

터널 진입부의 통행속도 개선을 위한 차선 운영방안 연구

A Study on Lane Operation Strategies to Improve Traffic Speed at Tunnel Entrances

전우훈¹

Woo Hoon Jeon¹

요약

편도 2차로 고속도로는 2개 차로를 추월차로와 주행차로로 각각 운영하고 있으며, 중차량이 많은 구간에서 비교적 저속인 중차량이 터널진입부 오르막구간에서 추월하는 경우에는 많은 지체가 발생하게 된다. 본 연구에서는 터널진입부 오르막구간에서 지체를 감소하기 위해 차로변경을 최소화할 수 있는 방안을 제시하고자 한다. 이를 위해 실제 터널 진입부의 상시 지체가 발생하고 있는 구간에 대해 통행 교통량 및 중차량 비율을 기준으로 시나리오를 작성하고, 이를 토대로 미시적 교통시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 활용하여 시나리오별 시뮬레이션을 수행하여 분석하였다. 분석결과 100m 단위의 단구간에서는 차로변경을 금지하더라도 평균통행속도에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 반면 1km 단위의 장구간에서는 구간길이가 570m일 때 평균통행속도는 84.076km/h이며, 1km씩 증가하여 구간길이가 8,570m일 때 평균통행속도는 96.23km/h로 12.154km/h가 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 반복적인 터널 진입부의 오르막 구간에서는 백색실선 차선의 길이 조절을 통해 승용차와 중차량의 추월을 최소화하여 전체 지체를 감소하는 방안을 적극 검토하는 것이 필요한 것으로 판단된다.

핵심어 : 터널진입부, 상시 정체, 평균통행속도, 차로변경, 오르막구간

Abstract

On freeways with two lanes in each direction, the lanes are operated as a passing lane and a travel lane. In sections with many heavy vehicles, substantial delays occur when relatively slow heavy vehicles attempt to overtake on the uphill approaches to tunnel entrances. This study proposes a strategy to minimize lane changes in these uphill approach segments to reduce such delays. To this end, we selected a real-world tunnel-approach segment that experiences recurrent delay, developed scenarios based on traffic volume and the proportion of heavy vehicles, and analyzed each scenario using the microscopic traffic simulation software VISSIM. The results indicate that, for short segments of 100 m, prohibiting lane changes has little effect on average travel speed. By contrast, for kilometer-scale segments, as the controlled segment length increased in 1-km increments—from 570 m (average speed 84.076 km/h) up to 8,570 m (average speed 96.23 km/h)—the average speed rose by 12.154 km/h. Therefore, for repeated uphill tunnel-approach segments, actively adjusting the length of continuous solid white lane lines (lane-change prohibition) to minimize overtaking between passenger cars and heavy vehicles should be considered as an effective measure to reduce overall delay.

Keyword : Tunnel Entrance, recurring Congestion, Average Travel Speed, Lane Change, Uphill Section

¹ Department of Highway & Transportation Research, KICT, Gyeonggi-do, Korea [Research Fellow]
e-mail: cwmoon@kict.re.kr

Received(August 21, 2025), Review Result(1st: September 19, 2025), Accepted(October 13, 2025), Published(October 31, 2025)



© 2025 The Authors. Published by NCISS.
This is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.
To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

