

수요응답형 버스 운영에 따른 농촌 지역 도로교통소음 및 소음노출인구 변화에 대한 평가

Evaluation of Road Traffic Noise and Noise-exposed Population Change due to Demand Responsive Transit Bus in Rural Area

이 재 관[†] · 유 지 수* · 노 창 균** · 박 재 홍**

Jae Kwan Lee[†], Jisu Yoo*, Chang-Gyun Roh** and Jaehong Park**

(Received November 20, 2023 ; Revised December 21, 2023 ; Accepted December 21, 2023)

Key Words : Public Transport(대중교통), Semi-flexible Route(반유연 경로), Urban Bus(도시형버스)

ABSTRACT

Demand responsive transit (DRT) services, which are being introduced in rural areas because of the aging and continuous decline of the population, are anticipated to yield economic and environmental benefits through efficient bus operations. This study investigated the road traffic noise resulting from the altered routes of the DRT bus service that is in operation in Sangbuk-myeon, Yangsan-si. Before predicting the noise generated by the DRT bus service, the road traffic noise was measured and origin-destination data of the DRT buses in study area were collected. The road traffic noise was predicted along five bus routes and compared with the anticipated noise levels for conventional bus routes to analyze the areas and populations benefiting from noise reduction effects. Depending on the route setting of the bus, a noise reduction of up to 3.3 dB(A) was confirmed at the measurement point. Additionally, 4.6 % of Sangbuk-myeon residents experienced noise reduction effects in the range of 1 dB(A) ~ 3 dB(A). Based on these research results, it is expected that environmental quality and community welfare can be improved through the strategic planning and operation of DRT services in rural areas.

1. 서 론

국내 농어촌 지역은 인구 고령화와 지속적인 인구 감소로 인해 대중교통의 수요 감소와 재정적 어려움을 겪고 있다. 하지만 대중교통은 고령 인구를 위해 유지되어야 하기 때문에 기존 대중교통 폐지 후 새로

운 수단을 도입해 대체하는 지자체의 수가 늘고 있다. 새로 도입되는 수단들은 복지교통의 수단으로 활용되고 있는데 그 중 하나로 DRT(demand responsive transit)가 도입되고 있다⁽¹⁾. DRT란 정해진 시간, 경로로 운영하는 기존의 버스와 달리 수요가 발생하면 수요가 발생한 위치와 해당 승객의 목적지에 대해 운영하는 대중교통 서비스를 말한다. DRT 방식으로 운영되는

[†] Corresponding Author ; Member, Korea Institute of Civil Engineering and Buiding Technology, Postdoctoral Researcher
E-mail : jklee645@kict.re.kr

* Member, University of Seoul, Ph.D. Candidate

** Korea Institute of Civil Engineering and Buiding Technology, Reseach Fellow

‡ Recommended by Editor Jiyoung Hong
© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

버스는 운행의 효율화를 위해 가변적 경로 혹은 정해진 경로가 없이 최단거리로 운행한다⁽²⁾. 효율적인 버스 통행경로의 설정은 불필요한 버스 운행을 줄여 경제, 환경적 이익을 가져오기도 한다⁽³⁻⁶⁾. 특히 교통량이 적은 농어촌 지역에서는 불필요한 버스의 통행을 줄임으로 소음 감소 효과가 예상되기도 하며⁽⁶⁾ 농촌 지역의 소음 저감으로 얻어지는 경제적 이익⁽⁷⁾에 대해서도 예상할 수 있다.

이번 연구에서는 버스의 수요 발생 시나리오에 따라 버스 경로를 설정하고 경로 변화에 따른 도로교통 소음 변화를 예측해보려고 한다. 연구는 경상북도 양산시의 DRT 서비스인 도시형버스와 양산시 상북면 일대이다. 대상 도시형버스는 승객들이 운전기사와의 전화 통화로 출발지, 목적지를 직접 예약하고 예약된 시간에 운전기사가 자율적으로 설정한 경로를 운행한다. 이번 연구에서는 수요 발생 위치에 따라 발생 가능한 다양한 경로설정 시나리오 중 대표적인 5개의 경로를 도출하고, 각 시나리오에 따른 소음 예측을 수행했다. 각 시나리오에 따른 소음 예측 결과와 일반 노선형 버스 유지 시 예측되는 소음도를 비교하여 수요응답형 버스의 소음 환경적 이익에 대해 평가했다. 또한 수요응답형 버스의 운행으로 인해 소음 저감 효과를 얻는 인구에 대한 분석을 수행했다.

