

도시형 버스의 노선 전략 수립을 위한 경로 분석 연구

박재홍^{1*} · 노창균²

¹한국건설기술연구원 도로교통연구본부 수석연구원

²한국건설기술연구원 기획조정본부 연구위원

Research on Strategies for Urban Bus Operations

Jaehong Park^{1*} · Chang-Gyun Roh²

¹Senior Researcher Fellow, Department of Highway & Transportation Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Gyeonggi 10233, Korea

²Research Fellow, Planning and Coordination Department, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Gyeonggi 10233, Korea

[요약]

본 연구에서는 도시형 버스가 운행되고 있는 지역을 대상으로 운영 전략 수립을 위한 현황을 분석하고, 노선을 분석하는 연구를 수행하였다. 농촌형의 특성이 나타나는 지역을 대상으로 선정했으며, 기존에 운영되고 있는 2개 구간의 노선을 분석하였다. 출발지에서 목적지까지 버스가 운영되는 이동 시간과 시뮬레이션을 이용하여 이동 경로에 대한 값을 비교한 결과, 평균 304.3초(노선 5), 평균 360.1초(노선 6)의 차이가 나타나는 것으로 분석되었다. 본 연구의 결과는 도시형 버스의 활성화를 위한 교통 운영 전략 수립 연구에 활용될 것으로 기대된다.

[Abstract]

This study analyzes the current status and establish operational strategies for urban bus routes. A rural area was selected for this study, and two bus routes currently in operation were examined. To ensure the objectivity of the result, a GIS simulation was used for a comparative analysis. The comparison of travel times from the origin to the destination revealed an average difference of 304.3 seconds for bus route 5 and 360.1 seconds for bus route 6. The findings of this study are expected to contribute to research on developing operational strategies for urban buses as demand-responsive transit.

색인어 : 도시형 버스, 최단 경로, 수요응답형 교통체계, 교통 운영, 대중 교통

Keyword : Urban Bus, Shortest Path Route, Demand Responsive Transit, Traffic Operation, Public Transport

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2024.25.11.3221>



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.

Received 04 October 2024; **Revised** 01 November 2024

Accepted 05 November 2024

***Corresponding Author; Jaehong Park**

Tel: +82-31-910-0656

E-mail: jhpark@kict.re.kr

1. 서론

최근 수요응답형 교통체계(Demand Responsive Transit, DRT)의 운영이 활성화되고 있으며, 지자체에서는 수요응답형 교통체계의 시스템을 구축하거나 운영 서비스를 제공하고 있다. 수요응답형 교통체계는 대중교통을 이용하고자하는 수요자가 다양한 호출 방식(전화, 웹, 이동형 단말기 등)을 통해 대중교통을 호출하며, 고정된 운행 노선 또는 시간 외에도 탄력적으로 운영되는 형태로 서비스가 제공된다. 또한, 실시간 수요 요청이 반영되어 운행 경로가 최적화되며, 최적 배분을 통해 공차율, 에너지 소비, 운영 비용 등의 절감에 효과적이다. 따라서, 수요응답형 교통체계를 통한 서비스의 활성화를 위하여, 수요응답형 교통체계의 운영 시간대와 노선을 결정할 수 있는 전략이 요구된다.