1. 서론

우리나라 고속도로와 도시부 간선도로는 산악 지형의 제약으로 터널 설계 비중이 높으며, 터널 전·후(특히 진입부)에서의 교통류 혼란과 지체는 반복되는 운영 과제다. 운전자들은 터널이라는 폐쇄적 공간과 시인성 변화를 인지하며 주행 속도를 낮추고, 이러한 속도 저하와 차로 변경으로 인해 지체가 발생된다. 실제로 김선훈 등 [1]의 연구에 따르면 터널 구간은 동일 조건의 일반 구간 대비 용량이 유의하게 감소하며, 터널 유형·연장·차로수에 따라 감소 폭이 달라지는데, 예를 들어 VDS 검지기 데이터를 이용해 터널과 일반부 용량을 비교한 최근 연구는 터널 구간 용량이 평균 약 6.5% 낮다고 보고하며, 터널 유형별로 감소율이 상이함을 확인하였다. 또한 장현봉 등 [2]의 터널부 교통류 특성 및 용량산정에 대한 논문에서는 영상 처리 기반 교통자료로 양방 2차로·4차로 터널의 용량이 각각 일반부 대비 약 6%·10% 감소한다고 제시하였다. 이 연구는 터널부의 속도·밀도 관계가 개방부와 달라지고, 차로 수 및 양방 구조에 따라 적합한 거시모형(Underwood, Edie 등)이 달라질 수 있음을 제시하였다. 결과적으로 터널은 구조적·심리적 요인으로 인해 동일 교통수요에서도 더 이른 포화에 도달할 수 있다는 것이다.

특히 본 연구에서의 주요 분석범위는 오르막 구간 끝에 터널 진입부가 위치하는 경우다. 오르막은 트럭 등 대형 저속차량의 성능 한계로 인해 속도 저하를 초래하고, 바로 이어지는 터널 포털부에서는 시인성 저하와 이에 따른 차두시간의 감소 등의 이유로 추월이나 차로 변경이 급격히 증가한다. 특히 저속차량이 추월차로인 1차로를 장시간 점유하거나, 오르막 말단부에서 무리한 추월을 시도하면 주행차로의 흐름까지 교란하여 지체가 증가하게 된다. 이에 많은 연구에서는 이러한 환경에서 교통류 안정화와 용량 회복을 위해 차로 운영과 속도관리, 차두거리 관리가 복합적으로 필요하다고 강조하고 있다. 또한 이승수 등 [3]의 연구에서는 터널 구간의 공사·확폭 등 운영상 교통 방해 요인이 존재할 때, 교통류를 최대한 보존하는 시공·운영 기법의 경제성을 분석하였다. 연구에서 제시한 교통류 보존형 터널 확대 시공기술은 공사 기간 동안 기존 흐름을 유지해 정체에 따른 사회적 비용(시간·환경 비용)을 줄일 수 있으나, 보호시설 설치 등으로 직접공사비와 기간이 증가할 수 있어 운영상과 경제성의 정교한 균형을 요구하는 것으로 제시하였다. 이러한 논문의 결과는 진입부 지체를 다루는 본 연구에서 차로 운영(예: 추월 제한, 차로폐쇄 최소화)과 공사·유지관리 운영 간의 상충관계를 평가하는 근거가 될 수 있다.

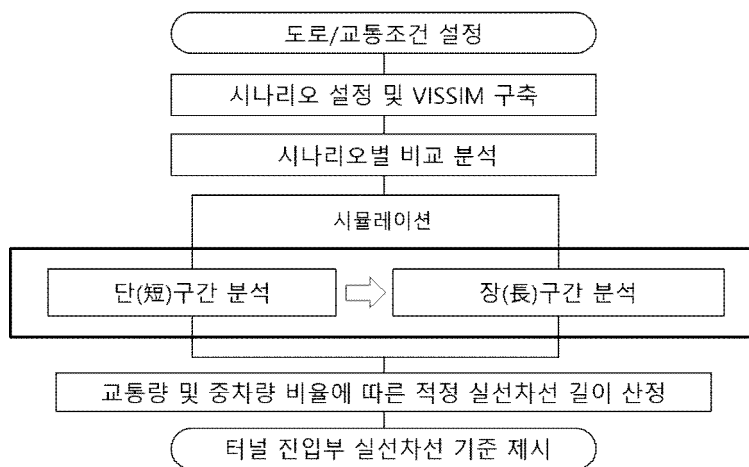
고속도로 터널 진입부의 지체는 (1)오르막이 유발하는 차량군, 특히 대형차의 속도 이질성, (2)터널부에서의 심리·시각적 요인에 따른 속도 저하와 차로 변경 수요, (3)터널 고유의 용량 감소가 중첩되어 발생한다고 가정할 수 있다. 여기서 심리·시각적 요인과 터널 고유의 용량 감소는 인간공학적 측면과 설계적 측면에서 해결되어야 하는 부분이며, 본 연구에서는 오르막 구간에서 대형차 위