2. 연구 방법

2.1 소음 현황 조사

Fig. 1은 이번 연구에서 대상으로 삼은 도시형버스의 사진이다. 도시형버스는 전장 7 m, 전폭 2 m, 중량 약 4.5 t의 준중형 버스를 이용하여 DRT 서비스를 제공하고 있다. 그리고 도시형버스는 Fig. 2와 같이 경상북도 양산시 상북면의 중심에서 3개의 지역으로 뻗어나가는 형태로 운행하고 있다. 상북면의 중심부는 거주 및 상업지역이며 도시형버스는 중심부 주변 소규모 농촌 마을로 운행하고 있다. 도시형버스는 왕복 2차선 도로를 위주로 운행하며, 일부 구간에서는 왕복 6차선인 양산대로를 통과한다. 도시형버스가 통행하는 도로 이외에 상북면에는 경부 고속도로가 통과하며 해당 구간의 일평균 교통량은 약 72 000대이다⁽⁸⁾.

현행 도시형버스 노선을 중심으로 8개의 지점에서 소음 측정을 수행했다. 측정 지점은 Fig. 2와 같이 현행 버스 노선 주변 지역으로 설정했다. 도시형버스가

통과하는 경로상의 도로들을 교통량 변화가 발생할 수 있는 큰 교차로 등을 기준으로 구분 하고 구분된 개별 도로들의 중간에 소음 측정과 교통량 수집 위한 지점을 선정했다. 도로교통소음의 측정은 2023년 8월에 수행했다. 소음 측정은 Class 1을 만족하는 소음계(NL-52, RION)를 이용했으며⁽⁹⁾ 소음·진동 공정시험 기준을 준용하여⁽¹⁰⁾ 측정 대상 도로와 가장 가까운 건물 등의 부지경계선 1.5 m 높이에서 측정했다. 측정 시간은 1시간 이상 수행 하였으나 일부 지점에서 충분한 교통량이 수집될 경우 10분 이상 측정했다⁽¹⁰⁾. 그리고 일부 지점에서는 현장 여건상 도로끝단의 1.5 m 높이에서 측정을 수행했다⁽¹¹⁾. 측정 당시 주변 도로의



Fig. 1 Urban bus for DRT service

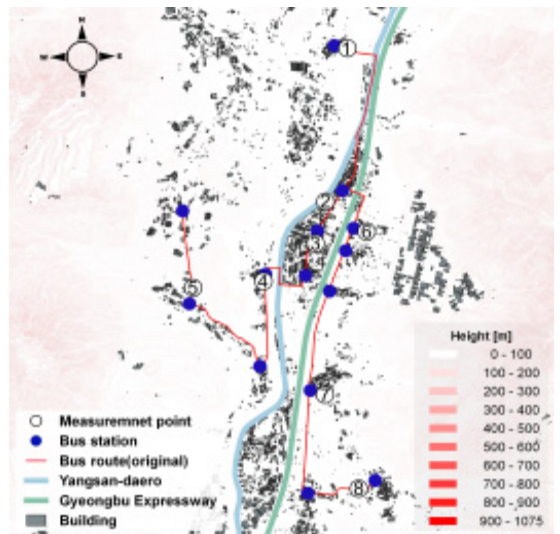


Fig. 2 Bus route and measurement points in the study area

교통량을 같이 수집했다. 다만 경부고속도로로 인해 배경소음이 높아 측정소음도는 도시형버스가 통과하는 도로에서만 발생하는 소음보다 과대평가되었을 가능성이 있다. 연구 지역에서 수집된 측정소음도와 교통량은 DRT 운행 시나리오에 따른 소음 예측을 위한 3차원 소음 예측 모형을 작성하고 검증하는데 활용되었다.

2.2 DRT 운행 시나리오

도시형버스는 고정된 노선의 운행이 아닌 탑승객의 승하차 위치에 따른 운전기사의 판단으로 자율적인 경로로 운행된다. 이번 연구에서는 예상 가능한 경로 중에서 대표적인 경로 5가지를 선택해 Fig. 3과 같이 소음 변화를 예측했다. 이를 위해 도시형버스의 운행 방식과 승객들의 이용 패턴을 수집하여 분석했다. 승객들의 도시형버스 이용현황은 2023년 10월에 약 2주간 탑승객의 출발지(O, origin) 및 목적지(D, destination), 버스 운행 시간 등을 수기로 조사하여

분석했다. 시간당 운행 횟수를 분석해보면 도시형버스는 현재 시간당 1회 운행하는 것으로 계획이 수립되어있지만 탑승객의 수요에 따라 시간당 3회 이상 운행하기도 한다. 수요가 없는 시간의 경우 운행하지 않으며 지정된 장소에서 대기한다. O/D 조사 기간 동안 시간당 최대 운행횟수는 3회였다. 이번 연구에서 수요가 발생하지 않는 경우는 소음 예측에서 제외하였다.

