
	Priority Dispatch	4.06	1.55	-0.22	X
	Information	5.94	1.21	0.78	○
	User Customization	5.22	1.26	0.33	X
Route Operation	Semi-dynamic Route	5.89	0.96	0.89	○
	Dynamic Route	5.28	1.02	0.56	○
	Fixed Route	3.56	1.38	-0.67	X
Approach Distance	Under 100m	5.72	1.84	0.44	X
	Under 300m	5.44	1.25	0.67	○
	Under 500m	3.78	1.48	-0.11	X
Route Mileage	Under 5km	5.33	1.53	0.44	X
	Under 10km	5.56	1.29	0.67	○
	Under 15km	4.00	1.37	-0.22	X
Punctuality	Under 5minutes	6.33	0.97	0.78	○
	Under 10minutes	4.89	1.28	0.33	X
	Under 15minutes	3.22	1.44	-0.56	X

3차 델파이 조사는 2차 델파이 조사 결과 도출된 9개 항목을 대상으로 리커트 7점 척도를 활용한 폐쇄형 설문으로 진행하였으며, 1, 2차 조사에 참여하였던 전문가들의 최종적인 의견의 일치 및 합의를 도출하기 위해 실시하였다. 델파이 조사는 근본적으로 전문가들의 의견의 일치점을 도출하는데 있으므로 전문가들의 의

견이 변동성이 크거나 중요도가 낮게 분석된 항목은 제거하거나 재조사할 필요가 있으므로 3차 델파이 조사 결과를 평가하기 위해 CVR을 통한 타당성 검증을 재수행하고, 전문가 답변의 일치성을 측정하기 위해 변동계수(COV, Coefficient of Variation)를 산정하였고, 변동계수 값이 0.5 이하일 경우 안정도가 높아 의견이 일치된 것으로 판단하였다(Rho, 2006).

3차 델파이 조사 결과는 <Table 13>과 같이 2차 조사 결과에서 도출된 9개 항목에 대한 CVR 값이 모두 0.45를 초과하여 타당성이 확보된 것으로 나타났으며, 실시간 수요대응 자율주행 대중교통서비스의 기능은 환승연계/지선, 노선 운영 방식은 준동적 운영, 노선 운행 거리는 10km 이하가 CVR 1.00으로 분석되어 모든 전문가들이 가장 중요하게 고려해야 할 항목으로 평가되었다. 변동계수도 모두 0.5 이하로 분석되어 응답의 일치성 또한 높아 설문 안정도가 확보되었다고 할 수 있다.

<Table 13> Thr 3rd Delphi Survey Result

Main Concept	Sub Concept	Average	Standard Deviation	CVR (>0.45)	COV	Result
Function for Public Transport	Transfer Connection	6.17	0.62	1.00	0.10	Suitable
	D2D	5.17	0.79	0.89	0.15	Suitable
Service Item	Reservation	5.72	1.07	0.67	0.19	Suitable
	Information	6.11	0.83	0.89	0.14	Suitable
Route Operation	Semi-dynamic Route	5.94	0.87	1.00	0.15	Suitable
	Dynamic Route	5.56	0.70	0.89	0.13	Suitable
Approach Distance	Under 300m	5.67	0.84	0.89	0.15	Suitable
Route Mileage	Under 10km	5.83	0.79	1.00	0.13	Suitable
Punctuality	Under 5minutes	6.39	0.85	0.89	0.13	Suitable

총 3차에 걸친 델파이 조사 결과는 다양한 교통공학 전문가들의 의견의 일치와 합의를 통해 현재 개발 중인 자율주행 대중교통차량의 성능을 기준으로 실시간 수요대응 자율주행 대중교통서비스 도입 방안을 마련했기에 매우 의미가 있다고 판단되며, 이러한 대중교통서비스의 도입을 통해 벽지노선 지원사업의 재정 부담을 줄이고, 지방자치단체에서 수요응답 대중교통 운영 시 참고할 수 있는 자료가 될 것으로 기대된다.