주의 저속차량에 의한 영향을 분석하고자 한다. 앞에서 언급한 것처럼 저속차량은 추월차로인 1차로가 아닌 주행차로를 이용하여야 하나, 저속차량 간의 추월시도로 인해 1차로와 2차로에 평행하게 저속차량이 주행하는 경우가 발생하게 된다. 이로 인해 저속차량들 후방 구간에는 추월이 불가능하게 되어 지체 및 정체가 발생하게 된다. 또한 추월차로를 이용하고자 하는 저속차량들의 차선 변경으로 인한 충격파로 인해 구간 전체에 지체가 발생하게 된다. 이 외에도 터널 진입부에서의 운전자들의 영향정도에 대한 연구 [4]와 터널 출입구 구간에 감속을 유도할 수 있는 도로시설물에 대한 연구 [5] 등이 관련된 연구로 고찰되었다.

따라서 본 연구에서는 실제 터널 진입부의 상시 지체가 발생하고 있는 구간에 대해 통행 교통량 및 중차량 비율을 기준으로 시나리오를 작성하고, 이를 토대로 미시적 교통시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 활용하여 시나리오별 시뮬레이션을 수행하여 분석하고자 한다. 이러한 분석을 통해 터널 진입부의 차로변경 가능 및 불가능 구간을 토대로 통행속도 분석을 통해 차로변경 적용방안을 제시하고자 한다.

2. 시나리오 분석 방법론

본 연구에서는 통행 교통량 변화와 중차량 비율에 따른 시나리오별 터널 진입부 실선차선 길이를 분석한다. 터널 진입부 실선차선 길이 분석은 단구간과 장구간 길이에 따라 제시하였다. 이는 터널 진입부 실선차선의 계획시 고려하도록 하였으며, 본 연구의 분석 방법론은 [그림 1]과 같다.



[그림 1] 시뮬레이션 분석방법

[Fig. 1] Simulation Analysis Method

3. 시나리오 설정

본 연구에서는 터널 진입부 통행속도에 영향을 미치는 변수로 일방향 교통량, 중차량비율, 터널 진입부 백색실선 차선 길이로 설정하였다. 실선차선의 길이에 대한 영향력을 분석하기 위해, 시나리오는 단(短)구간과 장(長)구간으로 구분하여 시뮬레이션 하였으며, 단구간의 백색실선 차선 길이 시나리오 단위는 100m로 하였고, 장구간의 백색실선 차선 길이 시나리오 단위는 1km로 하였다. [표 1]과 [표 2]에서 제시한 변수들에 대한 다양한 시나리오를 작성하고 시뮬레이션을 통하여 터널 진입부 실선차선의 길이와 통행속도를 비교평가 하였다. 분석 대상구간은 논산천안고속도로의 차령터널으로 선정하였으며, 교통량은 한국도로공사 고속도로 공공데이터 포털 구간교통량(남풍세IC →정안IC) 2024년 12월 통계치 중 첨두시간(2024년 12월 28일 토요일 14~15시) 일방향교통량 2,400대/시를 기준으로 단구간은 ±400대/시/일방향으로 설정하고, 장구간은 2,400대/시만 적용하였다. 중차량 조건은 단구간은 첨두시간의 24%를 기준으로 ±5%으로 설정하고, 장구간은 24%만 적용하였다. 터널진입부 백색실선 차선 길이는 단구간의 경우 170m에서 100m단위로 1,070m까지 설정하였고, 장구간은 570m에서 1km 단위로 8.57km까지 설정하였다.

