

# SP조사를 활용한 중소도시의 수요응답형 대중교통 이용자 선호 요인 분석

## A Research on User Preference Factor of DRT in Small and Medium-sized Cities Using Stated Preference Survey

김지윤\* · 문병섭\*\* · 하정아\*\*\* · 장지용\*\*\*\*

\* 주저자 : 경기연구원 모빌리티연구소 연구위원

\*\* 교신저자 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 선임연구위원

\*\*\* 공저자 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 수석연구위원

\*\*\*\* 공저자 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 전임연구위원

Jiyeon Kim\* · Byeongsup Moon\*\* · Jungah Ha\*\* · Jiyong Jang\*\*

\* Gyeonggi Research Institute, Mobility Research Division

\*\* Korea Institute of Civil engineering and building Technology, Department of Highway & Transportation Research

† Corresponding author : Byungsup Moon, plus@kict.re.kr

Vol. 23 No.5(2024)  
October, 2024  
pp.117~136

pISSN 1738-0774  
eISSN 2384-1729  
<https://doi.org/10.12815/kits.2024.23.5.117>

Received 6 September 2024  
Revised 20 September 2024  
Accepted 8 October 2024

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

### 요약

수요응답형 대중교통(이하 DRT, Demand Response Transit)은 스마트폰 앱과 차량단말 등을 활용하여 이용자호출에 따라 가변적인 노선으로 운행되는 대중교통이다. DRT는 호출 후 대기시간, 탑승지점 접근시간, 차내통행시간, 우회통행시간, 하차 후 도달시간 등이 운행방식에 기반한 이용자 선호요인이 발생된다. 본 연구는 SP조사를 통해 시민들이 위 요인 중 어떤 요인에 가장 민감하게 반응하는지 조사하였다. 조사는 5개의 속성변수로 구성된 2개의 DRT 대안을 제시하여 보다 선호하는 수단을 선택하도록 하였으며, 출퇴근 상황과 여가 상황 2가지 상황에 대한 응답을 조사하였다. 분석결과 출퇴근시에도 여가시에도 호출 후 대기시간이 가장 큰 선호요인이었으며, 탑승지점 접근시간은 가장 약한 영향요인인 것으로 분석되었다. 단, 우회통행에 대한 민감도는 출퇴근 상황에서 여가시간 대비 2배 이상인 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 DRT 운영 시 시간대에 따라서 최적화 목표를 차별화하여 이용자 만족도와 시스템 효율성을 향상시키는 데 기여할 것으로 보여진다.

핵심어 : DRT, SP조사, 조건부로지모형

### ABSTRACT

Demand-Response Transit (DRT) is public transportation that operates on flexible routes according to user requests via smartphone apps and vehicle terminals. In DRT, user preference factors are generated based on the operational method, such as wait time after calling, approach time to the boarding point, in-vehicle time, detour time (if any), and egress time after arrival. Through an SP survey, this study investigated which of these factors citizens are most sensitive to. The survey presented two DRT alternatives consisting of five attribute variables, and asked respondents to choose the preferred mode, examining two situations: commuting and leisure travel. The analysis showed that wait time after calling was the strongest factor for both commuting and leisure travel, whereas boarding point access time had the weakest influence. However, sensitivity to detours was found to be more than twice as important in leisure travel compared to commuting. The results of this study are expected to contribute to improving user satisfaction and system efficiency by differentiating optimization targets according to the time of day in DRT operations.

Key words : DRT, SP survey, Conditional logit model

## I. 서 론

### 1. DRT 개념과 도시교통에서의 역할

수요응답형 대중교통, DRT(Demand Responsive Transport)는 이용자의 호출에 따라 가변적인 노선경로 및 스케줄로 운행되는 대중교통이다. 이용자 수요에 따라 운행되는 만큼 불필요한 운행이 적고, 이용자 역시 보다 적은 대기시간으로 이용할 수 있어 기존의 노선버스에 비해 만족도가 높다. DRT는 완전히 새로운 개념이 제시된 것은 아니며, 이전에도 서구권에서는 Dial-a-ride의 명칭으로 알려져 있던 방식이다. 다만, 스마트폰과 통신기술의 발달, 실시간 관제 기술의 발달로 보다 편리한 예약, 정교한 운행관리, 요금징수가 가능해지며 국내외를 가리지 않고 빠른 시장성장과 확산을 보이고 있다.

국내에서는 인천 I-mod를 시작으로 큰 주목을 받아왔으며, 현재는 서울, 충북 등 다양한 지역, 다양한 브랜드가 운행되고 있다. 인천 I-mod가 주목받았던 부분은 비교적 적은 수요를 가진 새로 입주를 시작하는 주택지역을 대상으로 그 효과를 발휘하기 시작한 것으로 기존의 노선버스는 인허가 단계를 거쳐 주민들이 이용할 수 있기까지 수개월이 소요되나, I-mod는 시범사업으로서 신속하게 이동서비스를 공급할 수 있었다. 이러한 장점을 바탕으로 경기도에서는 푯버스 플랫폼을 출시하여, 경기도 신규택지개발 지역에 신속한 이동 서비스 공급을 시행하고 있으며 서비스 지역과 운행차량을 점차 확대하고 있다.

DRT는 도시지역에서만 주목받는 것이 아니라 지방 소도시와 농어촌지역의 효과적인 이동서비스 공급대안으로서도 각광받고 있다. 한국의 지방 지역은 빠른 인구감소와 고령화로 인해 대중교통 이용수요 감소, 운행수지 악화, 서비스 수준 저하, 다시 이용수요 감소의 딜레마에 빠져있는 지역이 많다. 이에 대해 DRT는 지속가능한 이동서비스로서 훌륭한 역할을 수행하고 있으며, 기존 노선버스 대비 적은 운행횟수·거리와 보다 짧은 배차대기시간으로 이용자 만족도 역시 높은 것으로 보고되고 있다.

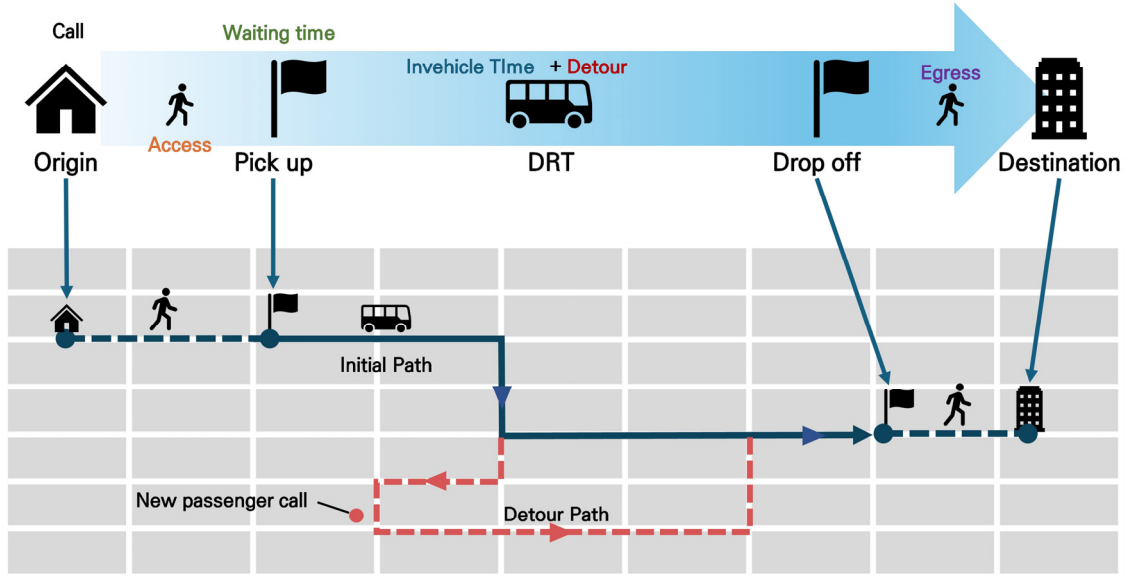
### 2. DRT 운영의 특징과 선호 요인

DRT는 운행방식의 특성상 1번의 통행에 호출 후 대기시간, 도보 접근 시간, 차내 기본 이동시간, 우회통행, 하차 후 도보시간 등 다양한 요소를 포함하고 있으며, 이러한 요소들은 이용자 입장에서 DRT 이용 의향에 영향을 미치는 요인이다.

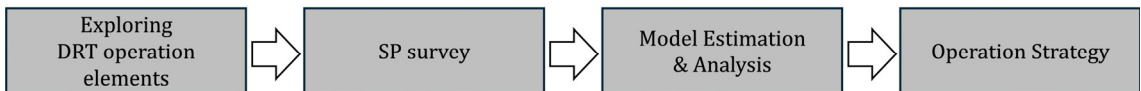
이러한 변인들은 DRT를 운영하는 주체의 목표와 운영전략에 따라 가변적으로 조절되는 요소들이며, 서로 trade-off 관계에 있는 점에서 중요성을 가진다. 예를 들어, 호출 후 대기시간을 최소화 하기 위해 우회통행 증가를 과도하게 허용하면, 전반적인 이동시간이 증가하며, 이용자의 호출지점과 탑승지점의 거리는 우회통행의 거리 및 전체 운행경로에 영향을 미친다. 따라서 이러한 요인 간의 비중을 조절하는 것이 DRT의 일반적인 기대효과인 효율적인 운행과 이용자 만족도 제고에 있어 검토되어야 할 부분이다.

