

터널과 입체 교차로간의 안전한 이격거리 연구

이인배* · 김낙석**

Lee, In-Bae*, Kim, Nakseok**

A Study on Safe Separation Distance between Tunnel and Interchange

ABSTRACT

Development of mountain area is increasing due to the demand for improvement of traffic convenience and development of underdeveloped area. Therefore, there frequently are sections where tunnels and interchanges are located close to each other. These sections do not only affect tunnel planning, types and length of interchanges, but also affect more on route selection. In Korea, several design criteria present each reference value but these values are very similar. In the situation, the minimum value among them is usually applied when planning roads and it could cause traffic safety problems in different site conditions. In this study, the problems of design speed, illuminance adaptation distance, and lane change intervals are analyzed by simulating the cases that the problem could occur when calculating the separation distance between tunnel and interchange. The results obtained from this study can be summarized as following: the driving speed should be applied in case that the site has a big gap between design speed and driving speed because the uniform application of the design speed is not safe; the illuminance adaptation distance should include the influence distance in the section affected by the direct light; in addition, the lane change distance should include the time to perceive the situation of the next lane after the lane change in the section required for successive lane change.

Key words : Tunnel, Interchange, Driving speed, Direct sunlight effects, Lane change distance

초 록

현재 국내의 도로는 교통 편리성 향상 및 낙후 지역 개발로 산지부 개발이 많아지고 있어 터널과 입체교차로가 빈번하게 근접되는 구간이 많이 발생하고 있다. 이러한 구간에서는 터널 계획 및 입체교차로의 형식 또는 연장에 영향을 주고 있지만 더 크게는 노선 선정에 많은 영향을 미치고 있다. 국내 설계기준에서는 각각의 기준을 제시하고, 그 기준 값에 비슷한 값을 제시하고 있으며, 도로 계획 시에는 최소 값을 적용하는 실정으로 현장의 여건이 다를 경우에는 교통 안전상 문제가 발생 할 수 있다. 본 연구는 터널 출구에서 입체 교차로 간 이격거리 산정 시 문제점이 발생할 수 있는 조건의 현장을 사례로 시뮬레이션하여 설계속도, 조도순응거리, 차로 변경구간의 문제점을 분석하였다. 본 연구 수행으로 얻어진 결과는 다음과 같다. 설계속도의 일률적인 적용은 주행속도와 많이 차이나는 여건에서는 안전하지 않으므로 주행속도를 적용하여야 한다. 조도순응 거리는 일반적인 경우가 아닌 직광에 영향을 받고 있는 구간에서는 그 영향 거리를 포함 하여야 한다. 또한, 차로 변경거리는 연속적인 차로변경이 필요한 구간에서 차로변경 후 다음차로의 상황을 파악 할 수 있는 시간이 포함 되어야 한다.

검색어 : 터널, 입체교차로, 주행속도, 직광 영향, 차로 변경거리

* (주)동성엔지니어링 전무 (Dongsung Engineering · iblee@dsen.co.kr)

** 종신회원 · 교신저자 · 경기대학교 토목공학과 교수 (Corresponding Author · Kyonggi University · nskim1@kgu.ac.kr)

Received December 21, 2018/ revised January 3, 2019/ accepted January 21, 2019

1. 서론

국내 도로는 2016년 기준 전체 도로연장 108,780 km에 포장률 92.4 % 수준으로 도로망의 구축이 완료 단계에 이르렀다(Kim et al., 2018). 이와 더불어 국민소득의 증가로 삶의 질이 향상됨에 따라 편리한 교통수단으로서 자동차 보유대수는 지속적으로 증가하고 있으며 도로의 안전성에 대한 요구가 점차 증가하고 있다(Kim et al., 2016). 도로의 안전성에 대한 요구가 점차적으로 늘어나면서 많은 비용이 소요되어 미루어 왔던 산지구간의 도로 개설이 많아지면서 터널의 설치가 많이 증가되고 있는 실정이다. 터널의 설치 비용도 많이 소요되지만 터널 내 주행 시 주행자의 시각이 많이 제한되어 차량의 차로변경이 빈번한 교차로와 근접되어 설치 될 경우에는 많은 교통안전상 문제가 발생하고 있다.