[표 1] 시나리오 분석 조건(단(短)구간)

[Table 1] Conditions for Scenario Analysis(short-distance section)

| 구분 | 시나리오 | 비고 |
|------------|--|------|
| 일방향교통량 | 1,600대/시, 2,000대/시, 2,400대/시 | 3가지 |
| 차종별비율 | ① 승용차 81%, 중차량 19% ② 승용차 76%, 중차량 24% ③ 승용차 71%, 중차량 29% | 3가지 |
| 차로 백색실선 길이 | 170, 270, 370 ~ 1070m | 10가지 |

[표 2] 시나리오 분석 조건(장(長)구간)

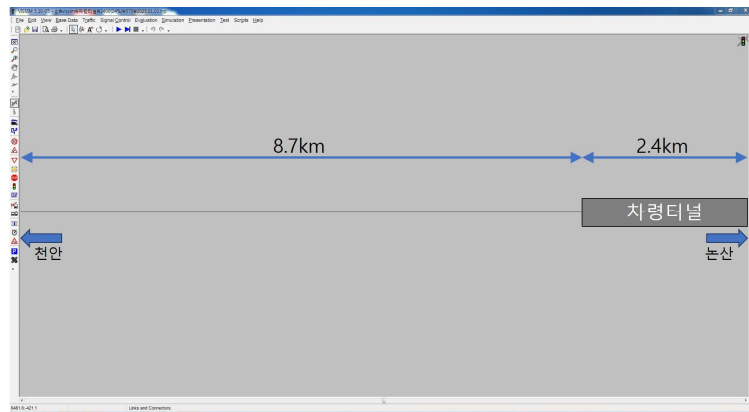
[Table 2] Conditions for Scenario Analysis(long-distance section)

| 구분 | 시나리오 | 비고 |
|------------|-----------------------------|-----|
| 일방향교통량 | 2,400대/시 | 1가지 |
| 차종별비율 | 승용차 76%, 중차량 24% | 1가지 |
| 차로 백색실선 길이 | 570, 1,570, 2,2570 ~ 8,570m | 9가지 |

4. 시나리오 분석(단(短)구간)

본 연구는 시뮬레이션을 기반으로 분석하므로 현실을 최대한 반영하도록 시뮬레이션을 구현하기 위해 [그림 2]와 같이 논산천안고속도로 구간 중 차령터널(풍세영업소~차령터널(11.1km))에 대해

차령터널 진입부의 백색실선 차선의 적정 길이를 분석하였다. 시나리오 분석은 통행 교통량, 중차량 비율 등을 비교하여 터널 진입부의 실선차선 길이의 적정성을 비교·분석하였다.



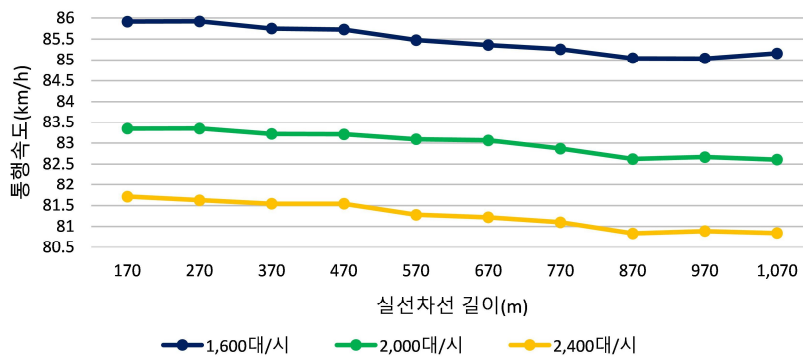
[그림 2] 시뮬레이션 네트워크 구축

[Fig. 2] Establishment of Simulation Network

[표 3] 시나리오 분석 결과(교통량)