수요응답형 교통체계는 운행 목적에 따라 도시형, 산업형, 농촌형, 관광형으로 구분할 수 있으며, 운영 형태는 지역에 거주하는 인구의 분포, 직업 특성, 토지이용계획 등을 고려하여 결정한다[1]. 도시형은 오전·오후 첨두시에 교통 정체가 심하게 발생하는 특징을 가지며, 개인 차량 중심의 교통망이 형성된 지역에 적용이 가능하다. 산업형은 오전·오후 첨두시에 교통 정체가 발생하며, 산업 단지(생산 공장, 현장)와 연결된 도로의 이용으로 인한 특이한 통행 특성이 발생하는 지역에 적용된다. 관광형은 출퇴근으로 인한 자정체의 특성이 발생하지 않지만, 관광지의 유형에 따른 계절, 요일에 따른 통행 수요의 특성이 나타난다. 관광형의 경우, 관광지의 유무에 따라 이용 수요의 차이가 많이 발생하므로, 상시적이고 고정적인 대중교통을 운영하는데 한계가 있다. 농촌형은 출산을 저하, 중장년층이 도심으로 이동하는 농어촌 지역의 인구 특성이 나타나며, 대중 교통을 이용하는 수요가 운영을 위한 공급에 미치지 못하는 것으로 나타난다. 따라서, 실질적인 대중 교통의 운영에 한계가 존재하나, 자차의 주행에 한계가 있는 고령자의 이동을 위한 대중 교통의 운행이 필요한 특징을 가진다. 수요응답형 교통체계는 운영 방식에 따라 고정형, 경로이탈형, 준다이나믹형, 다이나믹형으로 구분된다. 고정형은 노선을 고정된 상황에서 버스를 주행시키는 형태이며, 경로이탈형은 노선을 고정된 상태에서 승객의 호출이 있는 경우, 호출된 승차 지점을 경유하는 형태로 운영된다. 준다이나믹형은 가중점간 예약에 감응한 경로에 따라 움직이는 형태로써, 일정한 형태의 노선 없이 수요에 따라 유동적으로 주행하는 것이 특징적이다. 마지막으로 다이나믹형은 수요가 발생하는 경우에 활용하는 형태로써, 준다이나믹 형태보다 유동적인 형태로 운영된다[2]. 이러한 수요응답형 교통체계의 형태를 시간적, 공간적 변동성을 고려하여 표 1에 제시하였다.

본 연구에서는 도시형 버스가 운행되고 있는 지역의 운영 현황을 분석하고, 운영 전략 수립을 위한 노선 분석에 관한 연구를 수행하였다. 분석 지역은 출산을 저하, 생산가능 인구의 감소와 같은 변화가 나타나고, 대중교통 접근성 및 교통사각 지역의 개선이 필요한 지역을 선정하였다[3]-[5]. 또

한, 본 연구의 2장(“기존 연구 및 사례 고찰”)에 제시되어 있는 평가 항목, 평가 지표를 이용하여, 도시형 버스의 운영 현황을 분석하였다. 정류장의 위치, 탑승객의 승하차 지점을 실측하였으며, 측정된 좌표를 시물레이션에 적용하여 시간, 거리를 반영한 비용을 산출하여 분석하였다. 기존 연구에서는 수요응답형 교통체계의 운영 효과를 평가하는 방법으로써, 대기 시간, 통행 시간 등의 지표를 활용하여, 경제성, 안전성, 환경성을 평가하였다. 특히, 기존 연구에서 제시한 통행 시간 지표를 고려하여 도시형 버스의 운영 현황을 평가했으며, 각 노선별 경로에 대한 분석을 수행하고 시사점을 제시하였다.

표 1. 수요응답형 교통체계 운영 방식

Table 1. Operation type for demand responsive transit

		Spatial variability of demand	
		Small	Large
Time variability of demand	Small	Fixed type (Shuttle, Route)	Semi-dynamic type
	Large	Flexible fixed type (Out-of-route, Adapted route)	Dynamic type (Route-based, Area-based, Unconstrained)

본 연구의 결과는 지역 이용객의 실제 운영 현황을 고려하여 경로 선정을 하는 기초 연구에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

II. 기존 연구 및 사례 고찰

본 장에서는 수요응답형 교통체계와 관련하여 경로 선택, 효과 평가 등의 내용을 중심으로 기존 연구를 고찰하였다.

Liu and Ceder[6]는 중국의 30개 도시를 대상으로 수요응답형 교통체계의 운영 또는 계획을 위한 대중 교통의 변화를 분석하였다. 수요응답형 교통체계의 시공간적 분포에 대한 조사를 수행하였으며, 수요 및 네트워크를 고려한 경로 설정, 요금 설계 등을 고려하여 운영 계획을 수립하였다. 분석 결과로써, 수요응답형 교통체계의 운영을 위한 방법을 제시하였다. 수요응답형 교통체계의 경로 선정을 위한 목적으로 수행된 연구에서는 차량 배차 간격, 운영 스케줄 등의 변수를 고려했으며, 대규모 여행 수요 데이터 처리 및 분석, 계층적 클러스터링 기반의 경로를 구분하고, 네트워크 설계를 위한 경로 선택 모델을 제안하였다[7]. 또한, 버스 노선과 승객 배정 등의 제약 조건을 고려하여 대중 교통의 용량을 활용한 연구에서는 분기 절단법(Branch-and-Cut) 알고리즘, 유전자(Genetic) 알고리즘, Tabu Search(TS) 알고리즘을 활용하여 모델의 효과를 입증하였다[8].