터널과 입체교차로의 간격은 이격 될수록 교통운영상 안전하지만 이격 시 교차로 설치가 제한적이고, 건설비용이 증가되므로 적절한 이격거리를 제시하는 것이 도로의 계획에 매우 중요하다. 또한 터널 계획이나 입체교차로 계획에 영향을 미치지만 더 나아가서는 도로의 노선 선정에 큰 영향을 미치게 되므로 안전한 터널과 입체 교차로의 간격 제시가 매우 중요하다. 국내에서는 ‘도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙(MLIT, 2012a)’, ‘도로설계편람(MLIT, 2012b)’, ‘국도설계 실무요령(MLIT, 2016)’, ‘한국도로공사 도로설계요령(Korea Expressway Corporation, 2012)’ 등에서 각각의 기준을 제시하고 적용하고 있다. 문제점으로는 각각의 기준에서는 설계속도, 차로수, 조명 등 주변여건을 고려하라고 되어있지만 설계 적용 시 그 값이 모호하므로 실제 계획에서는 기준에 제시된 최소값을 적용하거나, 주변여건을 고려하는 것은 서로 상이하여 교통안전상 문제가 되고 있다.

2. 수행절차

본 연구는 터널과 입체교차로간의 이격거리를 실제 사례를 통해 분석하여 문제점을 도출하고 새로운 개선 방향을 제시하여 향후에 보다 안전한 터널과 입체교차로간의 이격거리를 제시하고자 하며, 이러한 연구목적을 수행하기 위한 본 연구의 과정은 Fig. 1과 같다.

3. 현행 이격거리 기준의 문제점 분석

3.1 현행 이격거리 설계기준

터널 출구에서 연결로 변이구간까지의 길이는 Fig. 2와 같이 설계속도, 조도순응거리, 인지반응거리, 차로변경거리로 구성된다. 국내 설계기준에 따르면 설계속도 100 km/h, 일 방향 2차로일 경우 480 m 이상 확보하고, 설계속도, 차로 수, 교통량, 조명 등을

고려하여 충분히 이격하도록 하고 있다. 소요 이격거리는 Eq. (1)로 산정하는 것으로 다음과 같이 제시하였다.

$$L = l_1 + l_2 + l_3 = \frac{V \cdot t_1}{3.6} + \frac{V \cdot t_2}{3.6} + \frac{V \cdot t_3(n-1)}{3.6} \quad (1)$$

where, L : Required distance (m),

l_1 : Illumination adaptation distance (m),

l_2 : Cognitive reaction distance (m),

l_3 : Lane change distance (m),

V : Design speed (km/h),

t_1 : Illumination adaptation time (3 sec)

t_2 : Cognitive reaction time (4 sec),

t_3 : Lane change time (per lane : 10 sec)