이에 본 연구에서는 DRT의 공공성 측면을 고려하여 이용자들의 선호요인을 분석하고 이에 기반한 운영 전략 시사점을 제시하고자 한다. 이에 DRT 이용의 다섯 가지 요인(도보접근시간, 호출 후 대기시간, 이동시간, 우회통행횟수, 도보도달시간)에 대한 이용자 선호를 비교·분석하여 이용상황에 따른 DRT 운영 효율화 전략을 제시하고자 한다.

본 연구의 구성은 <Fig. 2>와 같다. 우선 DRT 운영요소와 이에 대한 이용자 선호 연구사례를 탐색하고, 이를 토대로 주요 요인으로 구성된 SP조사를 설계하였다. 조사결과를 활용하여 이용자 선호요인을 추정하였으며, 이용자 선호와 DRT 운행특성을 고려한 운영전략 시사점을 제시한다.



<Fig. 1> Composition of DRT trip



<Fig. 2> Research process

## II. 연구방법론 및 조사설계

### 1. 선행 연구사례 및 연구의 착안점

#### 1) DRT 운영 관련 선호 요인 (선행연구 사례)

DRT는 노선이나 운행요인을 유연하게 설정할 수 있는 만큼 관련 연구 역시 이용자나 운영자 관점에서의 목적함수를 설정하고 운행스케줄과 노선 최적화를 다루는 연구들이 주를 이루고 있다(Kim and Bang, 2022). 이때 설정되는 목적함수는 이용자 관점에서는 대기시간의 최소화(Tolic et al., 2020), 통행시간을 고려한 최적화(Huang et al., 2020), 이용요금 최소화(Jaw et al., 1986; Amirgholy and Gonzales, 2016; Nourbakhsh et al., 2012; Guo et al., 2018)하는 주제가 다뤄졌다. 반대로 운영자 입장에서는 운영비용의 최소화(Dessouky et al., 2003; Quadrifoglio et al., 2008; Nourbakhsh et al., 2012; Amirgholy and Gonzales, 2016; Guo et al., 2018; Wang et al., 2020), 수입극대화(Lyu et al., 2019) 등의 주제가 다뤄졌다. 이러한 연구들은 이용자나 운영자 한쪽의 목적함수를 중심으로 최적의 노선을 도출하고자 하는 관점을 가지고 있는 한계가 있었다. 이에 최근에는 이용자의 목적함수와 운영자 목적함수를 동시적으로 고려하는 다목적 최적화 연구가 수행되는 추세이며(Kim and Bang, 2022; Han et al., 2024), 다목적 최적화 알고리즘, 메타휴리스틱 알고리즘 등을 통해 복잡한 요인들을 고려한 최적운영 전략을 제시하였다.

한편, DRT에 대한 이용자의 선호요인과 수용성 역시 많이 수행되는 연구주제이다. 이러한 연구들은 DRT가

가진 요인 중 어떠한 요인이 이용 의향에 가장 큰 영향을 미치는지, 다른 교통수단과 비교되는 요인은 어떤 것인지 등을 제시하고 있다. SP조사를 통해 수단선택모형을 추정한 방식(Saxena et al., 2020; KOTI, 2022; Go et al., 2023)에서는 DRT의 운영요인에 대한 계량적 잠재선호 결과를 제시하고 있으며, 만족도를 조사한 방식(Seo et al., 2022; Kim et al., 2024)의 연구에서는 서비스 요인에 대한 시민들의 만족도 크기와 영향도를 제시하고 있다.

먼저 SP를 통해 연구한 결과를 살펴보면, Saxena et al.(2020)은 시드니 북부 해변 지역에서 현재의 교통수단과 DRT 및 대중교통을 결합한 새로운 서비스의 선택에 대하여 Latent Class Model을 추정하였다. 데이터는 SP 조사를 통해 구축하였으며, 설문조사 설계 시 현재 이용 중인 교통수단과 새로운 서비스(DRT와 대중교통의 결합)를 비교하여 속성변수 수준을 제시하도록 하였다. 모델 추정 결과 응답자들은 출퇴근을 위한 통행 시 새로운 서비스(=DRT)에 대해 더 높은 수용률을 보였으며, 승용차와 기존 대중교통을 선호하는 이용자 그룹이 차내시간, 통행요금, 접근시간이 통행수단 결정에 부정적 요인으로 작용하는 반면, 통근통행이 잦은 사람들은 DRT에 대한 기본 선호가 높으며(승용차, 대중교통 대비), 차내시간, 통행요금, 접근시간의 영향은 유의하지 않고, 도달시간에 민감한 특징을 가지는 것으로 분석되었다.

한국교통연구원에서는 수도권 대도시권에 적합한 광역 DRT서비스 모델을 개발하고 그 효과를 제시하였으며, 이를 위해 수도권 주민 1,300명을 대상으로 RP+SP 조사와 SP조사를 수행하고 수단선택모형을 추정하였다(KOTI, 2022). 설문설계 시 고려된 통행수단 대안들은 승용차, 버스, 지하철과 DRT로 승용차는 통행시간과 통행비용이, 나머지 수단들에 대해서는 접근시간, 대기시간, 차내시간, 환승시간, 통행비용이 속성변수로 설정되었다. 다만, 모형 추정 시에는 통행비용, 차내시간, 차외시간 3가지 변수로 압축되었으며, DRT의 대기시간, 접근시간 등의 요인에 대한 개별적 분석은 제시되지 않았다. Go et al.(2022)은 수도권 통근자들을 대상으로 승용차, 버스, DRT의 잠재선호를 조사하였으며, 각 통행수단에 접근시간, 차내시간, 도달시간, 이용요금 등의 속성변수를 적용하였다. 연구결과 DRT에 대해서는 차내시간, 이용요금, 도달시간은 모두 음의 효용을 가지는 것으로 나타났으나, DRT의 특성으로 발생하는 변수인 불확실 차내시간 비용은 오히려 양의 효용으로 나타났으며, 접근시간의 경우에는 유의한 계수가 추정되지 않았다.

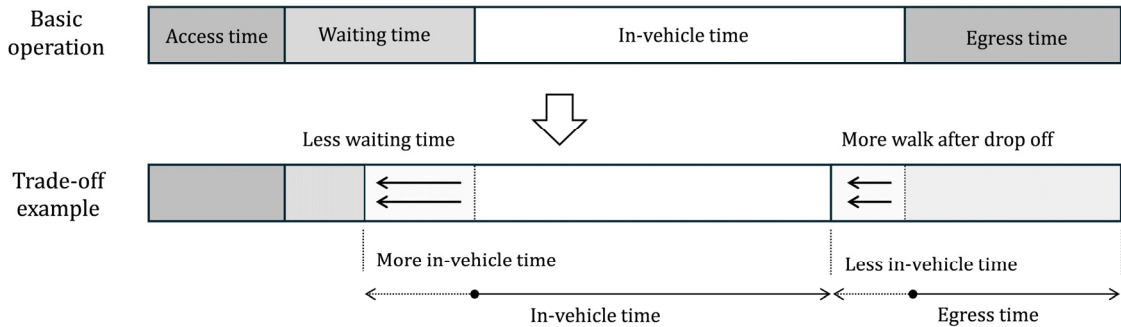
이용자 만족도에 대한 연구 중 Seo et al.(2022)은 수요응답형 서비스가 새로운 교통수단으로 자리잡기 위해서 시민들이 중요하다고 판단하는 서비스 요소별 우선순위를 분석하였다. DRT 도입가능성이 높은 인구 30~100만명 수준의 국내도시 거주자를 대상으로 AHP 조사를 수행하였다. 분석결과 DRT의 서비스 요인에 대한 중요도는 이동/배차 신속성, 플랫폼 편리성, 차량 편의성 순으로 중요한 것으로 분석되었으며 이동/배차 신속성은 플랫폼 편리성 대비 2배의 중요성을 가지는 것으로 나타났다. 이동/배차 신속성 중 중요요인 순위는 대기시간, 차내 통행시간, 승하차지점 접근시간, 예상 시간 준수 여부, 중간정차 횟수 순으로 나타났다. Kim et al.(2024)는 세종시 서클 이용자들을 대상으로한 DRT의 이용만족도를 설문조사하고 Lasso 회귀모형을 통해 영향요인을 규명하였다. 통근/통학과 쇼핑/여가 두 가지 상황에 대한 모델을 추정하였으며, DRT의 차량 호출 후 대기시간, 탑승 후 이동시간, 예상 출/도착 시간의 정시성, 승하차 지점의 위치 요인 등이 통계적으로 유의한 만족도 영향요인으로 나타났다. 반면, 주행안전성, 요금만족도 등의 요인은 만족도에 영향을 미치지 못했다. 상황별 모델의 비교에서 통근/통학시에는 이동시간이 가장 중요한 요인인 반면, 쇼핑/여가 시에는 탑승위치가 가장 중요한 요인으로 나타났다.