O/D 조사 결과를 반영한 DRT 운행 시나리오별 버스 운행 경로는 Fig. 3(B)~Fig. 3(F)와 같다. 기존 연구에 제시된 실제 버스의 주행기록에 따르면 기존 버스 경로가 아닌 도로를 이용하며 경로를 단축하기도 한다^(12,13). 버스의 실제 주행 경로를 기록한 DTG (digital tacho graph) 데이터⁽¹³⁾, O/D 조사기간 동안 수집된 결과를 반영하여 semi-flexible 방식의⁽¹¹⁾ 운행 경로 5개를 도출했다. Semi-flexible 방식은 고정적인 수요가 있는 구간과 아닌 구간이 혼합된 지역에 유리

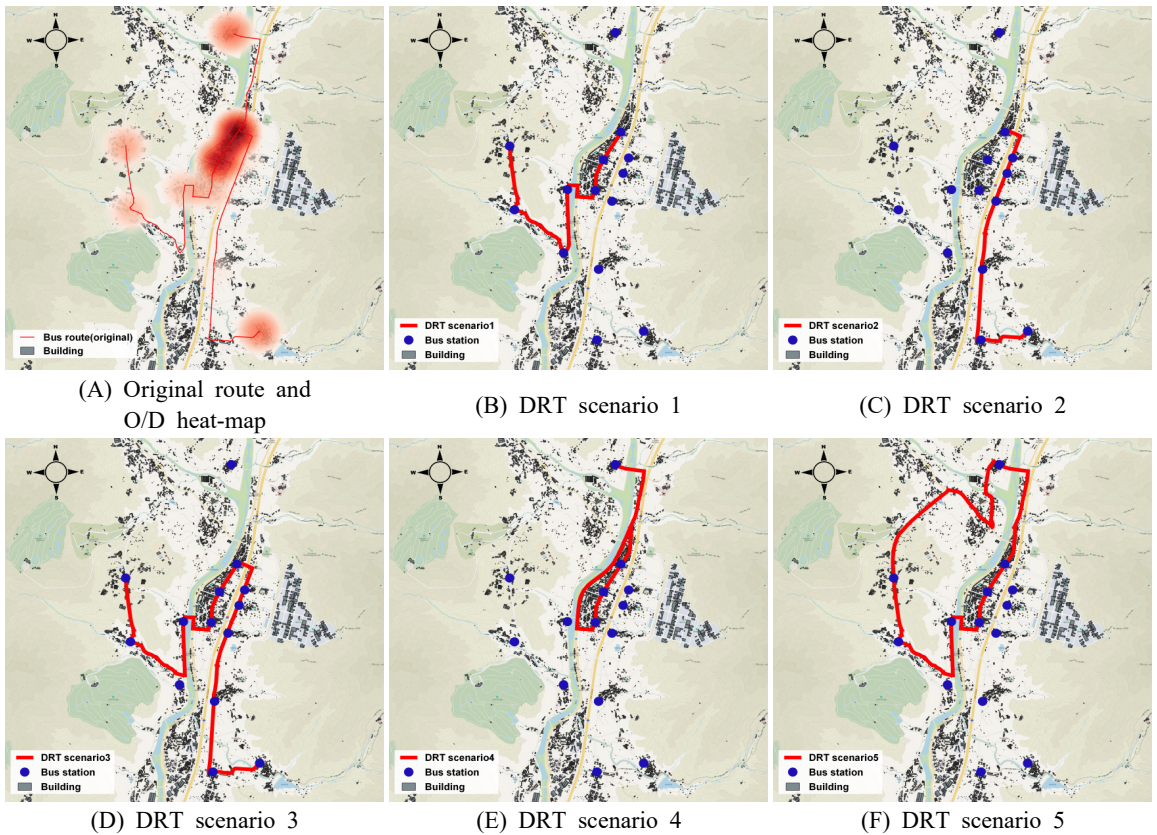


Fig. 3 O/D trip distribution and bus routes for each of the five DRT scenarios

한 방식으로, 고정된 노선의 일부분을 가변적으로 변경하는 방식을 말한다⁽¹¹⁾. 상북면의 경우 Fig. 3(A)에서 확인할 수 있듯이 상북면 중심지로의 통행이 고정적으로 발생되기 때문에 중심지역과 그 외 지역의 비교정적 통행을 연결하기에 유리한 semi-flexible 방식으로 버스가 운영하는 것으로 가정하고 경로를 설정했다. 해당 방식으로 도출된 경로는 현재의 노선에서 수요가 발생하는 위치에만 대응하도록 일부 구간만 운행하거나 노선 이외의 도로를 운행하기도 한다.

2.3 소음예측

도시형버스가 운행하는 지역의 3차원 소음 예측 모델을 작성하여 DRT 시나리오별 소음도 변화를 평가하였고, 연구 지역의 소음지도를 작성하여 Fig. 2의 각 측정 지점에 대한 소음 변화를 분석했다. 3차원 소음 예측 모델의 작성과 소음 예측은 실외소음 시뮬레이션 프로그램인 SoundPLAN 8.2를 활용했고 도로 교통소음 예측식으로 RLS-90을 이용했다⁽¹⁴⁾. 3차원 소음 예측 모델은 버스 노선이 통과하는 지역을 중심으로 주변 지역에 대해 지형, 건물, 도로 등을 구현하였고 환경부 고시 소음지도의 작성방법⁽¹⁵⁾을 바탕으로 작성했다. 도로는 현행 도시형버스 노선과 상북면의 중심에 위치한 양산대로, 경부고속대로를 구현하고 그 외 1차로 도로는 구현하지 않았다. 구현한 도로에 입력 교통량을 달리하여 현행 버스 노선을 유지하고 시간당 최대 버스 운행에 의한 도로교통소음과 DRT 운행 시나리오에 따른 경로와 운행 횟수 감소에 의한 도로교통소음의 예측을 수행했다.