수요응답형 교통체계의 효과를 평가하는 방법으로써, 설문

조사를 통해 수요응답형 교통체계에 대한 고객 만족도를 조사하여 분석한 연구가 있다. 순서형 로짓 모형을 활용하였으며, 수요응답형 교통체계를 이용하는 이용자의 만족도를 결정하는 요인(대기 시간, 접근성 등)을 제시하였다.[9] 특히, 평가 항목을 통해 수요응답형 교통체계의 운영에 대한 적절성을 판단한 주요 연구는 다음과 같다. Zheng 등[10]은 ‘Door to Door’ 서비스의 대안으로써, 수요응답형 서비스를 제안했으며, 서비스 단위를 기반으로 서비스 품질과 효율성을 보장할 수 있도록 연구를 수행하였다. 연구에서 제안한 수단은 ‘Door to Door’보다 우수한 성능(탑승객:40.37%, 운전자:35.79%)을 나타내었고, 시간-공간적으로 승객의 호출이 집중된 상황에서 적합하다는 결론을 제시하였다. 또한, 연구에서 제안한 군집화 방법은 기존의 클러스터링 방법보다 발전된 성능(8%)을 나타냈으며, 라우팅 알고리즘은 1.5배 더 효율적인 것으로 분석하였다. Lyu 등[11]은 기점 구역과 종점 구역 사이에서는 정차하지 않거나 적은 수의 정류장에만 정차함으로써 급행처럼 빠른 서비스를 제공할 수 있다는 결론을 제시하였다. Amirgholy and Gonzales[12]는 효율적인 수요응답형 교통체계의 운영을 위해 운영자 비용 모델(Agency Operating Cost Model)과 사용자 비용 모델(User Cost Model)을 활용하였다. 분석 결과, 운영 용량, 수요응답형 교통체계를 이용하는 사용자 수, 수요응답형 교통체계 서비스를 이용하기 위한 요청 시간의 분배가 모델의 중요 요인으로 작용하였다. 또한, 수요응답형 교통체계가 운영되는 철두 시간 동안의 수요를 최적화하여 관리하고, 수요응답형 교통체계에 소비되는 전체 비용의 감소를 위한 전략을 제시하였다. Kagho 등[13]은 수요응답형 교통체계의 운영이 통행패턴에 미치는 영향을 분석하였으며, 에이전트 기반의 모델을 활용하였다. 차량 규모, 차량 점유율 및 비용 정책에 중점을 두고 시뮬레이션한 결과, 소득 수준이 낮은 주민들의 선호도와 이용률이 높은 것으로 나타났으며, 공공성 측면에서 수요응답형 교통체계의 활용 효과가 높게 나타나지만, 전체 주행거리는 증가할 수 있다는 결론을 제시하였다. 또한, Moon 등[14]은 대중교통과 승용차가 이동하는 통행시간의 차이를 이용하여 O/D를 평가했으며, 비용과 편익을 도출하였다. 결과적으로 편익을 최대화하여 운영하는 방법이 수요응답형 교통체계를 이용하는 이용객의 승객을 증가시키는데 적합하다는 결론을 제시하였다. 또한, Dytckov 등[15]은 수요응답형 교통체계가 기존에 운영되고 있는 고정형 노선 버스를 대체할 수 있는지 여부를 검토하였다. 시뮬레이션을 활용하였으며, 고정형 노선 버스를 운행하는 것보다 수요응답형 교통체계를 운영하는 것이 효과적이며, CO₂ 배출량이 감소한다는 결론을 제시하였다.

수요응답형 교통체계를 운행하는 해외 사례를 고찰하면, 스페인(바르셀로나, 마드리드)은 ‘elMeuBus’, ‘SierraCar’를 운영 중에 있다. 대중교통(시내버스-지하철)을 연계하거나, 산악 지역과 도심지의 접근성을 향상시키는 목적을 가지고

있으며, 다이내믹형과 고정형의 형태로 운영 중에 있는 것으로 파악되었다. 프랑스(파리)에서는 공항 근무자들의 출퇴근 교통수단의 역할로써 수요응답형 교통체계(‘Fileo’)를 운영하고 있으며, 고정형 노선으로 운행하고 있다. 미국(뉴욕)에서는 ‘Super Shuttle’ 등을 운영하고 있으며, 공항에서 호텔을 연결해주는 Ride-Pooling 서비스를 제공하고 있다. One to many의 대표적인 형태로써, 준다이내믹형의 방식으로 운영된다. 캐나다에서는 야간 근무자의 이동권을 개선하기 위한 목적으로 운영하고 있다. 통행량이 많은 특정 시간을 대상으로 탄력적으로 운영하며, 준다이내믹형으로 노선을 운행하는 것으로 검토되었다.