## 2) 연구의 착안점

선행연구에서 검토된 요인을 토대로 본 연구에서는 도보접근시간, 호출 후 대기시간, 이동시간, 우회통행 횟수, 도보도달시간으로 구성된 다섯가지 요인을 중심으로 이용자 선호를 조사하였다. 이 요인들은 하나를 줄이면, 다른 요인이 증가하는 trade-off 관계를 가진다. <Fig. 3>의 예시를 보면, 이용자의 대기시간을 줄여주

기 위해서는 차량이 보다 호출지점에 가까이 접근해야 하며, 이는 곧 통행시간의 증가로 연결된다. 반대로 이용자를 최종목적지에 덜 가까운 곳에 하차시키는 것은 차량 통행시간의 감소가 따른다.

본 연구에서는 선행연구들에서 승차지점 접근시간, 하차 후 도보시간 등이 구분되지 않거나, 승차지점 접근시간과 호출 후 대기시간이 구분되지 않고 분석된 점과 달리 이를 구분하여 이용자의 잠재선호에 대해 연구하였다. 이는 trade-off 관계에서 운영자 관점의 버스 운영시간과 이용자 관점의 대기시간·도보시간은 특성은 상이하므로, 이용자 편의와 운영의 효율성을 모두 충족할 수 있는 DRT 운영 요소 조절의 적정 범위 탐색이 가능할 것으로 보았기 때문이다.



<Fig. 3> DRT operation element's trade-off relation

일반적으로 교통수단 이용의향에는 이용요금이 강하게 작용하나 본 연구에서는 제외하였는데 이는 한국의 대중교통과 기존 DRT 특징을 고려한 결과다. 국내에서는 대중교통 수단은 저렴한 시민 이동권 보장 수단으로서 인식이 강하며, 이에 요금조정 역시 민감하게 받아들여지고 있다. 마찬가지로 한국에서 DRT는 대중교통 시스템의 일부로서 이용요금 역시 기존의 버스요금 수준으로 책정되고 있으며, 광역권 대중교통 환승 요금제에 포함되기도 한다. 따라서 본 연구는 이용요금 외 요인들에 이용자 선호(요인에 대한 저항)를 분석하고, 이를 바탕으로 이용상황에 따른 DRT 운영 전략 시사점을 제시하고자 한다.

## 2. SP조사 설계

### 1) SP 조사 개요 및 설문방식

SP(Stated Preference, 잠재선호)조사 기법은 개인 응답자에게 가상의 대안으로 구성된 시나리오를 제시, 여러 대안 중 응답자의 선호 대안을 선택하게 하여 잠재된 선호의식을 조사하는 방법이다. SP조사는 연구자가 관심 있는 변수로 구성된 가상적인 상황을 응답자에게 제시할 수 있어 현재 존재하지 않는 서비스, 새로운 수송수단 등에 대한 선호를 추정하는데 널리 활용된다. 본 연구에서도 이런 점에 착안하여 SP조사를 활용하여 자율주행 대중교통에 대한 개인선호를 연구하였다.

SP조사는 주어진 대안의 속성변수(교통수단에서는 이용요금, 통행시간 등)를 선정하고 각 변수에서 수준차를 설정하여 조건에 따른 개인의 선호를 추출한다. 본 연구에서는 DRT의 주요 요인 중 이용자선호에 영향을 미칠 것으로 예상되는 변수 5종(차량대기시간, 승차지점 접근도보시간, 초기차내시간, 우회횟수, 하차후 도보시간)을 선정하였으며, 이를 서로 다른 값으로 설정한 2가지 자율주행 대중교통 대안을 제시하여 선호하는 대안을 조사하였다.

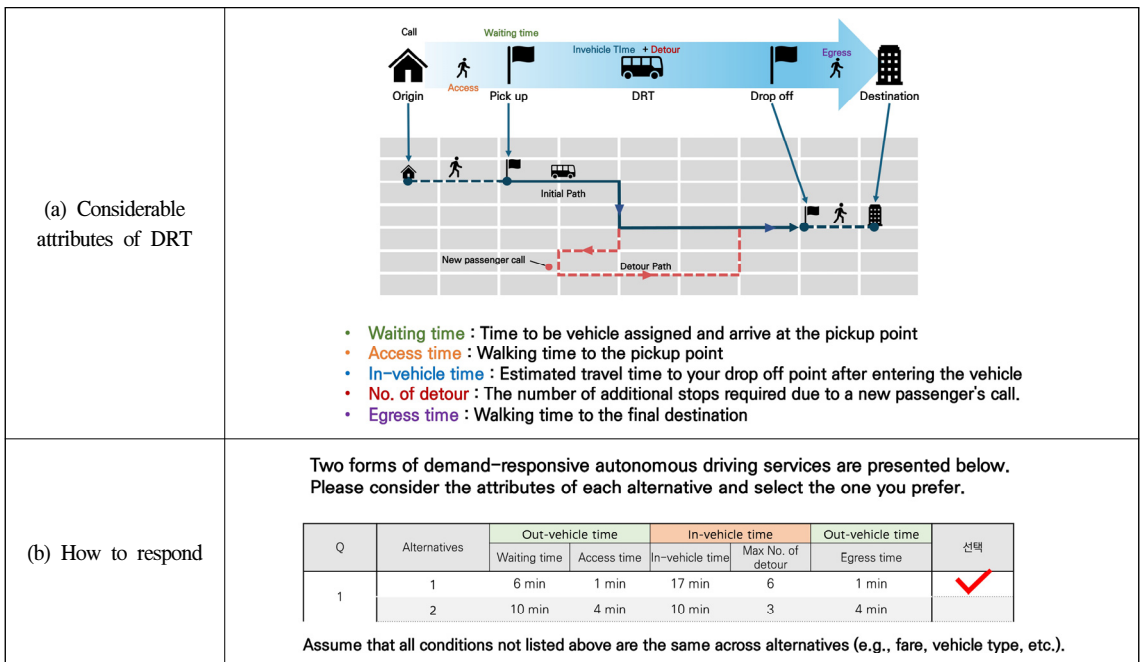
설문에 있어 자율주행 대중교통을 활용하는 상황을 출퇴근 통행과 여가통행으로 나누어 각각 6문항을 제

시하였으며, 1인당 12문항을 설문하였다. 설문조사 내용은 기초문항(응답자의 개인정보 및 가구정보), 응답자의 현재 통행환경(지하철/광역버스 정류장 접근시간, 통행횟수 등), DRT 선호도(SP조사)로 구성되었다.

<Table 1> Survey Questions

Survey attribute	Contents
Inclusion Criteria	Age: over 15 years old residence area: cities with a population between 300,000 and 1 million
Sampling Method	Proportional Allocation by Gender and Age
Survey Period	2022/9/19 ~ 2022/9/23 (online)
Question	Personal attributes - Home address, Gender, Age, Driver License, Number of household members, Income of household, Ownership of vehicles/bikes
	Trip attributes - Number of trips and mainly used mode (by trip purpose: commute and leisure) - Required time to access subway/bus stop from home,
	Stated preference - Six questions for each of two types of scenario: commute travel and leisure travel

자율주행 대중교통, 그리고 수요응답형 버스에 대해서는 생소한 응답자가 있을 수 있으므로, 문항제시 전에 서비스 개념과 이용방식에 대해 충분히 설명 후 조사를 수행하였다. <Fig. 4>는 응답자들에게 제시된 설명자료로 (a)는 DRT의 호출 후 대기시간, 접근시간, 우회횟수 등 새로운 개념에 대한 이해를 도울 수 있도록 작성된 삽화와 설명내용이며, (b)는 응답자들에게 제시된 문항의 예시이다.



<Fig. 4> Survey Explanation Screens Presented to Respondents

## 2) 통행 시나리오와 속성변수 설정

본 연구에서는 총 통행시간을 기준으로 15-40분 이내의 통행시간 범위에서 자율주행 대중교통을 활용한다는 가정하에 문항을 설계하였다. 이는 국내의 기존 DRT 시범운영 사례와 DRT의 활용목적을 고려한 것으로 (Incheon Institute, 2022; KOTI, 2022), 일반적으로 이용수요가 많은 간선·광역교통에서는 수요응답형 서비스보다는 노선버스나 광역철도가 주로 이용되며, DRT는 노선버스가 아직 서비스되지 않는 지역에서 생활권 내의 이동을 목적으로 활용되기 때문이다.

설문에서 고려하는 자율주행 대중교통 이용상황은 2가지 시나리오: 1) 통근통행 시 지하철/광역버스 접근 수단, 2) 여가통행 시 생활권 내 이동으로 전제하였다. 각 시나리오는 6문항으로 구성되어, 통근통행 6문항, 여가통행 6문항으로 총 12문항에 대해 답하도록 하였다. 각 문항에서는 2가지 자율주행 대중교통 서비스가 주어지며, 응답자는 주어진 대안의 속성을 보고 선호하는 대안을 선택하도록 하였다.

본 연구는 속성변수 5종에 대해 각각 3수준의 변위를 설정하여 설문항목을 설계하였다. 모든 수준차를 고려하여 설문 설계 시 응답자에게 제시될 문항의 수가 과다해지는 문제가 있어 일반적으로는 통계적 실험계획법을 활용하여 문항을 선별하여 조사를 수행한다. 본 연구에서는 실험계획법 중 Orthogonal 방법에 따라 총 18개 설문항목을 도출하였고, 이에 블록계획법을 활용하여 1인당 6개문항의 3블록으로 나누어 효율적으로 응답을 확보할 수 있도록 하였다.