[Table 3] Scenario Analysis Results(Traffic Volume)

| 일방향 교통량 (대/시) | 평균통행속도(km/h) | | | | | | | | | |
|---------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 백색실선 차선 길이(m) | | | | | | | | | |
| | 170 | 270 | 370 | 470 | 570 | 670 | 770 | 870 | 970 | 1,070 |
| 1,600 | 85.918 | 85.924 | 85.752 | 85.730 | 85.479 | 85.361 | 85.261 | 85.044 | 85.039 | 85.161 |
| 2,000 | 83.346 | 83.347 | 83.218 | 83.210 | 83.092 | 83.067 | 82.869 | 82.621 | 82.669 | 82.607 |
| 2,400 | 81.711 | 81.626 | 81.543 | 81.541 | 81.279 | 81.220 | 81.102 | 80.835 | 80.890 | 80.844 |



[그림 3] 교통량 및 차선 변화에 따른 통행속도 분석

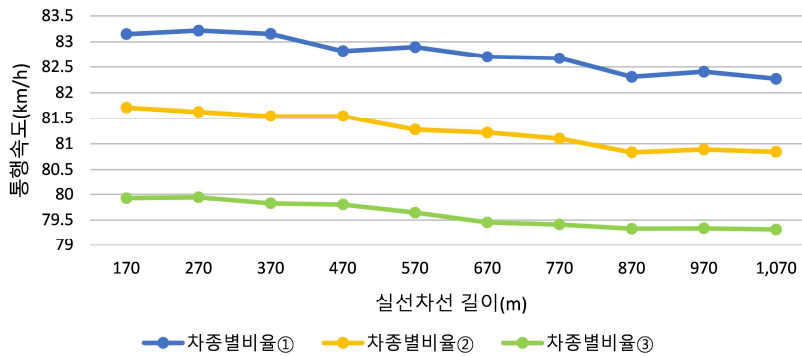
[Fig. 3] Analysis of Traffic Speed in Relation to Traffic Volume and Lane Changes

[표 3]과 [그림 3]은 교통량이 1,600대/시, 2,000대/시, 2,400대/시 일 때, 터널 진입부의 백색실선 차선의 길이를 170m~1,070m로 연장하여 교통량에 따른 터널 진입부 통행속도 시뮬레이션 결과이며, 터널진입부 백색실선 차선의 길이가 170m에서 100m 씩 증가하더라도 터널진입부의 통행속도는 변화는 크지 않은 것으로 분석되었다. 또한 교통량이 1,600~2,400대/시/일방향 변화하더라도 터널진입부의 통행속도는 변화 역시 큰 변화가 없는 것으로 분석되었다.

[표 4] 시나리오 분석 결과(차종별 비율)

[Table 4] Scenario Analysis Results(Percentage by vehicle type)

| 차종별 비율 (%) | 평균통행속도(km/h) | | | | | | | | | |
|------------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 백색실선 길이(m) | | | | | | | | | |
| | 170 | 270 | 370 | 470 | 570 | 670 | 770 | 870 | 970 | 1,070 |
| 19% | 83.149 | 83.218 | 83.154 | 82.820 | 82.898 | 82.705 | 82.676 | 82.308 | 82.406 | 82.271 |
| 24% | 81.711 | 81.626 | 81.543 | 81.541 | 81.279 | 81.220 | 81.102 | 80.835 | 80.890 | 80.844 |
| 29% | 79.928 | 79.944 | 79.827 | 79.803 | 79.646 | 79.451 | 79.413 | 79.330 | 79.337 | 79.316 |



[그림 4] 차종비율 및 차선 변화에 따른 통행속도 분석

[Fig. 4] Analysis of Traffic Speed in Relation to Percentage of Vehicle Type and Lane Changes

[표 4]와 [그림 4]는 중차량 비율(19%, 24%, 29%)에 따라 터널진입부의 백색실선 차선의 길이를 각각 170m~1,070m로 변화하여 터널진입부 통행속도 시뮬레이션 결과이다. 터널진입부 백색실선 차선의 길이가 170m에서 100m 씩 증가하더라도 터널진입부의 통행속도는 변화는 크지 않은 것으로 분석되었다. 또한 중차량 비율이 19%, 24%, 29%로 변화하더라도 터널진입부의 통행속도는 변화는 크지 않은 것으로 분석되었다.