III. 도시 현황 및 분석 개요

본 연구에서는 경상남도(양산)에서 운행하고 있는 도시형 버스를 대상으로 단축 경로에 대한 시뮬레이션과 도시형 버스를 호출하는 상황에서의 관측치에 대한 차이를 분석하였다. 분석 대상 구간에서 운영하고 있는 도시형 버스에 대한 현황 정보[16]를 이용하여, 본 연구에서도 전체 노선 중 도시형 버스 5번과 도시형 버스 6번을 대상으로 선정하였다. 모바일 장치의 어플리케이션을 이용하여 도시형 버스를 호출하는 방법을 선택하였으며, 출발지와 도착지를 선택하여 도시형 버스를 이용하는 방식을 선택하였다. 그림 1에는 도시형 버스를 호출할 수 있는 화면을 제시하였다.

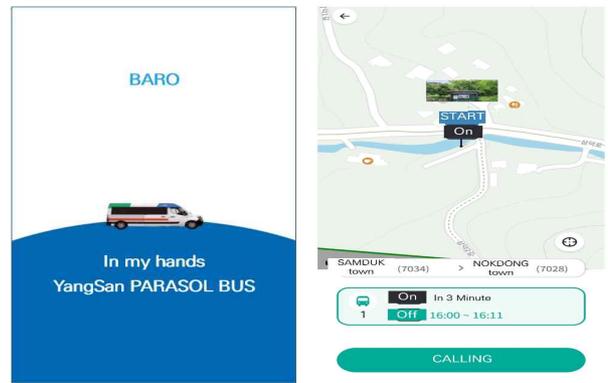


그림 1. 도시형 버스 호출 화면
Fig. 1. The pictures for urban city bus calling-app

도시형 버스를 이용하는 이용객에 대한 승차차 조사는 2주간 수행하였으며, 조사 항목은 이용객이 버스를 호출한 시각, 차량이 호출 장소에 도착한 시각, 승객이 버스에서 하차한 시각으로 구성했으며, 이용객의 대기 시간과 이동 시간을 추가적으로 조사하였다. 단, 어플리케이션을 제외한 방법으로 호출한 경우나, 어플리케이션을 활용하더라도 호출이 취소된 경우에는 분석 대상에서 제외하였다. 또한, 수요응답형 교통체제로 운영되는 경우, 고정된 노선의 이용보다는 탄력적으로

노선이 운영되므로, 도시형 버스의 정류장의 수와 차이는 발생할 수 있다. 그림 2에는 버스 노선(5번, 6번)을 구분하여 승차 및 하차 정류장의 위치를 지도에 표시하였다.

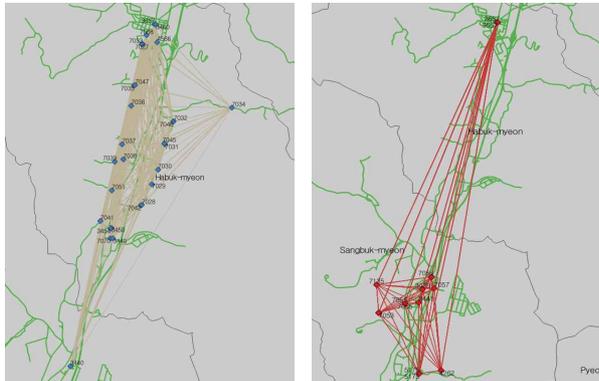


그림 2. 버스 승하차장 O-D 현황 (좌: 버스 5번, 우: 버스 6번)
 Fig. 2. O-D pair for bus stop (Left: Number 5, Right: Number 6)

도시형 버스를 이용한 이용객의 버스 승차 지점, 하차 지점을 조사하고, 대상 경로를 이용한 시간과 차량의 대기 시간을 산출하였다. 이용객의 승차 지점과 하차 지점의 좌표에 기준하여, 지리 정보 프로그램을 이용한 최단 거리를 분석하였다. 최단 거리 분석은 거리, 시간으로 구분하여 산출했으며, 정류장에서 도로망까지의 비용(Entry Cost), 도로망에서의 비용(Network Cost), 도로망에서 종점까지의 비용(Exit Cost), 전체 비용을 구분하고, 노선별 각각의 정류장을 기준으로 비용을 산출하였다. 도시형 버스의 승하차 지점은 세계 지구좌표시스템(World Geodetic System 84, WGS84)의 형태로 수집되었으므로, 노드 링크의 정합을 위해 직각 좌표계(European Petroleum Survey Group(ESPG):5179)로 좌표를 변환하였으며, 최단 경로를 이용하는데 소요되는 시간과 비용을 산출하였다.