먼저 2.1절에서 설명한 현장 조사 당시 수집한 측정소음도와 교통량을 이용해 3차원 소음 예측 모델을 검증했다. 현장 수집교통량은 1시간 단위로 환산하여 1시간 단위의 등가소음도를 계산했다. 다만 경부 고속도로의 경우 현장에서 교통량을 수집하지 못해 구간 일평균 교통량을 이용했다⁽⁸⁾. 다음으로 현장에서 수집한 교통량에 도시형버스의 시간당 최대 운행 및 계획노선 운영을 반영한 교통량을 산정하여 최대 버스 운행에 의한 도로교통소음을 예측하는데 이용했다. 최대 버스 운행 시나리오는 해당 지역에서 도시형버스 운행으로 인해 발생할 수 있는 최대의 소음도 예측을 위한 시나리오로서 기존 노선을 시간당 3회 운행하는 것으로 가정한 시나리오이다. 최대 버스 운행으로 예측되는 소음도는 DRT 시나리오에 따른 예

측 소음도와 비교하는데 이용했다. 마지막으로 5개의 시나리오별 소음 예측을 수행했다. 각 시나리오별 측정 지점 주변 도로에 입력한 교통량의 대형차 혼입률은 Table 1과 같다. 각 시나리오별 입력 교통량은 시간당 버스 최대 운행 교통량에 시나리오 경로에 따라 대형차의 수를 감가산해 계산했다. 각 시나리오의 시간당 운행횟수는 최대 운행 횟수인 3회에서 일반적인 운행 횟수인 1회 왕복 운행으로 감소한다고 가정했고 설정 경로 외 도로에는 도시형버스 교통량은 없는 것으로 가정했다. 도시형버스 외 소형차의 수는 변화가 없는 것으로 가정하고 소음 예측을 수행했다. 소음 예측은 현장 소음 측정지점에 대한 예측과 대상지역에 대한 소음지도 작성으로 수행했다.

3. 연구결과

3.1 소음 측정 및 예측 결과

8개 지점의 측정 소음도와 예측 소음도는 Table 2와 같다. 현장 소음 측정 시 수집한 교통량과 경부고속도로의 일평균 교통량을 소음 예측 모델에 입력하여 예측한 결과, 1번과 5번 지점을 제외하고 모든 지점의 예측 소음도는 측정 소음도와 차이가 3 dB(A) 이내로 검증되었다. 1번, 5번 지점은 현장 여건상 도로변에서 약 1 m 위치에서 측정 및 예측을 수행하여 예측 소음도의 정확도가 떨어지는 것으로 판단된다. 4, 6번 지점은 측정 소음도가 가장 높았던 지점으로 각각 양산대로와 경부고속도로에 의한 영향 외에 측정 당시 매미 울음소리로 인해 소음도가 다소 높게 측정되었다.

Table 1 Heavy vehicle ratio of each scenarios [%]

Site	Scenario				
	1	2	3	4	5
1	50.0	50.0	50.0	53.8	50.0
2	14.3	14.3	14.3	14.6	14.6
3	6.7	6.3	6.7	6.5	6.5
4	3.8	2.9	3.8	2.9	2.9
5	13.2	12.0	13.2	12.0	12.0
6	9.1	10.7	10.7	9.1	9.1
7	16.7	18.0	18.0	16.7	16.7
8	0.0	1.6	1.6	0.0	0.0

검증된 3차원 소음 예측 모델에 Table 1의 교통량을 적용하여 소음 예측을 수행했다. 도시형버스는 시간당 한 대의 버스로 1회 운행하는 것으로 계획되어 있지만, 수요가 몰리는 시간의 경우 시간당 한 대의 버스가 3회 운행한다. 따라서 최대 수요 시간으로 가정하여 버스 운행이 3회일 경우, 예측 소음도는 수집 교통량에의 예측 소음도 대비 최대 2.9 dB(A) 증가했다. 양산대로의 경우 현장 소음 측정 당시 수집한 교통량이 시간당 1200대 이상이기 때문에, 양산대로 주변인 2번 지점은 도시형버스 추가에 따른 소음 변화는 발생하지 않았다. 4, 5, 8번 지점은 최대 버스 운행 시 각 지점별 예측 소음도가 1 dB(A) 이상 증가하며 버스 운행에 따른 소음의 영향력이 다른 지점에 비해 큰 것으로 판단된다.