V. 결론 및 향후 연구 과제

본 연구는 기·중점에서 대중교통 이용을 위한 역 또는 정류장까지 접근 거리 및 시간을 알 수 있는 알뜰교통카드 데이터를 이용하여 이용자 측면의 대중교통 접근성을 GRID(300m×300m) 단위로 분석한 결과 법정 동보다는 법정리의 평균 접근 시간 및 접근 거리가 더 크게 나타나며, 대중교통 최소서비스 수준 확보 지역에 비해 비확보 지역의 평균 접근 시간 및 접근 거리가 더 크게 나타났다. 또한 평균 접근 시간이 10분 이상인 수도권 13개 지역을 대상으로 접근 시간을 기준으로 접근 시간 및 거리가 모두 기준을 초과하는 유형(Type 1)과 접근 시간은 기준을 초과하나 접근 거리는 기준 이내인 유형(Type 2)으로 분류하여 분석한 결과 전체 평균에 비해 Type 1의 평균 접근 시간은 95%, 평균 접근 거리는 166%가 더 크게 나타났으며, Type 2는 평균 접근 시간은 64%가 더 크게 나타났지만 평균 접근 거리는 10% 정도 크게 나타났다. Type 1은 대중교

통 수요가 많음에도 대중교통시설(버스정류장, 지하철역)이 설치되어 있지 않아 대중교통을 이용하기 위해 먼 거리를 이동하기 때문이며, Type 2는 대중교통시설은 설치되어 있으나 대중교통 이용 수요가 적어 배차 간격이 길게 운영되어 발생하는 것으로 확인하였다.

이와 같은 이용자 측면의 대중교통 접근성을 개선하기 위해 본 연구에서는 국토교통부에서 D2D 서비스를 위해 연구 개발 중인 “실시간 수요대응 자율주행 대중교통 모빌리티 서비스 개발”의 자율주행 대중교통차량을 기반으로 델파이 조사를 통해 효율적인 도입 방안을 제시하고자 하였다. 델파이 조사에는 총 18명의 교통 전문가가 참여하였으며, 3차의 조사를 통해 실시간 수요대응 자율주행 대중교통서비스의 기능은 환승연계/지선, D2D, 서비스 항목은 예약서비스, 정보제공서비스, 노선 운영 방식은 준동적 운영, 동적 운영, 접근거리는 300m 이내, 노선 운행 거리는 10km 이내, 정시성은 5분 이내가 적합한 것으로 조사되었다. 이러한 조사 결과는 다양한 교통공학 전문가들의 의견의 일치와 합의에 대한 결과로서 매우 의미가 있다고 판단된다.

본 연구는 알뜰교통카드 데이터 분석을 통해 이용자 측면의 대중교통 접근성을 분석하고 이를 개선하기 위해 현재 연구 개발 중인 자율주행 대중교통차량의 효율적인 도입 방안을 제시하였으나 다음과 같은 한계점이 있다. 먼저 알뜰교통카드 데이터로 이용자의 접근 시간 및 거리는 확인할 수 있었으나 대중교통 이용 패턴(환승, 이용시간대 등)을 고려하지 못하였으므로 교통카드 데이터와 연계 분석을 통해 이용자의 이용 패턴에 따른 문제점 분석이 필요할 것으로 판단된다. 두 번째는 GRID 분석을 법정동/리 내의 세부적인 대중교통 접근성을 파악하였으나 정책 수립을 위해 이를 대중교통 최소서비스 수준에 적용할 수 있는 기준 마련이 요구된다. 마지막으로 현재 개발 중인 자율주행 대중교통차량을 대상으로 도입 방안을 제시하였으나 자율주행 대중교통차량 및 운영 시스템의 성능에 따라 서비스 항목 및 운영 방식은 변경될 수 있기에 이에 대한 추가적인 검토가 요구되며, 이용자의 선호도 조사 등을 통한 이용자 특성을 반영할 필요가 있을 것이다.