차량의 속도, 속도 제어는 이동 시간에 많은 영향을 미치며, 노선 버스의 경우에는 경로 선택 또는 운영 노선에 영향을 미친다[17],[18]. 이러한 점을 고려하여 도로 등급에 따른 속도를 차별하였다. 노드, 링크는 국가교통 DB에서 제공하는 네트워크를 사용하였으며, 주행하는 도로의 등급에서 비혼잡 상태인 경우의 평균적인 속도를 의미하는 자유통행속도를 적용하였다. 일반국도 62.8 km/h, 국지도 52.6 km/h, 지방도 50.8 km/h, 시군도 41.4 km/h의 자유통행속도가 적용될 수 있도록 설정하였다.

IV. 분석 결과

도시형 버스 5번과 6번을 이용한 평균 이용객, 전체 호출 횟수, 하루 평균 횟수를 정리하여 표 2에 제시하였다.

표 2. 도시형 버스 호출 및 운영 분석 현황

Table 2. The arrangement for calling and bus operation status

Item	Number 5	Number 6	Total	
Average passenger	1.06	1.06	1.06	
Total calling number	66	79	145	
Calling per day	Average	13.2	15.8	20.7
	Max.	29	37	37
	Min.	5	6	13

차량이 도착하는 시각에서 앱을 이용하여 차량을 호출한 시간에 대한 차이는 평균 11분 52초(5번), 10분 55초(6번)으로 나타났다. 또한, 버스의 하차 시각에서 도착 시각을 제외한 시간을 이동 시간으로 산출하면, 평균적으로 7분 56초(5번), 5분 42초(6번)의 이동 시간이 필요한 것으로 나타났다. 프로그램을 통해 이동한 거리를 분석하면 각 정류장간 최단 경로 탐색을 이용한 주행 거리(km)를 분석하였다. 표 3과 표 4에는 노선별 출발 지점에서 도착하는 지역에 따른 최단 거리가 계산된 결과를 제시하였다.

표 3. 목적지까지의 최단(거리, 시간) 경로 분석 결과(버스 5)

Table 3. The result for shortest path (time, distance) analysis to the destination (Bus 5)

Destination number	Shortest path (Distance)			Shortest path (Time)		
	Network	Exit	Total	Network	Exit	Total
7029	4045.4	3.0	4062.8	2912.7	2.2	2925.2
3449	3987.2	13.1	4014.6	2870.8	9.4	2890.5
7070	463.2	1.3	478.9	333.5	0.9	344.8
7028	0.7	12.3	27.3	0.5	8.8	19.7
7042	3714.3	1.3	3729.9	2674.3	0.9	2685.6
7027	5347.6	10.0	5372.0	3850.3	7.2	3867.8
7033	3322.7	7.9	3344.9	2392.3	5.7	2408.4
7041	3961.7	6.8	3982.8	2852.4	4.9	2867.6
7034	5622.7	8.7	5645.8	4048.4	6.3	4065.0
7036	927.7	7.8	949.9	667.9	5.6	683.9
7037	2336.7	6.5	2357.6	1682.4	4.7	1697.5
3440	3414.5	6.6	3435.5	2458.4	4.8	2473.5
7031	1821.7	6.8	1842.9	1311.7	4.9	1326.9
7045	4960.3	5.0	4979.6	3571.4	3.6	3585.3
7068	4543.0	8.2	4565.6	3271.0	5.9	3287.2
3460	5552.8	10.3	5577.5	3998.0	7.4	4015.8
3450	472.8	6.2	493.4	340.5	4.5	355.3
3454	2793.0	6.6	2813.9	2011.0	4.7	2026.0
7032	5299.3	17.3	5331.0	3815.5	12.5	3838.3
7046	3428.5	17.5	3460.4	2468.5	12.6	2491.5
7030	2800.1	6.6	2821.1	2016.1	4.7	2031.2
3657	4948.0	5.5	4967.9	3562.6	4.0	3576.9
4566	920.6	8.7	943.7	662.9	6.2	679.4
7035	1798.8	8.5	1821.7	1295.2	6.1	1311.6
7047	5302.1	4.4	5320.9	3817.5	3.2	3831.0
7039	4347.8	6.0	4368.2	3130.4	4.3	3145.1
7038	8835.3	6.9	8856.6	6361.4	5.0	6376.8