가상통행 시나리오에서 통행수단에 대한 속성은 현실과 부합하게 설정하는 것이 올바른 모형추정을 위해 중요하다. 따라서, 각 속성변수의 값과 수준은 시범운영 중인 DRT를 준용하는 선에서 결정하였다. 설문설계 당시 국내 DRT 이용패턴이 공개된 사례에 따르면 인천 I-mod는 대기시간 15.5분, 차내시간 15.5분, 이동거리는 6km로 나타나(Incheon Institute, 2022), DRT와 관련된 선행연구에서 활용된 수준차(KOTI, 2022)를 검토하여 본 연구의 수준차를 설정하였다.

호출 후 대기시간의 경우 최소 5분에서 최대 15분 대기를 가정하였으며, 수준간 차이는 5분으로 설정하였다. 도보접근시간과, 도보도달시간의 경우 최소 1분, 최대 7분으로 수준차는 2, 4분을 반영하였다. 이는 DRT가 최대한 목적지에 가깝게 운행하는 경우와, 비교적 먼 곳에서 승하차하게 되는 경우를 반영하고자 함이다. 차내 시간의 경우 10분, 15분, 20분으로 5분의 수준차를 반영하였다. 마지막으로 우회횟수의 경우 2, 4, 6회를 설정하여 차내시간에 더불어 통행시간 증가요인이 되도록 하였다. 일반적으로 교통수단에 대한 선호 조사 시 이용요금을 포함하여 조사하나, 본 조사에서는 DRT 역시 공공교통수단의 하나로서 역할할 것으로 기대하여 요금은 동일하다는 가정하에 조사가 수행되었다.

<Table 2> Levels of Alternative's Attribute

Variable	Level 0	Level 1	Level 2
Waiting time after calling bus (min)	5	10	15
Access time by walk (min)	1	3	7
In-vehicle time (min)	10	15	20
Max Number of expected detours	2	4	6
Egress time by walk (min)	1	3	7

## 3. 조건부 로짓 모형 설정과 추정

한 개인이 특정 통행수단에 대해 가지는 효용가치를 기반으로 통행수단 선택확률을 추정하는 수단선택모

형 중 로짓모형은 계산의 용이성과 직관적 구조를 장점으로 널리 활용되고 있다. 로짓모형에서 활용되는 개인이 특정수단  $i$ 에 대해 가지는 효용  $U_i$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$U_i = V_i + \epsilon_i \dots\dots\dots (1)$$

여기서,  $V_i$ 는 관측변수에 의해 설명되는 효용가치이며,  $\epsilon_i$ 는 관측변수로 설명할 수 없는 오차항으로, 오차항  $\epsilon_i$ 가 Weibull 분포를 따른다고 가정하면 수단  $i$ 에 대한 선택확률  $P_i$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_i = \frac{\exp(U_i)}{\sum_{k=1}^n \exp(U_k)} \dots\dots\dots (2)$$

여기서  $P_i$ 는 통행수단  $i$ 의 수단선택확률,  $U_i$ 는 개인이 특정 교통수단  $i$ 에 대해 가지는 효용가치이며,  $n$ 은 모형에서 고려하는 대안의 수이다. 즉, 수단선택모형에서 수단분담률은 각 대안이 가지는 효용가치의 비교를 통해 산정되므로, 각 대안이 가지는 속성을 기반으로 효용함수식을 구성하고 추정한다. 본 연구에서는 독립 변수로 통행대안수단의 호출 후 대기시간, 탑승장소 접근시간, 차내이동시간, 우회횟수, 하차 후 도보시간의 총 다섯 가지 변수를 반영하여 아래와 같은 효용함수 식을 구성하였다.

$$V_i = ASC_i + \beta_1 W_i + \beta_2 At_i + \beta_3 IV_i + \beta_4 De_i + \beta_5 Et_i + \epsilon \dots\dots\dots (3)$$

- where,  $W_i$  : waiting time,
- $At_i$  : walking access time,
- $IV_i$  : invehicle time,
- $De_i$  : number of detour,
- $Et_i$  : walking egress time

여기서  $ASC_i$ 는 통행수단  $i$ 의 대안특유상수이며,  $W_i$ 는 호출 후 대기시간,  $At_i$ 는 도보접근시간,  $IV_i$ 는 차내통행시간,  $De_i$ 는 우회통행횟수,  $Et_i$ 는 도보도달시간을 의미한다. 모형은 R 4.3.1 버전과 mlogit 패키지 1.1 버전을 활용하여 추정하였다.

### III. 응답자 기초 통계

조사대상지역은 인구 30만 이상, 100만 이하 도시(2022년 기준)를 대상으로 하였으며, 2주간 온라인 설문을 진행하여 총 24개 시군의 거주자가 응답하였다. 설문에 답한 응답자는 총 211명이었으며, SP조사의 대안 속성 변위에 상관없이 비논리적인 응답행태를 보인 응답자를 제외하여 통근모델에 162명, 여가모델에 161명의 자료를 분석에 활용하였다.



<Table 3> Distribution of Survey Response by Region

Province	City Name	Total		commuting		leisure or etc	
		N	ratio(%)	N	ratio(%)	N	ratio(%)
Gangwo-do	Wonju	4	1.9	3	1.9	3	1.9
Gyeonggi-do	Gwangju	1	0.5	1	0.6	1	0.6
	Gimpo	10	4.7	5	3.1	8	5.0
	Namyangju	10	4.7	7	4.3	8	5.0
	Bucheon	11	5.2	10	6.2	10	6.2
	Seongnam	16	7.6	13	8.0	13	8.1
	Siheung	12	5.7	11	6.8	9	5.6
	Ansan	17	8.1	13	8.0	13	8.1
	Anyang	14	6.6	11	6.8	9	5.6
	Uijeongbu	8	3.8	5	3.1	8	5.0
	Paju	6	2.8	3	1.9	3	1.9
	Pyeongtaek	11	5.2	8	4.9	10	6.2
	Hanam	3	1.4	1	0.6	3	1.9
	Hwaseong	12	5.7	9	5.6	8	5.0
Gyeongsangbuk-do	Gumi	1	0.5	1	0.6	1	0.6
	Pohang	10	4.7	7	4.3	5	3.1
Gyeongsangnam-do	Gimhae	1	0.5	0	0.0	0	0.0
	Yongsan	8	3.8	8	4.9	8	5.0
Chungcheongbuk-do	Cheongju	11	5.2	8	4.9	9	5.6
Chungcheongnam-do	Asan	4	1.9	3	1.9	3	1.9
	Cheonan	14	6.6	13	8.0	9	5.6
Jeollabuk-do	Jeonju	19	9.0	15	9.3	15	9.3
Jeollanam-do	Jinju	2	0.9	2	1.2	0	0.0
Sejong City		6	2.8	5	3.1	5	3.1
Total		211	100.0	162	100.0	161	100.0

## 1. 응답자 특성

### 1) 개인 및 가구속성

<Table 4>는 응답자들의 개인 및 가구속성별 통계표로, 전체 응답자와 성실 응답자를 구분하여 결과를 제시하고 있다. 통근데이터는 162명, 여가데이터는 161명으로 각 데이터 간 분포에는 큰 차이가 발생하지 않아 이어질 선호모형 추정에서도 데이터 클리닝에 의한 영향은 적을 것으로 판단하였다. 성별은 통근과 여가 모두 남성, 여성이 고르게 나타났으며, 연령대 역시 10-20대부터 60대까지 각 급간의 응답비율이 고른 분포를 보였다. 다만, 응답자 거주지역은 최대한 많은 표본확보를 위해 인구규모에 따른 제한만 있었기에, 경기도가 과반을 차지하며(통근 59.9%, 여가 64.0%), 충청도, 전라도, 경상도, 강원도, 세종시 순으로 집계되었다.

응답자의 학력은 대졸이상이 과반으로 통근은 63.6%, 여가 63.4%로 나타났으며, 직업 역시 근로 중이 통근 68.5%, 여가 67.7%로 과반을 차지하였다. 월평균 개인소득은 100만원 미만, 100~300만원, 300~500만원, 500만원 이상의 네 급간으로 구분하였으며, 대체로 고른 분포를 보였으나, 여가통행 데이터에서 300만원 이상 소득그룹의 비율이 다소 높은 차이점을 보였다.