DRT 방식 버스 운영에 의한 소음 변화만 평가하기 위해 가장 큰 도로교통소음원인 경부고속대로를 제거하고 지점별 소음도를 예측했다. 그 외 버스 노선이 통과하는 도로와 양산대로는 유지했다. 시간당 최대 버스 운행에 따라 예측되는 소음도와 동일 조건에서 경부고속도로만 제거한 후 예측한 결과를 비교하면, 각 지점별로 소음도 감소가 없거나 최대 7.6 dB(A) 감소했다. 경부고속도로 제거로 인해 가장 많은 소음도 감소가 나타난 6, 7번 지점은 경부고속도로에서 100 m 이내에 위치하며 각 지점과 경부고속도로 사이에 장애물이 없기 때문에 고속도로 유무에 따른 소음변화에 민감하게 반응하는 것으로 판단된다. 그 외 경부

Table 2 Measured and predicted road traffic noise at each site [L_{eq} , dB(A)]

Site	Measured noise level	Predicted noise level		
		Collected traffic volume	Maximum bus scenario (with highway)	Maximum bus scenario (without highway)
1	57.7	63.0	63.7	61.9
2	66.7	69.0	69.0	68.9
3	62.3	65.2	65.6	64.2
4	68.8	65.8	66.8	66.6
5	63.6	69.6	71.2	71.2
6	70.5	68.1	68.3	60.7
7	62.7	64.6	65.0	61.9
8	60.2	58.3	61.2	60.7

고속도로 제거 후 1.0 dB(A) 이하로 소음 변화가 나타는 지점들은 고속도로와의 거리가 300 m 이상이며 건물, 지형 등으로 인해 고속도로 소음의 영향력이 낮기 때문에 판단된다.

3.2 DRT 시나리오별 소음예측 결과

3차원 소음 예측 모델을 이용해 DRT 운행 시나리오에 따른 소음을 예측해 비교했다. 각 시나리오별 소음 예측은 각 측정 지점에 대한 예측과 격자소음지도 작성으로 수행했다. 각 시나리오별로 측정 및 예측 지점에서 예측된 소음도는 Table 3과 같다. Table 2에 제시된 최대 버스 운행 시나리오 대비 DRT 시나리오에 의한 소음도 변화는 8번 지점에서 2.9 dB(A)로 가장 크고, 1, 4번 지점 순으로 나타났다. 그 외 지점의 경우 소음도의 변화가 0.5 dB(A) 이하로 나타났다. 기존연구⁽⁶⁾의 경우 주변이 산지로 막혀있고 시간당 교통량이 적은 지역에서는 DRT 시나리오에 따라 최대 6.5 dB(A)의 차이가 발생한 것과 대조적이다. 다만 기존연구⁽⁶⁾가 수행된 하북면 지역의 경우 이번 연구 지역인 상북면에 비해 주변이 산지로 막힌 지역

Table 3 Predicted road traffic noise level by DRT scenario [L_{eq} , dB(A)]

	Site	Scenario				
		1	2	3	4	5
With highway	1	62.9	62.9	62.9	63.2	63.0
	2	69.0	69.0	69.0	69.0	69.0
	3	65.4	65.2	65.4	65.3	65.3
	4	66.2	65.9	66.2	66.8	66.1
	5	71.0	70.9	71.0	70.9	71.0
	6	68.1	68.2	68.2	68.1	68.1
	7	64.6	64.9	64.8	64.6	64.6
	8	58.3	59.5	59.5	58.3	58.3
Without highway	1	60.6	60.6	60.6	61.1	60.8
	2	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9
	3	63.8	63.6	63.8	63.7	63.7
	4	66.0	65.6	65.9	66.6	65.8
	5	71.0	70.9	71.0	70.9	71.0
	6	59.3	59.8	59.8	59.3	59.3
	7	61.1	61.7	61.4	61.1	61.1
	8	57.4	58.8	58.8	57.4	57.4

Table 4 Area where noise reduced by each DRT scenario [km²]

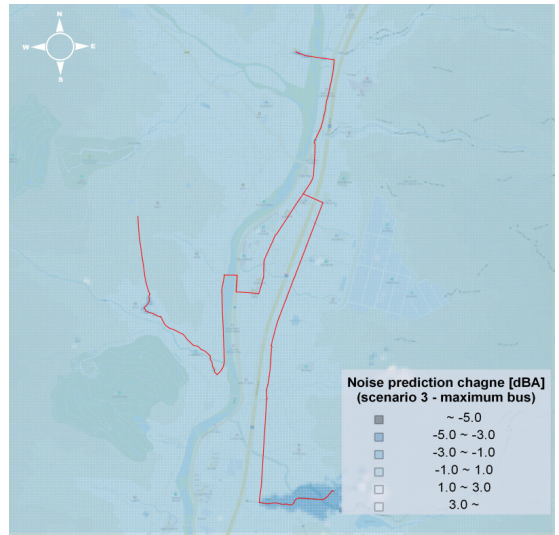
Scenario	Reduced noise level (with highway)			Reduced noise level (without highway)		
	5 dB(A)	3 dB(A)	1 dB(A)	5 dB(A)	3 dB(A)	1 dB(A)
1	0.001	0.013	0.077	0.002	0.049	0.512
2	0.005	0.010	0.106	0.010	0.023	0.308
3	0.002	0.005	0.058	0.001	0.002	0.228
4	0.001	0.013	0.100	0.002	0.049	0.520
5	0.001	0.013	0.084	0.002	0.049	0.522