표 4. 목적지까지의 최단(거리, 시간) 경로 분석 결과(버스 6)
Table 4. The result for shortest path (time, distance) analysis to the destination (Bus 6)

Destination number	Shortest path (Distance)			Shortest path (Time)		
	Network	Exit	Total	Network	Exit	Total
7068	4188.3	114.1	4313.0	348.3	82.2	438.1
7062	481.1	6.2	497.9	41.8	4.5	54.0
7056	4188.3	114.1	4313.0	348.3	82.2	438.1
3439	3015.9	487.0	3513.6	240.9	350.7	599.2
7149	3015.9	487.0	3513.6	240.9	350.7	599.2
7028	8820.6	22.2	8853.5	550.7	16.0	574.3
7034	8824.3	14.4	8849.2	551.0	10.4	569.0
7039	8824.3	14.4	8849.2	551.0	10.4	569.0
7054	618.6	7.0	636.1	53.8	5.0	66.4
7065	3612.0	15.9	3638.5	298.2	11.5	317.2
3441	2458.2	7.2	2476.1	206.8	5.2	219.7
7060	3203.7	241.9	3456.2	255.7	174.1	437.5
7059	2460.9	4.2	2475.7	207.1	3.0	217.7
7057	942.2	7.2	960.0	81.9	5.2	94.8
7064	3581.1	12.5	3604.2	295.5	9.0	312.1
7135	3203.7	241.9	3456.2	255.7	174.1	437.5

노선별 정류장을 출발지와 목적지로 설정하여 최단 경로를 분석하였으며, 정류장에서 출발하여 노선별 정류장을 목적지로 설정하여 분석하였다. Entry Cost는 14.4(거리), 10.4(시간)로 나타났으며, Network Cost의 평균은 3517.4(거리), 2532.5(시간)로 분석되었다. 6번 버스의 경우, Entry Cost는 10.6(거리), 7.6(시간)이며, Network Cost의 평균은 3739.5(거리), 2692.4(시간)로 분석되었다. 최적 경로를 이용하여 산출한 예상 시간과 실제 수집한 차량을 이용하면서 측정된 시간을 비교하였다. 최적 경로 알고리즘에서 출발지에서 승차 정류장(Entry Cost) 및 하차 정류장에서 도착지로 이동하는 시간(Exit Cost)은 제외하였으며, 실제 차량에서도 대기 시간을 제외하고 이동 시간만을 비교하였다. 각 이동 시간에 대해 비교한 결과를 표 5에 제시하였다.

버스 5번, 6번을 기준으로 정류장간 이동 시간에 따른 차이는 평균적으로 304.3초(버스 5), 360.1초(버스 6)로 분석되었다. 또한, 버스 5번의 이동 시간은 최소 51.7초, 최대 626초, 버스 6번의 이동 시간은 최소 37.7초, 최대 885.1초로 나타났다. 이동 시간의 차이가 발생하는 이유는 이론상에서는 도로망의 속도를 기준으로 일괄적으로 계산되어 고정형 경로에 대한 최소 시간과 거리를 산출하지만, 도시형 버스는 이용자의 호출 위치 및 시간에 따라 이동 경로가 다양하게 변경되어 이동하므로, 이동 상황에 따른 주행 속도와 교통 상태가 영향을 받는다.