<Table 4> Number of respondents by region

Category		Commuting Respondents		Leisure etc Respondents	
		N	Ratio	N	Ratio
Total Respondents		162		161	
Region	Gyeonggi-do	97	59.9	103	64.0
	Gyungsang-do	16	9.9	14	8.7
	Choonchung-do	24	14.8	21	13.0
	Jeolla-do	17	10.5	15	9.3
	Gangwon-do	3	1.9	3	1.9
	Sejong-si	5	3.1	5	3.1
Gender	Male	79	48.8	80	49.7
	Female	83	51.2	81	50.3
Age Group	10-20s	37	22.8	33	20.5
	30s	34	21.0	35	21.7
	40s	38	23.5	35	21.7
	50s	26	16.0	29	18.0
	60s	27	16.7	29	18.0
Education	Under middle	10	25.9	11	26.1
	Highschool	49	30.2	48	29.8
	Bachelor or higher	103	63.6	102	63.4
Income (mil KRW)	Under 100	43	26.5	42	26.1
	100~300	52	32.1	45	28.0
	300~500	39	24.1	43	26.7
	Over 500	28	17.3	31	19.3
Job Status	Employed	111	68.5	109	67.7
	Student	18	11.1	20	12.4
	Unemployed	33	20.4	32	19.9

<Table 5> Respondent's Trip Attribute

Travel Attribute		Commuting		Leisure or shopping	
		Number of respondents	Ratio	Number of respondents	Ratio
Main Mode	Private car	64	39.5	98	60.9
	Taxi	3	1.9	3	1.9
	Transit	66	40.7	51	31.7
	Walk	29	17.9	9	5.6
Trip Frequency	one or no trip	29	17.9	61	37.9
	2~3	18	11.1	88	54.7
	4~5	72	44.4	8	5.0
	Over 5	43	26.5	4	2.5
Travel Time for oneway	Lower than 30min	84	51.9	68	42.2
	~ 60min	55	34.0	72	44.7
	~ 90min	17	10.5	18	11.2
	Over 90 min	6	3.7	3	1.9

## 2) 통행특성

다음으로 응답자의 통근통행과 여가통행 시 주 통행수단과 통행빈도, 편도 통행시간 등을 조사하였다. 주 통행수단의 경우 통근 시에는 대중교통 40.7%, 승용차 39.5%로 두 유형이 서로 유사한 비율을 보였다. 반면, 여가통행의 경우 승용차가 60.9%로 과반을 넘었으며, 대중교통은 31.7%로 통근 대비 9%p 감소하였다. 특이 점은 도보통행의 비율로 통근 시에는 17.9%의 응답비율이 여가에는 5.6%로 대폭 감소하였다. 이는 여가/쇼핑 목적으로 통행 시 짐을 들거나, 멀리 이동하는 경우가 많아짐에 따라 통행수단 선호에 변화가 생기는 것으로 해석된다.

유형별 통행빈도를 보면, 주 4~5일 이상 출근하는 비율이 71.0%로 과반을 차지하였으며, 여가통행은 주 1회 미만 37.9%, 2~3회 미만이 54.7%로 대부분을 차지하였다.

통행시간에 있어서는 통근과 여가 모두 1시간 이내가 전체의 83.0%, 87.0%로 대부분을 차지하였다. 다만, 세부적으로는 통근은 30분 이내가 51.9%로 가장 높은 비율을 보인 반면, 여가는 30~60분이 44.7%로 가장 높은 응답비율을 보여 중소도시의 통근특성을 나타내었다.

## IV. 조건부 로짓 모형 추정 결과

### 1. 모델 추정 결과

#### 1) 모델 추정 결과

설문 시 통행상황을 2가지, 통근과 여가로 나누어 조사함에 따라 모델 역시 통근모형과 여가모형 2가지로 나누어 추정하였다(<Table 6>, <Table 7>). 먼저 모델이 충분한 설명력을 가지고 있는지 제시한 후, 파라미터 해석을 통해 시사점을 제시하고자 한다.

추정된 모델의 설명력을 판단할 수 있는  $\rho^2$ 는 통근모형에서 0.307, 여가모형에서 0.160로 나타나 적절한 수준인 것으로 나타났다. 개별 추정 파라미터 중 대안특유변수( $ASC_i$ )의 경우 통계적 유의성은 없는 것으로 나타났다. 다만, 본 연구에서는 주어진 5가지 속성변수의 수준만 다르고, 나머지는 완전히 동일한 DRT 두 가지에 대한 설문을 진행하여 대안1과 대안2간의 명시적 선호는 없기에 해석이 필요하지 않은 것으로 보았다.

그 외 속성변수를 파라미터는 계수의 방향과 크기를 통해 합리적 모형의 추정 여부를 판단할 수 있는 근거가 된다. 본 연구의 모형에 포함된 변수들은 모두 응답자 입장에서 값이 증가할수록 대안의 매력이 감소하는 특징을 가지고 있다. 두 모형 속성변수 파라미터는 모두 음의 값으로 추정되어 변수값의 크기가 증가하면 응답자의 선호가 감소하는 합리적인 모형이 추정된 것으로 판단된다.

먼저 통근통행 모형의 개별 파라미터를 보면, 이용자에게 있어 가장 민감한 요인은 대기시간으로 나타났으며, 도달시간, 차내시간, 우회통행횟수, 도보접근시간 순으로 영향도가 작아지는 것으로 분석되었다. 대기시간과 도달시간의 계수는 각각 -0.359, -0.339로 서로 유사한 수준이었으며 차내시간의 계수는 -0.283으로 타 요인에 비해 높은 영향을 미치는 것으로 나타나, 통근상황에서 전체통행시간의 감소나 하차 후 타 통행수단을 이용할 수 있는 접근성과 편의성이 중요한 요인임을 나타내고 있다. 반면, 도보접근시간은 -0.060으로 이용자들에게 비교적 영향력이 미미한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 선행연구에서 나타난 통근 시 이용자들이 접근시간보다는 도달시간에 민감하다는 특징과도 유사한 것으로 분석된다(Saxena et al., 2020; Go et al., 2022).

다음으로 여가통행 모형의 개별 파라미터를 보면, 이용자에게 있어 이용의향에 영향을 미치는 요인은 대

기시간, 차내시간, 도달시간 순으로 나타났으며, 각 변수의 계수는 대기시간은 -0.210, 차내시간과 도달시간 계수는 -0.15 수준으로 요인 간의 영향력이 서로 유사하게 나타났다. 이에 더불어 접근시간과 우회통행횟수의 경우 파라미터 추정값이 통계적 유의성을 확보하지 못하여, 여가통행상황에서 시간에 대한 중요성이 통근대비 감소하여 발생된 선호행태로 해석된다.

<Table 6> Estimation results of commute choice model

Variables	Coefficient	Std.	Z-value	Odds
ASC	-0.152	0.090	0.091	0.859
waitig time (min)	-0.359**	0.024	0.000	0.698
access time (min)	-0.060***	0.021	0.004	0.942
invehicle time (min)	-0.283***	0.026	0.000	0.754
No. of detour	-0.144***	0.030	0.000	0.866
egress time (min)	-0.339***	0.039	0.000	0.712
N	972			
L(0)	-1564.4			
L(C)	-673.3			
L( $\beta$ )	-466.6			
$\rho^2(\beta)$	0.307			

Note: '\*\*\*' = P-value < 0.001, '\*\*' = P-value < 0.01, '\*' = P-value < 0.05, '.' = P-value < 0.1.

<Table 7> Estimation results of leisure choice model

Variables	Coefficient	Std.	Z-value	Odds
ASC	-0.089	0.079	0.260	0.915
waitig time (min)	-0.210***	0.018	0.000	0.811
access time (min)	-0.030	0.019	0.122	0.970
invehicle time (min)	-0.151***	0.021	0.000	0.860
No. of detour	-0.031	0.026	0.218	0.969
egress time (min)	-0.150***	0.032	0.000	0.861
N	966			
L(0)	-1554.7			
L(C)	-669.51			
L( $\beta$ )	-562.09			
$\rho^2(\beta)$	0.160			

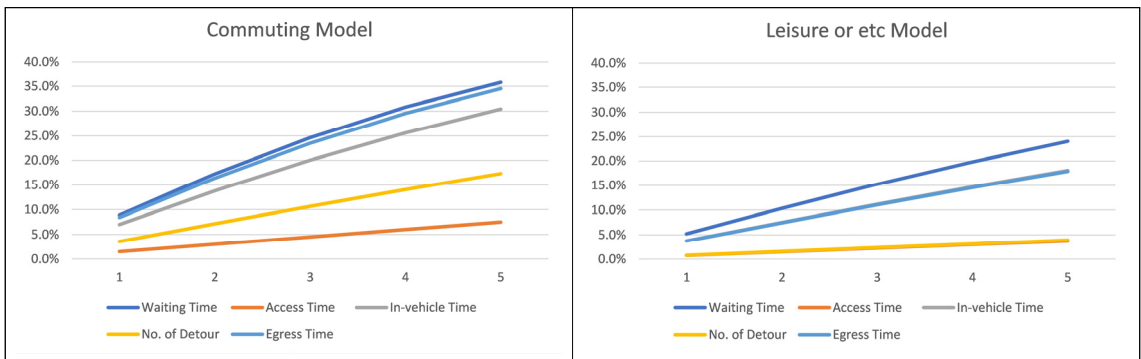
Note: '\*\*\*' = P-value < 0.001, '\*\*' = P-value < 0.01, '\*' = P-value < 0.05, '.' = P-value < 0.1.

## 2) 민감도 분석

본 절에서는 민감도 분석을 통해 각 요인들의 1단위 변화에 따른 DRT 이용률 P의 변화를 분석하였다. 적용된 DRT 통행의 기준값은 대기시간 15분, 접근시간 7분, 차내시간 15분, 우회통행횟수 6회, 도달시간 7분으로 각 변수들을 1단위 씩 감소시키는 방식으로 이용률 변화를 계산하였으며, <Fig. 5>와 <Table 8>에 그래프와 표로 결과가 제시되어있다.