이 많고 시간당 교통량이 적어 DRT 시나리오에 따른 대형차 통행량 변화에 민감한 것으로 판단된다. 다만 5번 측정지점의 경우 기존 연구⁽⁶⁾와 같이 주변이 산지로 둘러 쌓여있지만 시간당 교통량이 150대 이상으로 도시형버스의 통행량에 의한 소음도 변화에 민감하지 못한 것으로 판단된다.

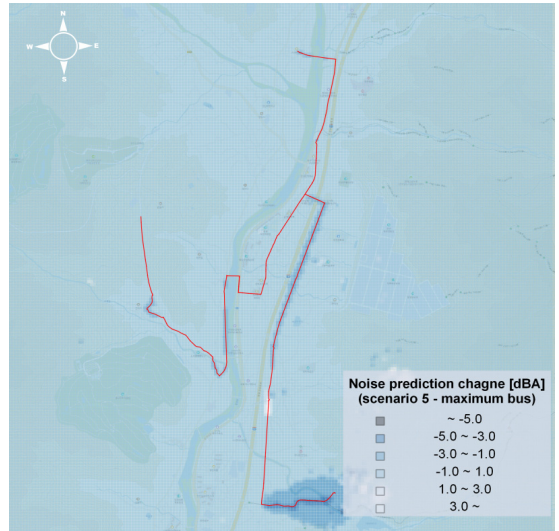
경부고속도로를 제외하고 소음을 예측한 경우 일부 지점에서 DRT 시나리오에 따른 소음도 변화가 커진 것을 확인할 수 있었다. 고속도로를 제외하고 소음 예측 수행 시 8번 지점의 경우 최대 버스 운행 대비 3.3 dB(A) 감소하기도 했다. 경부고속도로로 인해 소음도 변화가 관찰되지 않던 3, 6, 7번 지점에서도 최대 1.4 dB(A)의 소음 감소가 확인되었다. 다만 양산대로 주변인 2번 지점은 고속도로를 제외해도 시나리오에 따른 소음의 변화가 없었다.

3.3 DRT 운행에 의한 소음 저감효과

DRT 시나리오에 따라 작성된 소음지도와 최대 버스 운행 시에 예측되는 소음지도를 비교하여 DRT 운영에 따른 소음 저감 효과를 비교했다. Table 4는 DRT 시나리오 적용 시 소음 저감 효과가 발생하는 지역의 면적으로 소음 감소 수준에 따라 구분하여 제시했다. Fig. 4는 소음 저감 효과가 발생하는 지역을 표현한 예시로서 최대 버스 운행 대비 시나리오 3과 시나리오 5로 버스 운행시 예상되는 소음 감소 영역이다. 경부고속도로가 존재하는 경우 시나리오 2의 경로로 버스가 운행할 때 소음이 감소하는 영역이 가장 넓을 것으로 예상되었다. 경부고속도로를 제외하고 소음을 예측한 경우 대체적으로 시나리오 5가 가장 넓



(A) DRT scenario 3



(B) DRT scenario 5

Fig. 4 Noise prediction change by DRT scenario 3 and 5 (without highway)

은 영역에서 소음이 감소했고 시나리오 3의 소음 감소 영역이 가장 작았다. 시나리오 5의 경우 6번~8번 지점이 있는 도로로 운행경로가 생성되지 않았고 해당 도로 주변 소음 감소가 큰 것으로 나타났다. 해당 도로들은 교통량이 적어 대형차 혼입률에 영향을 많기 때문으로 판단된다. 해당 도로로 버스 운행경로가 생성되지 않는 시나리오 1과 시나리오 4 역시 소음 감소 영역이 넓은 것으로 나타났다. 또한 일부 운행 경

Table 5 Percentage of population in the area where noise reduced [%]

Scenario	Reduced noise level (with highway)			Reduced noise level (without highway)		
	5 dB(A)	3 dB(A)	1 dB(A)	5 dB(A)	3 dB(A)	1 dB(A)
1	-	-	1.083	0.206	0.582	4.359
2	-	0.161	1.844	0.689	0.886	3.276
3	-	-	0.546	0.206	0.206	1.942
4	-	-	0.823	0.206	0.582	4.100
5	-	-	1.083	0.206	0.582	4.556

로는 동일하지만 대형차 혼입율의 차이가 발생하여 소음 감소의 차이가 발생했다. 시나리오 5는 Fig. 3(F)에서 확인할 수 있듯이 운행 노선 왼편(측정지점 5)의 버스 왕복 통행량이 북쪽으로 순환하는 형태로 변환되었다. 시나리오 1 혹은 시나리오 3의 경우 설정된 경로를 왕복으로 운행하기 때문에 버스 1회 운행에 대형차 교통량이 2대씩 추가되지만 순환하는 경로는 1대씩 추가된다. 이런 차이로 인해 시나리오 5에서는 다른 시나리오에 비해 소음 감소효과가 추가적으로 발생했다.