표 5. 노선별 예측 시간 및 이동 시간 비교 결과(버스 5, 버스 6)
Table 5. The result for comparison with predicted time and real travel time (Bus 5, Bus 6)

Bus 5			Bus 6		
Bus stop (Ride on)	The number of bus stop (Ride off)	Time differences	Bus stop (Ride on)	The number of bus stop (Ride off)	Time differences
3450	2	432.1	3439	4	100.4
4566	2	626.0	3441	1	234.0
7027	2	258.0	3657	7	37.7
7028	1	484.7	4262	6	885.1
7029	1	59.7	5175	2	663.2
7030	6	503.6	7053	5	357.4
7031	1	153.0	7055	3	205.5
7032	2	375.7	7056	11	230.5
7033	1	596.9	7057	5	607.1
7034	4	197.6	7135	8	280.4
7035	3	505.1	-	-	-
7036	1	179.3	-	-	-
7038	1	88.1	-	-	-
7039	4	144.9	-	-	-
7041	1	263.7	-	-	-
7042	1	390.2	-	-	-
7045	1	51.7	-	-	-
7068	2	272.7	-	-	-
7070	4	199.4	-	-	-
Average		304.3	Average		360.1

또한, 농촌 지역 특성의 버스 경로의 굴곡도가 영향을 미칠 수 있으며, 급격한 회전 구간이나 도로의 경사도가 심한 구간에서는 같은 거리에서도 속도가 줄어들어 상대적인 이동 시간이 높게 나타난다. 삼덕마을(7034) 등의 정류장은 상대적으로 고지대에 위치하여 속도의 편차가 크게 나타날 수 있으며, 관광지와 인접한 내원사 입구(3449) 등은 도로변 주정차 차량의 영향으로 인한 속도의 차이가 발생하는 지역으로 분석된다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 농촌 지역에서 운행하는 도시형 버스를 대상으로 이용 현황에 대한 현장 조사를 수행하고, 시뮬레이션을 이용하여 이동 시간 및 거리가 최소화되는 값을 도출하고 비교하였다. 실제 이동 경로와 시뮬레이션을 이용한 이동 경로에 대한 값을 비교한 결과, 평균 304.3초(노선 5), 평균 360.1초(노선 6)의 차이가 나타나는 것으로 분석되었다. 노선의 굴곡도, 차량의 평균 주행 속도 등의 영향으로 운영 시

간에 대한 차이로 발생하는 것으로 분석된다.

본 연구에서 도출한 연구 결과를 발전시키기 위한 향후 연구과제는 다음과 같다. 본 연구에서는 수요응답형 교통체계로 운영되는 도시형 버스를 대상으로 이동 시간에 대한 연구를 수행하였다. 연구에는 2대의 도시형 버스 노선을 사용했으나, 추가적인 데이터를 수집하여(호출 및 운영 현황, 이용 노선, 이용자 등) 연구 결과에 대한 보편성을 확보할 수 있어야 한다. 또한, 도로 등급(간선 도로, 일반 도로 등)을 구분하여 통행 속도를 설정하고, 시뮬레이션에 반영하여 통행 시간을 산출하였다. 그러나, 차량이 주행한 노선의 개별 링크 단위의 소통 정보를 반영하지 않고, 도로 등급에 따른 링크별 속도를 일률적으로 적용한 한계가 있다. 따라서, 노선의 개별 링크의 실제 평균 속도, 교통량 정보를 이용하여 실제 이동한 노선과의 비교검토를 수행해야 한다. 마지막으로, 출발지에서 목적지로 이동하는 상황에서, 통행 배정이 1개인 경우에 대한 분석을 수행하였다. 수요응답형 교통체계에서는 이동 중에 발생하는 호출 상황 등으로 인해 다중 경로가 발생할 수 있으므로, 거리 또는 시간의 비용을 최소화하거나, 통행시간가치 등이 고려된 경로를 탐색해야 한다.