5. 시나리오 분석(장(長)구간)

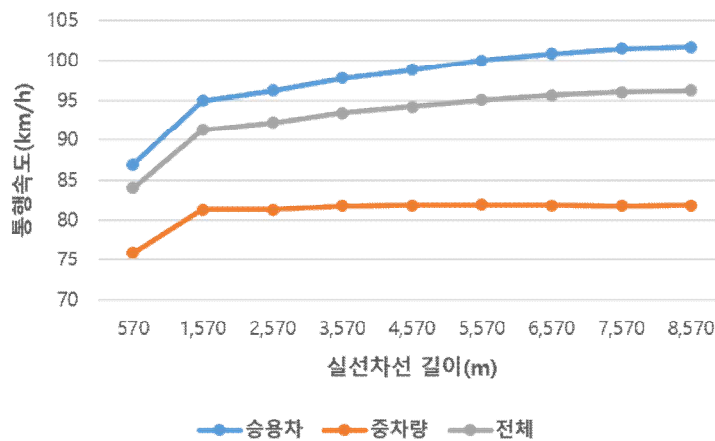
4장에서 분석한 바와 같이 100m 단위로 교통량 및 차종비율에 따라 백색실선 차선의 길이별 통

행속도를 분석한 결과 유의미한 결과가 도출되지 않았다. 이는 100m 단위의 짧은 구간 변화에는 차량의 차로변경 기회가 크지 않아 평균통행속도가 크게 변하지 않은 것으로 판단된다. 따라서 고속도로의 연장 등을 고려할 때 1km 단위의 장구간에 대한 분석을 시행하였다. 백색실선 차선의 길이는 570m에서 1km씩 증가하여 8,570m까지 분석하였으며, 교통량은 2,400대/시로 하고 차종별 비율은 승용차 78%, 중차량 24%로 고정하였다.

[표 5] 시나리오 분석 결과(장(長)구간)

[Table 5] Scenario Analysis Results(long-distance section)

| 구분 | 터널 진입부 실선차선 길이(m) | | | | | | | | |
|-----|-------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| | 570 | 1,570 | 2,570 | 3,570 | 4,570 | 5,570 | 6,570 | 7,570 | 8,570 |
| 승용차 | 86.953 | 94.925 | 96.238 | 97.789 | 98.841 | 100.012 | 100.873 | 101.518 | 101.743 |
| 중차량 | 75.929 | 81.255 | 81.268 | 81.765 | 81.825 | 81.837 | 81.823 | 81.734 | 81.814 |
| 전체 | 84.076 | 91.302 | 92.228 | 93.468 | 94.220 | 95.041 | 95.632 | 96.049 | 96.230 |



[그림 5] 차종 및 차선 변화에 따른 통행속도 분석

[Fig. 5] Analysis of Traffic Speed in Relation to Vehicle Type and Lane Changes

[표 5]와 [그림 5]를 살펴보면 터널 진입부의 백색실선 차선이 km단위로 증가함에 따라 전체 및 승용차의 평균통행속도가 유의미하게 증가하고 있음을 알 수 있다. 실제 데이터를 보면 백색실선 차선구간이 570m일 때 구간 전체 평균통행속도는 84.076km/h이며, 1km씩 증가하여 백색실선 차선구간이 최대 8,570m일 때 구간 전체 평균통행속도는 96.23km/h로 12.154km/h가 증가하는 것으로 나타났다. 백색실선이 최초 570m에서 4km를 연장하더라도 94.22km/h로 평균통행속도가 약 10km/h가 증가하고 있다. 따라서 반복적인 터널 진입부의 오르막 구간에서는 백색실선 차선의 길이 조정을 통해 승용차와 중차량의 추월을 최소화하여 전체 지체를 감소하는 방안을 적극 검토하는 것이

필요하다고 판단된다.