Table 5는 DRT 시나리오 적용 시 소음 감소 이익을 얻는 인구를 산정한 결과이다. 소음 감소 수준에 따라 구분하였으며 상북면 전체 인구대비 소음 감소 영역 거주인구의 비율이다. 상북면의 거주인구에 대한 자료는 국토지리정보원에서 제공하는 국토통계지도를 활용했다. 경부고속도로를 유지하고 소음을 예측한 경우 시나리오 2를 제외하고 3.0 dB(A) 이상 소음이 감소하는 지역에 거주하는 인구는 없는 것으로 나타났다. 1% 내외의 상북면 주민이 1.0 dB(A)~3.0 dB(A)의 소음이 감소하는 지역에 거주하는 것으로 나타났다. 경부고속도로를 제외하고 소음 예측을 수행한 경우 최대 4.6%의 주민이 1.0 dB(A)~3.0 dB(A)의 소음 감소 효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 소음 감소 정도에 따라 다르지만 대체적으로 시나리오 5로 버스가 운행하면 가장 많은 인구가 소음 감소의 이익을 얻는 것으로 확인되었다. 다만 소음 감소가 3.0 dB(A) 이상인 경우에는 시나리오 2의 효과가 가장 좋은 것으로 확인되었다. 시나리오 2의 경우 상북면 중심지의 거주 구역에 소음 감소 효과가 발생하여 소음 감소 이익을 얻는 인구가 상대적으로 높은

것으로 판단된다. 따라서 경로 선택 시 거주 밀집 지역을 피하는 것이 필요하다. 하지만 해당 지역은 Fig. 3(A)에서 확인할 수 있듯 버스 승객의 주요 목적지 인근이기 때문에 지속적인 소음 감소 효과를 기대하기 어렵다.

4. 결 론

이번 연구는 지방 소도시를 중심으로 확대 중인 DRT 방식의 대중교통 운영에 따라 예상되는 소음 환경적 이익에 대해 평가했다. 기존 연구^(10,11)와 OD 조사 결과를 검토하여 DRT 시나리오를 도출하였으며 각 시나리오별 소음 예측을 수행했다. 최대 버스 운행 시 예측되는 소음도와 DRT 시나리오별 예측 소음도를 비교해 소음 감소 영역을 산정했다. 경부고속도로가 존재하는 현재 상황에서는 시나리오 2의 경로로 운행시 최대 0.106 km²의 면적, 경부고속도로를 제외하는 경우 시나리오 5의 경로로 운행 시 최대 0.522 km²의 면적에 대해 1.0 dB(A)~3.0 dB(A)의 소음 감소 효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 또한 소음 감소 이익을 얻는 주민의 수를 산정한 결과 상북면 중심지의 거주 구역에서 소음이 감소하는 시나리오 2의 경우 3.0 dB(A) 이상의 소음 저감 효과를 얻는 주민이 상북면 인구대비 0.16%, 0.87%로 가장 높게 나타났다. 소음 저감 수준이 1.0 dB(A)~3.0 dB(A)에서는 경부고속도로 존재 시 시나리오 2에서 1.8%, 경부고속도로 제외 시 시나리오 5에서 4.6%의 상북면 주민에 대해 소음 저감 효과를 기대할 수 있다. 다만 인구수가 많지 않은 지역이기 때문에 실질적으로 소음 감소 효과를 얻는 인구수가 많지 않다. 또한 이번 연구의 DRT 운행 시나리오는 소음 저감 이익을 위한 것이 아닌 실제 운행 방식에 따른 소음 저감 효과를 평가한 것에 가깝다. 따라서 이번 연구의 결과를 활용하여 소음 노출인구수를 저감 할 수 있는 가변형 운행경로 설정 알고리즘에 대한 연구가 필요하다. 또한 도심지에서의 연구결과와 비교 분석하여 각 지역 특징에 맞는 노출인구수 감소를 위한 경로 설정 방식에 대한 연구를 수행할 필요가 있다.

DRT 방식의 대중교통은 수요 발생 시간과 위치에 따라 경로가 가변적이기 때문에 지속적인 소음 저감 효과를 기대하기 어렵다. 또한 이번 연구 지역은 경

부고속도로에서 발생하는 소음으로 인해 큰 저감 효과를 기대하기 어려운 측면도 있다. 하지만 인근 지역의 경우 지형적 요인으로 인해 큰 소음 저감효과가 관찰되기도 했다⁽⁶⁾. 따라서 농어촌 지역의 대중교통 변화에 대한 지속적인 연구를 통해 소음 피해가 최소화 되는 DRT 버스의 경로 설정 방안과 농어촌 지역 대중교통의 변화에 따른 경제적, 시간적 이익 외에도 환경적 이익에 대한 평가 방법이 정립될 수 있기를 기대한다.