먼저 통근모형을 보면, 대기시간과 도달시간의 경우 5 유닛 = 5분 감소 시 이용률이 약 35% 증가하며 차내시간 역시 약 30%의 이용률 증가를 보이는 반면, 접근시간은 7.5% 수준만 증가한다. 다른 요인과 달리 횡수 단위를 가진 우회통행의 경우 1회 감소 시에는 -3%, 3회 감소 시 -10%, 5회 발생 시 -15%의 이용률 감소로 이어진다.

여가모형의 경우에는 대기시간의 5분 감소는 24%의 이용률 증가가 기대되며, 차내시간 5분 감소는 18.1%, 도달시간 5분감소는 17.9%의 이용률 증가로 분석되었다. 통근과 여가를 비교하면 동일한 대기시간의 변동크기, 차내시간의 변동크기에 대해서도 통행상황에 따라 이용률 변화의 변동폭이 다른 점이 나타나며, 이는 곧 이용상황에 따라서 DRT 이용의향을 높일 수 있는 운영방식이 차별화 될 수 있다는 점을 시사한다.



<Fig. 5> Respondent's willingness to use change

<Table 8> Respondent's probability variance at each variable's single unit variance

Travel Attribute	Probability Variance at a single unit change (%)									
	Commuting					Leisure or etc				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
waitig time (min)	8.9	17.2	24.6	30.8	35.8	5.2	10.3	15.2	19.8	24.0
access time (min)	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	-	-	-	-	-
invehicle time (min)	7.0	13.8	20.0	25.6	30.4	3.8	7.5	11.2	14.7	18.1
No. of detour	3.6	7.2	10.7	14.0	17.3	-	-	-	-	-
egress time (min)	8.4	16.4	23.5	29.5	34.5	3.7	7.4	11.0	14.5	17.9

Note: Each cell means delta of probability comes with difference of one unit of variables.

## 2. 추정결과에 대한 해석

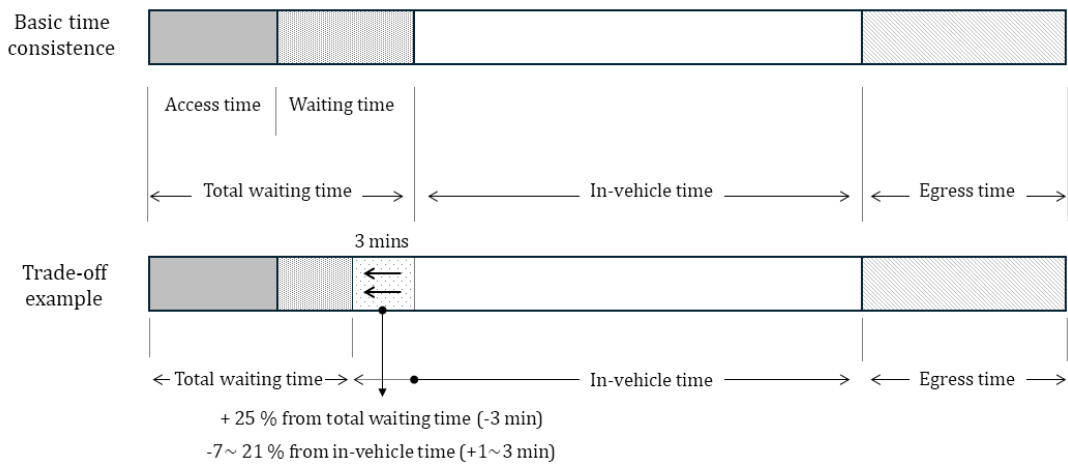
### 1) 추정된 모델의 통행특성 반영 검토

추정된 모형은 교통수단 선택에 있어 응답자들의 선호가 일반적인 통행행태에 부합하는 방향으로 반영되었음을 제시하고 있다. 통근통행 시에는 시간 최소화에 대한 중요도가 높아, 대기시간, 하차 후 도보시간, 차내시간이 주요한 영향요인으로 작용한다. 반면, 여가통행 시 동일 요인들의 영향력이 통근대비 감소하며, 도보접근시간과 우회통행의 경우 유의성이 확인되지 않는다. 이는 통근상황에서는 얼마나 빨리 버스가 도착하는지(=대기시간), 하차 후에 얼마나 걸어야 하는지(=하차 후 도보시간) 등 시간을 중요시 하는 선호가 있는 반면, 여가통행 시에는 시간요인의 중요성이 감소한 선호가 반영된 결과로 보여진다.

2) 도보시간(차외시간)과 통행시간(차내시간)의 비교

앞서 살펴본 민감도 분석에서는 변인 1단위의 변화와 이에 따른 이용의향 확률 P의 변화를 제시하였다. 이를 통해 얻을 수 있는 시사점은 다음과 같다. 첫째, 사람들은 대기시간 증가에 민감하며, 차내시간 증가에 비교적 덜 민감하다. 둘째, 도보접근시간은 대기시간 대비 낮은 비효율을 가진다. 셋째, 우회통행은 대기시간, 차내시간 대비 낮은 비효율을 가진다. 이는 본 연구에서 설문한 DRT 운행요소 5가지가 서로 상쇄되는 trade-off 관계라는 점에서 시사점을 가진다.

먼저, 5가지 요인과 이를 결정하는 주체를 살펴보면, 대부분은 ‘시간’으로 표현되는 변인이나, 접근시간과 도달시간은 이용자의 보행속도에 따라 환산되는 값이다. 달리말하면, 이용자 입장에서는 대기시간과 차내시간이 같은 1분이어도 그 동안 이동할 수 있는 거리는 달라질 수 있다.



<Fig. 6> Basic concept of time usage of DRT and its change in preference by variance

예를 들어, 보행속도 4km/h를 고려한 도보접근시간 3분의 이동거리는 약 200m 수준이나, 버스의 경우 통행속도 15km/h를 가정 시 750m, 통행속도 20km/h를 가정 시 1km를 이동할 수 있는 시간이다. 따라서, 이용자 입장에서 줄이기 쉽거나 민감하지 않은 요인보다는, 줄이기 어렵고 민감한 요인을 감소시키는 방향으로 DRT를 운영하는 전략을 생각할 수 있다.

위의 예시와 같이, 하차 후 도보시간 3분의 감소는 약 25%의 긍정효과를 가지는 반면, 차내시간 3분의 감소는 약 20%의 긍정효과를 가진다. 여기서 도보시간 3분은 이동거리는 약 200m(보행속도 4km/h 가정)이나, 버스의 경우 1-2분에 이동할 수 있는 거리이다. 즉, 버스의 차내이동시간이 증가하더라도, 도보시간은 동일한 크기의 시간으로 증가하지 않으며, 이는 곧 이용자 입장에서 더욱 큰 체감효용으로 작용할 수 있다. 유사한 방식으로, 이용자 체감과 버스의 특성을 고려한 DRT 운행전략을 도출할 수 있다.

대기시간과 도보접근시간 역시 유사한 시사점이 있다. 본 연구결과에 따르면 응답자들은 대기시간에는 민감한 반면, 접근시간에는 덜 민감하며, 선행연구에서도 유사한 응답특성이 보고된다( Saxena et al., 2020; Go et al., 2022). 이는 걸어가는 거리보다 대기시간이 중요한 요인이 되므로, 이용자들로 하여금 걱정된 대기 장소로 결집되도록 유도하여 대기시간은 최소화하면서 보다 많은 승객을 픽업하여 DRT의 수송효율성이 증가시키는 것이 유효한 전략이 될 수 있다는 점을 시사한다. 탑승지점까지의 도보접근거리는 다소 늘어날 수 있지만, 우회경로의 단축, 우회횟수의 단축을 통해 이용만족도와 이용의향을 증대시킬 수 있기 때문이다.

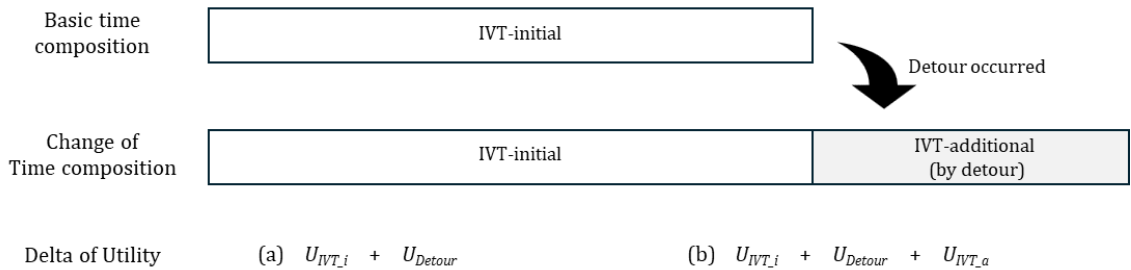
### 3) 우회횟수와 차내시간의 관계

다만, 본 연구의 추정모형에서 우회통행의 비효용은 다른 요인들에 비해 상대적으로 작게 나타나고 있다. 수치적으로 보면 우회통행 6회는 대기시간 5분에 비해서도 적은 음의 효용을 가지는데, 우회통행 경로에 따라서는 5분보다 훨씬 긴 시간증가가 발생할 수 있다.