본 연구의 결과는 도시형 버스의 활성화를 위한 교통 운영 전략 수립 연구에 활용될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 연구비 지원(“수요대응 대중교통(DRT) 효과평가 지표 및 분석방법 개발”)에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, *A Development Planning and Technology for Customized Targeting MaaS Model*, 2020.
- [2] Korea Transport Institute, *Impact Analysis of Implementing the Demand Responsive Transit System in Metropolitan Areas*, 2022.
- [3] K. M. Johnson and D. T. Lichter, “Rural Depopulation: Growth and Decline Processes over the Past Century,” *Rural Sociology*, Vol. 84, No. 1, pp. 3-27, March 2019. <https://doi.org/10.1111/ruso.12266>
- [4] C. Mulley, “MaaS in a Regional and Rural Setting: Recent Experience,” *Transport Policy*, Vol. 133, pp. 75-85, March 2023. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.01.014>
- [5] D. A. Hensher, “Mobility as a Service (MaaS) – Going Somewhere or Nowhere?,” *Transport Policy*, Vol. 111, pp. 153-156, September 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.07.021>
- [6] T. Liu and A. Ceder, “Analysis of a New Public-Transport-Service Concept: Customized Bus in China,” *Transport Policy*, Vol. 39, pp. 63-76, April 2015. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.02.004>
- [7] J. Ma, Y. Yang, W. Guan, F. Wang, T. Liu, W. Tu, and C. Song, “Large-Scale Demand Driven Design of a Customized Bus Network: A Methodological Framework and Beijing Case Study,” *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 2017, 3865701, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/3865701>
- [8] R. Guo, W. Gaun, W. Zhang, F. Meng, and Z. Zhang, “Customized Bus Routing Problem with Time Window Restrictions: Model and Case Study,” *Transportmetrica A: Transport Science*, Vol. 15, No. 2, pp. 1804-1824, 2019. <https://doi.org/10.1080/23249935.2019.1644566>
- [9] N. Avermann and J. Schlüter, “Determinants of Customer Satisfaction with a True Door-to-Door DRT Service in Rural Germany,” *Research in Transportation Business & Management*, Vol. 32, September 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2019.100420>
- [10] H. Zheng, J. Chen, X. Zhang, and Z. Yang, “Designing a New Shuttle Service to Meet Large-Scale Instantaneous Peak Demands for Passenger Transportation in a Metropolitan Context: A Green, Low-Cost Mass Transport Option,” *Sustainability*, Vol. 11, No. 18, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11185025>
- [11] Y. Lyu, C. Chow, V. C. S. Lee, J. K. Y. Ng, Y. Li, and J. Zheng, “CB-Planner: A Bus Line Planning Framework for Customized Bus Systems,” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 101, pp. 233-253, April 2019. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.02.006>
- [12] M. Amirgholy and E. J. Gonzales, “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, October 2016. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.11.006>
- [13] G. O. Kagho, D. Hensle, M. Balac, J. Freedman, R. Twumasi-Boakye, A. Broaddus, ... & K. W. Axhausen, “Demand Responsive Transit Simulation of Wayne County, Michigan,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2675, No. 12, pp. 702-716, 2021. <https://doi.org/10.1177/036119812111031221>
- [14] S. Moon, D. Kim, S. Kho, and S. Cho, “Performance Measurement and Determination of Introduction Criteria for Peak Demand Responsive Transit Service,” *Journal of*

Korean Society of Transportation, Vol. 39, No. 1, pp. 100-114, February 2021. <https://doi.org/10.7470/jkst.2021.39.1.100>

- [15] S. Dytckov, F. Lorig, J. Holmgren, P. Davidsson, and J. A. Persson, "An Individual-based Simulation Approach to Demand Responsive Transport," in *Intelligent Transport Systems, from Research and Development to the Market Uptake*, pp. 72-89, 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-03-0-71454-3_5
- [16] J. Park, J. Lee, and C. Roh, "Recommendations for Linkage Service and Operational Strategy to Revitalize Urban-Style Buses in Rural Areas: A Case Study of Yangsan City," *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 24, No. 12, pp. 3213-3220, 2023. <https://doi.org/10.9728/dcs.2023.24.12.3213>
- [17] P. Liu, L. Zheng, and N. Zheng, "Bi-Objective Robust Nonlinear Decision Approach for En-Route Bus Speed Control Considering Implementation Errors and Traffic Uncertainties," *Transportation Research Part C*, Vol. 169, December 2024. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104870>
- [18] J. Argote-Cabanero, C. F. Daganzo, and J. W. Lynn, "Dynamic Control of Complex Transit Systems," *Transportation Research Part B*, Vol. 81, pp. 146-160, November 2015. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.09.003>



박재홍 (Jaehong Park)

2021년 : 한양대학교 교통물류공학 박사
2011년 : 한양대학교 교통공학 석사
2009년 : 한양대학교 교통시스템공학
학사

2011년~현 재: 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 수석
연구원

※ 관심분야 : 도로안전, 도로관리



노창균 (Chang-Gyun Roh)

2012년 : 연세대학교 정보산업도시공학
과 박사
2008년 : 연세대학교 도시공학과 석사
2006년 : 홍익대학교 도시공학 학사

2014년~현 재: 한국건설기술연구원 기획조정본부 연구위원
※ 관심분야 : 교통류, 모빌리티 서비스, 자율주행 지원 인프라