6. 결론

터널 진입부의 통행속도를 개선하기 위해 터널 진입부 실선차선의 길이를 연장하는 방안을 분석하였다. 이를 위해 VISSIM을 이용하여 시나리오를 구축하고 교통량은 첨두시간 교통량 2,400대/시를 기준으로 ± 400 대/시/일방향으로 설정하고 중차량 조건은 첨두시간의 24%를 기준으로 $\pm 5\%$ 으로 설정하였다. 마지막으로 터널진입부 실선차선 길이는 170m에서 100m단위로 1,070m까지 설정하였다. 또한 백색실선 차선의 길이에 대한 민감도를 위해 실선차선 길이(풍세영업소~차령터널) 최대치인 8.57km를 장구간으로 구분하여 분석하였다. 즉, 터널진입부 실선차선의 길이를 100m 단위의 단구간 길이 분석과 8.7km의 장구간 길이를 분석하여 비교하였다.

일방향 교통량이 1,600, 2,000, 2,400대/시/일방향으로 변화하거나 터널진입부 실선차선의 길이가 170m에서 100m 씩 증가하거나 하더라도 터널진입부의 통행속도는 변화는 유의미한 결과가 나타나지 않은 것으로 분석되었다. 중차량 비율이 19, 24, 29%으로 변화하거나 터널진입부의 실선차선의 길이를 170m에서 100m씩 연장하더라도 터널진입부의 통행속도는 변화는 크지 않은 것으로 분석되었다. 다만 교통량이 2,400대/시/일방향, 중차량비율이 24%, 터널진입부의 실선차선의 길이의 최대치인 8.57km로 연장할 경우 평균통행속도는 현황(차로변경금지구간 570m) 84.076km/h에서 96.23km/h로 12.154km/h가 증가하는 것으로 분석되었다. 따라서, 터널 진입부의 통행속도를 개선하기 위한 효과적인 실선차선 연장은 저속차량으로 인한 통행속도 감소가 최소화 될 수 있도록 터널 진입부의 실선차선을 가능한 길게 연장하는 것이 필요하다. 본 논문에서 제시한 시뮬레이션 결과는 터널 진입부의 실선차선을 연장 시 고려해야할 방안을 제시하였다. 보다 효과적인 활용을 위해서는 향후 터널 진입부의 기하구조 개선 등을 고려하는 것이 필요한 것으로 판단된다.

References

- [1] S. H. Kim, D. M. Lee, S. C Hwang, "A Study on the Road Capacity Reduction Rate of Freeway Tunnel Section", *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 23, no. 3, June 2024, pp. 17-28, doi: 10.12815/kits.2024.23.3.17.
- [2] H. B. Jang, D. H Jang, "Analyzing Traffic Characteristics and Estimating Capacities for Typical Tunnel Sections", *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 16, no. 3, September 1998, pp. 15-24.
- [3] S. S. Lee, D. G. Kim, J. W. Seo, "Economic Feasibility Analysis of a Tunnel Section Enlargement Method That Does Not Halt Traffic Flow", *The Journal of Engineering Geology*, vol. 25, no. 4, December 2015, pp. 459-472, doi: 10.9720/KSEG.2015.4.459.
- [4] J. Xu, X. Zhang, H. Liu, K. Yang, F. Ma, Y. Sun, "Physiological indices and driving performance of drivers at tunnel entrances and exits: A simulated driving study", *PLOS ONE*, vol. 15, no. 12, December 2020, pp. 1-19, doi: 10.1371/journal.pone.0243931.
- [5] T. Zhu, C. Wang, C. Yang, R. Zhao, "Evaluation of effectiveness of speed reduction markings on driving speed in highway tunnel entrance and exit areas", *Traffic & Transportation*, vol. 32, no. 1, October 2019, pp. 141-152, doi: 10.7307/ptt.v32i1.3203.