이러한 선호행태가 추출된 것에 대한 가능한 해석 중 하나는 설문 방식의 한계이다. 설문지에서는 우회통행 횟수를 제공할 뿐 이에 대해 예상되는 통행시간감소를 제시하지 않았다. 이에 응답자들은 예시에서 제공된 우회통행개념에 따른 인식을 바탕으로 우회통행이 발생시킬 수 있는 차내통행시간 증가를 적게 반영하였을 가능성이 있다.

두 번째는 우회통행발생에 대한 확률적 기대가 반영되었다는 해석이다. 설문지에서 설명한 바와 같이 우회통행은 상황에 따라서 하지않을 수도 있다. 이러한 측면이 응답자에게 있어 확실한 비선호 요인인 통행시간(대기, 차내, 도달 등)에 비해서는 낮은 음의 효용을 가지게 한 것일 가능성이 있다.

따라서, 우회통행의 경우 본 연구 결과를 상이한 두 가지 방향으로 해석 가능하다. 이를 가르는 기준은 우회통행 변인의 단위 차이와 우회통행에 대해 응답자들이 가지는 비효용에 대한 해석방식으로 결정된다.



<Fig. 7> concept of dealing with the detour and its induced in-vehicle time

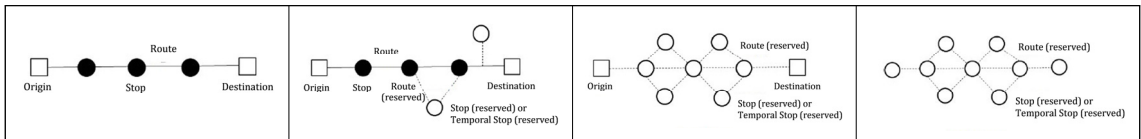
첫 번째 해석은 <Fig. 7>의 (a)와 같이 우회통행의 낮은 비효용만을 그대로 반영하는 것이다. 본 연구에서는 우회통행의 단위는 ‘횟수’로, 다른 변인들은 ‘시간’을 단위로 사용하고 있다. 따라서 응답자들은 나름의 잠재선호를 반영하여 우회통행 증가의 비효용을 다른 요인과 비교하여 대안을 선택하였다. 이러한 한계 때문에 모형을 통해 해석한 응답자들의 선호는 우회횟수가 3회 늘어나도, 차내통행시간 10분 증가에 비해 낮은 비효용을 가진다. 이를 그대로 받아들이는 경우 초기안내된 차내시간과 상관없이 우회통행 증가에는 이용자의 부적 효용체감이 미미하므로, 이를 적극 활용하여 DRT의 수송효율성을 늘릴 수 있다. 이러한 특성은 DRT 운영에 있어 필수적인 우회통행에 있어 통행시간증가가 실제 통행시간 증가에 큰 영향이 없는 경우 이용자들의 불만족 역시 크게 상승하지 않을 수 있음을 시사한다.

두 번째 해석은 <Fig. 7> (b)와 같이 우회통행 증가의 비효용에 더불어 우회로 인한 차내시간증가의 비효용이 동시에 증가한다는 방식이다. 이 경우 앞서와 달리, 우회통행은 이용자 만족에 있어 매우 민감한 부정적 요인이된다. DRT 통행관련 연구사례에서는 1회 우회시 증가되는 통행시간을 5-15분 정도로 고려하고 있다. 복잡한 도심내라면 15분에 가깝고, 비혼잡지역은 5분에 가까울 것으로 기대할 수 있다. 5분 증가를 가정하더라도, 1회 우회통행 증가는 30% + 2%의 이용의향 감소효과를 가진다. 이러한 가산적 해석은 DRT 관련 연구에서 나타나는 이용자들의 선호와도 부합하는 측면이 있으며, 이를 반영하듯 글로벌 DRT 서비스들과 국내 서비스들의 우회횟수는 1-3회 내외로 제한하는 경우가 많다. 과도한 우회통행으로 인한 부정적 효과와

반응은 DRT 운영에 있어 중요한 요인으로 볼 수 있으며, 적정 수준에서만 우회하는 것이 기존 탑승자와 전체 DRT 운영에 있어 효과적인 선택이다.

### 3. DRT 운영 전략 제안

본 절에서는 2절의 내용을 기반으로 하여, 통행요금을 조정하지 않는 상황에서 이용자의 만족도를 높일 수 있는 DRT 운영전략을 제안하고자 한다. DRT의 운행방식은 노선계통의 유무와 운행의 유연성을 기준으로 네 가지로 구분할 수 있다(KRITI, 2012). 자유도가 낮은 경우 기본 노선계통(=경로)을 가지며, 이를 수요에 따라 ① skip stop 하거나, ② 이탈하여 탑승객을 태우며, 자유도가 높은 다이내믹형(③, ④)의 경우 사전지정된 운영구역과 정류장에서 호출된 응답에 맞춰 경로가 매번 변경된다.



<Fig. 8> Four types of DRT operation (KRITI, 2012)

본 연구의 결과는 통행상황(통근, 여가)과 이용환경(혼잡 또는 비혼잡)에 따라서 응답자들이 선호하는 변인이 변화하거나, 저항의 크기가 변화하는 것을 보여주고 있다. 통행상황과 이용자들의 선호 등을 종합하면 <Table 9>와 같이 간략히 정리해볼 수 있다.

<Table 9> Summary of respondent's preference and DRT operation strategy

Variable		Commuting	leisure or etc
travel / user attributes	user travel demand	relatively large and timely concentrated	relatively small and sparse
	basic user preference	time optimization or minimization	convenience optimization or maximize
	origin / destination	distributed pick ups, focused drop offs	distributed around the neighborhood
user's impedance to DRT attributes	walking access time	low	not significant
	walking egress time	strong	weak
	waiting time	strong impedance for increase	relatively weak
	in-vehicle time	relatively strong	relatively weak
	detour increase	relatively strong	not significant
Operation Strategy		(bus) skip-stop or semi flexible (detour) minimum (user) more access, less wait and IVT	(bus) dynamic operation (detour) easy to add (user) less wait, less egress, more IVT

#### ① 통근 시간대 - 승차지점 묶어주기 전략

통근 시에는 통행수요가 비교적 크고, 시간적으로 집중되어 있으며 이용자들은 통행시간을 최소화하기를 원한다. 또한, 승차희망지점은 분산된 반면, 하차희망지점은 주요 교통 결절지점으로 집중될 것을 기대할 수 있다. 따라서 적절한 DRT 운행 방식은 고정형 노선(Skip-stop), 경로이탈형과 같이 통행시간을 최소화할 수 있는 방식이 바람직할 것으로 보여진다.



이때, 본 연구결과의 시사점에 따라 이용자들의 도보접근거리를 증가시키더라도 대기시간과 우회를 감소시킬 수 있는 경로설계가 중요한 전략이 될 수 있다. 연구결과에 따르면 이용자들은 시간이 급한 아침 통근 시간에는 예정된 시간에 정확히 탑승하여, 빠르게 다음 통행수단으로 환승하는 것을 선호하며, 도보시간 증가보다는 통행시간, 대기시간 증가에 더욱 민감하게 반응한다.

따라서, 도보접근거리가 다소 증가하더라도 차량의 우회통행 최소화, 이동경로의 최적화를 통해 운영의 효율성과 이용자 만족도를 모두 제고할 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 전략에서는 적절한 탑승지점의 선정과 이용자의 집중화, 차량이동경로의 최적화가 중요한 요인이 된다.

## ② 비침두 시간대 - wait and sweep 전략

통행수요와 승하차 지역이 모두 분산되는 비침두 시간대에는 이용자들 역시 시간요인의 증가에 덜 민감하게 반응하며, 심지어는 우회통행에 대해 유의성이 관측되지 않았다. 따라서 semi-dynamic, dynamic 운행방식과 보다 완화된 우회통행 추가를 통해 가능한 많은 이용자들의 대기시간을 줄여주는 것이 유효한 전략이 될 수 있다. 다만 이 경우에도 차내 통행시간이 지나치게 증가하는 경우 이용자 만족도가 감소할 수 있으므로, 적절 범위의 우회통행횟수를 지키는 것이 필요하다.

이때, 탑승시간 예약과 예상되는 우회통행을 고려한 통행시간 안내는 유효한 DRT 운영 전략이 될 수 있다. 예약을 통해 탑승시간을 예정하는 것은 대기시간에 대한 비효율을 상쇄하거나 최소화 할 수 있어 다른 요인이 증가되는 여유를 만들어 줄 수 있으며, 운영측면에서도 운행횟수와 경로를 최적화하기 보다 용이한 방법이 된다. 이에 더불어 사전에 이동예상시간을 우회통행을 고려한 최대치 혹은 증가된 수치로 제공하여 시간변동성이 부정적 방향(이동시간 증가)으로 작동하는 것을 방지하는 것 역시 이용자의 비효율 증가는 억제하면서 운영최적화를 위한 변인간 조정폭을 확보하는 데 기여할 수 있다.