후 기

이 논문은 한국건설기술연구원의 연구비 지원 ‘(23 주요-대3-임무(산업진흥))농어촌 지역 대상 지속가능한 MaaS 3.0+ 기술 개발’에 의해 수행되었습니다.

References

- (1) Jeon, S., Chung, S. and Kim, S., 2012, A Study on Analysis of Operating Cost Properties to Demand Responsive Transport System in Rural Areas, *Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, Vol. 32, No. 6D, pp. 571~577.
- (2) Roh, C.-G., Kim, H., Moon, H., Kim, H., Kim, J., et al., 2020, A Development Planning and Technology for Customized Targeting MaaS Model, *KICT 2020-050*.
- (3) Dytckov, S., Persson, J. A., Lorig, F. and Davidsson, P., 2022, Potential Benefits of Demand Responsive Transport in Rural Areas: A Simulation Study in Lolland, Denmark, *Sustainability*, Vol. 14, No. 6, p.3252.
- (4) Coutinho, F. M., van Oort, N., Christoforou, Z., Alonso-González, M. J., Cats, O. and Hoogendoorn, S., 2020, Impacts of Replacing a Fixed Public Transport Line by a Demand Responsive Transport System: Case Study of a Rural Area in Amsterdam, *Research in Transportation Economics*, Vol. 83, 100910.
- (5) Vlachokostas, C., Achillas, C., Michailidou, A. V. and Moussiopoulos, N., 2012, Measuring Combined Exposure to Environmental Pressures in Urban Areas: An Air Quality and Noise Pollution Assessment Approach, *Environment International*, Vol. 39, No. 1, pp. 8~18.
- (6) Lee, J. K., Roh, C.-G. and Yoo, J., 2023, Evaluation of Road Traffic Noise Change due to Bus Route Variation of Demand Responsive Transit Scenario in Rural Area, *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 33, No. 6, pp. 645~651.
- (7) Kang, K. K., Kim, J. W., Kim, K. M. and Park, Y. M., 2022, Assessment of the External Cost (damage cost) of Traffic Noise, *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 32, No. 1, pp. 74~88.
- (8) Korea Expressway Corporation, 2022, Expressway Traffic Statistics, Public Data Portal, Sejong-si, Korea. <https://www.data.go.kr/data/15062521/fileData.do>.
- (9) Korean Agency for Technology and Standards, 2022, Electroacoustics-sound Level Meters-part 1 : Specifications, *KS C IEC 61672-1*.
- (10) Ministry of Environment, 2019, Measurement Method of Exterior Noise Emitted by Road Vehicle for Management Standards, Ministry of Environment, Sejong-si, Korea.
- (11) Kim, C., Chang, T. and Kim, D. S., 2012, Characteristics Analysis of Highway Traffic Noise, *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 22, No. 12, pp. 1191~1198.
- (12) Roh, C.-G. and Park, J., 2022, A Study on Bus Pattern Analysis and Operation Proposal for Demand Responsive Transport (DRT) -Case Study of Bus No. 5 and 6 on Yangsan-Si, Gyeongsangnam-Do-, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 23, No. 12, pp. 636~643.
- (13) Roh, C.-G., Moon, B.-S., Kim, H., Park, B.-J., Kim, Y., et al., 2022, Development of Sustainable MaaS (Mobility as a Service) 3.0+ Technology in Rural Areas, *KICT 2022-068*.
- (14) Road Construction Department of Germany Ministry of Transport, 1990, Road Noise Abatement Guidelines, *RLS-90*.
- (15) Ministry of Environment, 2016, Drawing-up Method of Noise Maps, Ministry of Environment Public Notice No. 2016-117.



Jae Kwan Lee has completed his Ph.D. at Dept. of Environmental Engineering in University of Seoul. He is working at Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology as a Post-doctoral Researcher. His research interests is environmental noise control and annoyance of noise. Recently, he interested in deep learning models for classification the noise source and environmental noise change by future mobility.



Jisu Yoo received her M.S. degree from Dept. of Energy and Environmental System Engineering in University of Seoul. She is currently a Ph.D. candidate in Environmental Engineering at University of Seoul. Her research interests are modeling and mapping

of environmental noise impact. Especially, her recent research is particularly focused on the impacts of environmental noise on green spaces and the soundscape.



Chang-Gyun Roh has completed his Ph.D. at Dept. of Urban Planning and Engineering in Yonsei University. He is working at Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology. His research interests are traffic flow, mobility services and infrastructure for autonomous driving vehicle.



Jaehong Park has completed his Ph.D. at Dept. of Transportation Engineering in Hanyang University. He is working at Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology. His research interests are road safety and road management.