ACKNOWLEDGEMENTS

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

REFERENCES

- Albert, Y. S., Lam, Y. W. and Leung, X. C.(2015), *Autonomous Vehicle Public Transportation System: Scheduling and Admission Control*, arXiv e-prints, arXiv: 1502.07242, p.15.
- Avishai, C.(2020), “Urban mobility and public transport: Future perspectives and review”, *International Journal of Urban Sciences*, pp.19-20.
- Bhin, M. Y., Joh, C. H. and Son, S. K.(2020), “A Study on the Influencing Factors of the Use of Autonomous Vehicle Transit Services: Focusing on the Commuters of Pangyo 2nd Techno Valley”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol 38, no. 6, pp.415-430.
- Daejeon Sejong Institute(2021), *Analysis and Issue of the Demand Responsive Transport ‘Shucle’*, pp.58-61.
- Han, E., Cho, H. R., Mun, S. C., Yun, S. B. and Park, S. Y.(2020), “Improvement of Pedestrian Speed Criteria for the Pedestrian Green Interval at Silver Zone”, *Journal of Korean Institute of*

- Intelligent Transport Systems*, vol. 19, no. 4, pp.45-54.
- Heipp G.(2018), “Interview with Gunnar Heipp”, *Roland Berger Focus*, March, pp.8-9.
- Kim, G.(2019), “Issues and Directions for Improvement to secure publicity for Autonomous Public Transportation”, *Broadcasting and Media Magazine*, vol. 24, no. 1, pp.73-83.
- Lawshe, C. H.(1975), “A quantitative approach to content validity”, *Personnel Psychology*, vol. 28, no. 4, pp.563-575.
- Lee, J. H., Kim, J. H. and Lee, S. Y.(2019), “Domestic and Abroad Trends for Automated Transit Service”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 18, no. 3, pp.59-67.
- Lim, S. H., Jang, W. J., Tak, S. H. and Park, T. Y.(2018), *Strategies of Public Transportation Service in the Era of Autonomous Vehicle and Shared Transport*, The Korea Transport Institute, pp.108-126.
- Litman, T.(2021), *Autonomous Vehicle Implementation Predictions: Implications for Transport Planning*, Victoria Transport Policy Institute, p.33.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2021), *Final Report of the 2020 Public Transportation Status Survey Public Transportation Facilities and Means*, pp.135-136.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2022), *Final Report of the 2021 Public Transportation Facility and Mean*, pp.89-147.
- Oh, K. K., Kim, M. S., Joung, J. Y. and Park, S. Y.(2020), “Analysis of First-Last Mile Travel Characteristics Using al-card Data”, *Transportation Technology and Policy*, vol. 17, no. 5, pp.17-24.
- Rho, S. Y.(2006), “Delphi Technique: Professional insight to predict the future”, *Korea Research Institute for Human Settlements*, no. 299, pp.53-62.
- Ryan, G. R.(2007), “Estimating Pedestrian Accident Exposure: Protocol Report”, *Institute of Transportation Studies at UC Berkeley*, p.15.
- Salazar, M., Rossi, F., Schiffer, M., Onder, C. H. and Pavone, M.(2018), *On the interaction between autonomous mobility-on-demand and public transportation systems*, arXiv e-prints, arXiv-1804, p.7.
- Schluter, J., Bossert, A., Rossy, P. and Kersting, M.(2020), “Impact assessment of autonomous demand responsive transport as a link between urban and rural areas”, *Research in Transportation Business&Management*, p.10.
- Seo, Y. H., Kwon, Y. M. and Kim, H. J.(2021), “A Framework for Selecting Vulnerable Areas to Provide Autonomous Public Transportation: A Case Study of Gyeonggi Province in South Korea”, *Journal of Korea Institute of Intelligent Transport System*, vol. 2021, no. 4, pp.541-545.
- Tak, S. H., Kim, H. G., Kang, K. P. and Lee, D. H.(2019), “A Study on the Introduction for Automated Vehicle-based Mobility Service Considering the Level Of Service of Road Infrastructure”, *Journal of Korea Institute of Intelligent Transport System*, vol. 18, no. 5, pp.19-33.
- Yoon, T. G.(2020), “Strategies to Implement Autonomous Public Transit”, *Transportation Technology and Policy*, vol. 17, no. 2, pp.72-76.