## V. 결 론

본 연구는 DRT의 운행에 있어 승객에 따른 요금수준을 변화하지 않는 상황에서 이용자 선호 요인을 탐색하고 이에 기반한 DRT 운영전략의 시사점을 제공한다. 이를 위해 SP설문조사를 설계하여 응답자들의 DRT 운영요소 다섯 가지(도보접근시간, 호출 후 대기시간, 차내이동시간, 우회통행, 하차 후 도보시간)에 대한 잠재 선호를 분석하였으며, 통근통행상황과 여가통행상황에서의 선호도 차이를 제시하였다. 이는 DRT 운행에 있어 trade-off 관계에 있는 요소들 중 어떤 요소를 가중하여 운영하는 것이 효과적일 수 있는지 시사점을 제시한다.

연구결과에서 나타난 이용자 선호 중 주목할 만한 부분은 다음의 세 가지이다. 첫째, 사람들은 대기시간 증가에 민감하며, 차내시간 증가에는 비교적 덜 민감하다. 둘째, 도보접근시간은 대기시간 대비 낮은 비효율을 가진다. 셋째, 우회통행은 대기시간, 차내시간 대비 낮은 비효율을 가진다. 이는 이용자의 비효율에 대한 체감을 최소화하면서 DRT 운영을 효율화할 수 있는 시사점을 제시한다. 운영자 관점의 운영시간과 이용자 관점의 도보접근시간·대기시간이 다른 특성을 가지므로 이용자가 줄이기 쉽거나 민감하지 않은 요인(=도보 접근시간)보다는 줄이기 어렵고 민감한 요인(=대기시간, 하차 후 도보시간 등)을 감소시키는 방향으로 DRT 운용 요소 간 조정의 방향을 가늠할 수 있기 때문이다.

이러한 연구결과를 바탕으로 본 연구에서는 상황에 따른 두 가지 운영방향을 제시하였다. 먼저 통근시간대의 경우, 이용자 탑승지점은 분산되어 있으나, 하차지점과 이용수요는 집중되며, 이용자들은 시간증가에

대해 높은 민감도를 보인다. 따라서, 이러한 상황에서는 도보접근거리가 다소 증가하더라도, 호출 후 대기시간과 우회통행을 최소화하는 전략이 유효할 것으로 기대된다.

반대로, 여가통행 등의 비점두 상황에서는 통행수요와 승차차 희망 지점이 모두 분산되며, 이용자들의 시간요인에 대한 민감도는 통근통행에 비해 감소한다. 특히, 이 상황에서는 우회통행에 대한 비효율이 현저히 낮아지므로 완화된 우회통행 추가를 통해 가능한 많은 이용자들의 대기시간을 줄여주는 것이 유효한 전략일 수 있다.

공통적으로는, 탑승시간 예약과 우회통행 예상 횟수를 고려한 초기 통행시간 안내가 유용할 것으로 기대된다. 예약을 통해 대기시간에 대한 이용자 입장의 비효율 체감을 상쇄하거나 최소화할 수 있으며, 초기 이동시간의 신뢰성 확보를 통해 시간변동성에 대한 이용자의 비효율 체감을 억제할 수 있기 때문이다. 이러한 방안들의 조합은 DRT 운영요소의 최적화를 위한 변인 간 조정폭을 확보하는데 기여할 것으로 기대된다.

다만, 본 연구는 대기시간과 접근시간의 분리 추정, 우회통행과 차내통행시간의 단위 비통일성으로 인해 비효율을 가산해서 해석해야 하는 등 한계점이 있다. 또한, 설문조사 시 이용자들의 DRT 이용경험 등 DRT에 대한 이해도, 친숙성, DRT 예약편의성, 차량 내 편의기능 등을 고려하지 못한 점도 한계로 남는다. 그럼에도, 요인별로 상이하게 나타나는 이용자의 비선호를 규명하고 이에 기반한 DRT 운영전략 방향을 제시한 점에 의의를 가진다.

향후에는 본 연구의 설문자료에서 모형화하지 못한 응답자 개인속성을 바탕으로 개별모형을 추정·비교하여 개인속성에 따른 이용선호 요인을 분석하고자 하며, 다른 연구들에서 수행된 다목적 최적화에 이용자의 향이 반영된다면 보다 효과적인 DRT 운영 방안을 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

## ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 국가연구개발사업인 “실시간 수요대응 자율주행 대중교통 모빌리티 서비스 기술 개발(RS-2021-KA161756)”의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Amirgholy, M. and Gonzales, E. J.(2016), “Demand responsive transit systems with time-dependent demand: User equilibrium, system optimum, and management strategy”, *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 92, pp.234-252.
- Arbex, R. O. and Da Cunha, C. B.(2015), “Efficient transit network design and frequencies setting multi-objective optimization by alternating objective genetic algorithm”, *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 81, no. 2, pp.355-376.
- Coslovich, L., Pesenti, R. and Ukovich, W.(2006), “A Two-phase insertion technique of unexpected customers for a dynamic dial-a-ride problem”, *European Journal of Operational Research*, vol. 175, no. 3, pp.1605-1615.
- Dessouky, M., Rahimi, M. and Weidner, M.(2003), “Jointly optimizing cost, service, and environmental performance in demand-responsive transit scheduling”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 8, no. 6, pp.433-465.

- Farah, A., Nawal, L., Dana, A. and Tariq, A.(2023), “User preference analysis for an integrated system of bus rapid transit and on-demand shared mobility services in Amman, Jordan”, *Urban Science*, vol. 7, no. 4, 111. <https://doi.org/10.3390/urbansci7040111>
- Go, Y., Lee, J. and Kim, J.(2022), “A stated preference analysis of on-demand mobility services in the commuting context in Seoul metropolitan area”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 40, no. 5, pp.700-716.
- Guo, R., Guan, W. and Zhang, W.(2018), “Route design problem of customized buses: Mixed integer programming model and case study”, *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, vol. 144, no. 11, 04018069.
- Guo, R., Guan, W., Zhang, W., Meng, F. and Zhang, Z.(2019), “Customized bus routing problem with time window restrictions: Model and case study”, *Transportmetrica A: Transport Science*, vol. 15, no. 2, pp.1804-1824.
- Han, S. W., Kim, D. K. and Moon, S.(2024), “Incentive strategy to improve passenger convenience and operation efficiency of demand-responsive transportation systems”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 42, no. 2, pp.180-195.
- Huang, D., Tong, W., Wang, L. and Yang, X.(2020), “An analytical model for the many-to-one demand responsive transit systems”, *Sustainability*, vol. 12, no. 1, 298. <https://doi.org/10.3390/su12010298>
- Incheon Institute(2022), *Incheon metropolitan city I-MOD public transport policymaking study*.
- Jaw, J. J., Odoni, A. R., Psaraftis, H. N. and Wilson, N. H.(1986), “A heuristic algorithm for the multi-vehicle advance request dial-a-ride problem with time windows”, *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 20, no. 3, pp.243-257.
- Kim, J. and Bang, S.(2022), “Development of a model for dynamic station assignment to optimize demand responsive transit operation”, *Journal of Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 21, no. 1, pp.18-34.
- Kim, W., Han, W. and Park, J.(2024), “A comparative study on factors affecting satisfaction by travel purpose for urban demand response transport service: Focusing on Sejong Shucle”, *Journal of Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 23, no. 2, pp.132-141.
- Korea Research Institute of Transportation Industries(2012), *The feasibility study on the introduction of Demand-Responsive Transport(DRT) in rural areas*.
- Korea Transportation Institute(2022), *Impact analysis of implementing the demand responsive transit system in metropolitan areas*.
- Lyu, Y., Chow, C. Y., Lee, V. C., Ng, J. K., Li, Y. and Zeng, J.(2019), “CB-Planner: A bus line planning framework for customized bus systems”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 101, pp.233-253.
- Nourbakhsh, S. M. and Ouyang, Y.(2012), “A structured flexible transit system for low demand areas”, *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 46, no. 1, pp.204-216.
- Quadrifoglio, L., Dessouky, M. M. and Ordóñez, F.(2008), “A simulation study of demand responsive transit system design”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 42, no. 4, pp.718-737.
- Saxena, N., Rashidi, T. and Rey, D.(2020), “Determining the market uptake of demand responsive transport enabled public transport service”, *Sustainability*, vol. 12, no. 12, 4914. <https://doi.org/10.3390/su12124914>

- Seo, S., Kim, J., Lee, J. and Yang, B.(2022), “Analysis on the importance rank of service components of autonomous mobility-on-demand service by potential user groups”, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 21, no. 6, pp.177-193. <https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.6.177>
- Shen, C. W. and Quadrioglio, L.(2012), “Evaluation of zoning design with transfers for paratransit services”, *Transportation Research Record*, vol. 2277, no. 1, pp.82-89.
- Tolic, I. H., Nyarko, E. K. and Ceder, A.(2020), “Optimization of public transport services to minimize passengers waiting times and maximize vehicles occupancy ratios”, *Electronics*, vol. 9, no. 2, 360. <https://doi.org/10.3390/electronics9020360>
- Wang, C., Ma, C. and Xu, X. D.(2020), “Multi-objective optimization of real-time customized bus routes based on two-stage method”, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 537, 122774.