n : Number of lanes

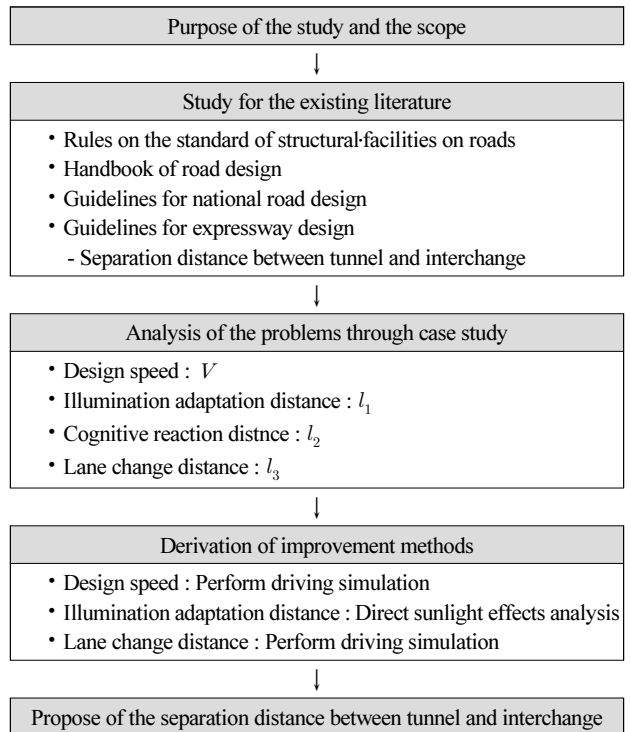


Fig. 1. Procedure of the Study

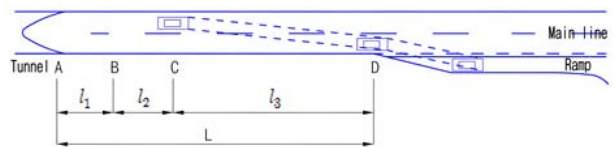


Fig. 2. Movement Path of the Vehicle Lane Change

부득이 터널과 인터체인지의 간격확보가 어려운 곳에서는 운전자가 터널출구에 근접하여 유출 연결로가 있다는 사실을 인지할 수 있도록 도로안내표지, 전광표지판, 노면표시 등 충분한 교통안전 시설을 설치하도록 하고, 관계기관과의 협의를 통해 터널내의 제한적 진로변경여부를 검토한다. 또한, 이러한 경우에는 터널 내 선행, 시거, 조명, 길어깨 폭, 터널의 시설한계, 환기 등을 종합적으로 고려하는 것이 바람직하다.

3.2 현행 이격거리 설계기준 문제점

국내에서 적용하고 있는 설계기준에는 이격거리 기준을 제시하고 있으며, 설계속도, 차로수 조명, 교통량등 감안하여 이격거리를 확보하도록 되어 있으나 적용 방법이나 적용이격거리가 명확하지 않기 때문에 설계에서는 설계속도, 교통량, 조명 및 주변여건을 고려하지 않고 제시된 거리만 확보로 안전하다는 판단으로 설계가 진행되고 있다. 주변여건의 불리한 조건을 고려하지 않는 실정으므로 주변여건이 조금이나마 불리한 경우에 교통안전성을 보장 할 수가 없는 계획이 이루어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 사례분석을 통해 그에 대한 문제점을 제시하고 개선방안을 도출하고자 한다.

4. 설계사례 분석을 통한 문제점 분석

설계 사례인 새만금-전주간 고속도로 제6공구 남전주 나들목(입체 트럼펫형식)과 완산터널(3.5 km)과의 이격거리 계획을 검토하여 시야확보의 어려움과 그에 대한 대책을 검토하였다.

- 사업개요
 - 연 장 : 5.38 km
 - 설계 속도 : 100 km/h
 - 차 로 수 : 왕복 4차로
 - 도 로 폭 : 23.4 m
 - 터 널 : 완산 터널 3.5 km
 - 입체교차로 : 남전주 나들목 1개소
 - 터널과 입체교차로 간격 : 527 m

4.1 설계속도에 대한 검토

설계속도는 도로의 기하구조와 시설규모 시설형태를 결정하는 중요한 요소로 설계속도에 따라 터널과 입체교차로간의 거리를 결정 하는데 설계속도는 일정한 기준을 목표로 두고 그 값을 결정한다. 하지만 터널과 교차로의 형태에 따라 차량의 속도가 변경되고 기하구조의 형태에 따라 설계속도와 주행속도의 차가 클 수도 있어 본 연구에서는 사례를 검토하여 터널과 교차로 주변에 주행 속도를 파악하여 설계속도와 주행속도의 차를 알아보고 그 값이 터널과 입체교차로간의 거리에 어떠한 영향을 미치는지 검토하였다.

완산터널 3,587 m의 장대터널과 남전주 나들목이 520 m 이격되어 계획되어져 있어 최소 설계기준 값 480 m를 40 m 상회하도록 이루어져 있으며, 터널 내 종단경사는 2.64 %로 급한 경사로 계획되어 있어 차량 주행속도가 매우 빠를 것으로 판단된다.

4.1.1 완산터널 출구에서 남전주 나들목 진출램프구간 속도 검토

VISSIM 시뮬레이션 분석 입력자료는 연평균 일교통량(AADT) 43,966대/일, 침투시간 교통량(PDDHV) 2,220대/시, 용량 1,594대를 입력하여 시뮬레이션 분석을 통해 주행속도를 분석하였다.

Fig. 3에서 완산터널~남전주 나들목 구간의 VISSIM 시뮬레이션 Fig. 4와 같은 분석을 하여 차량 평균통행속도를 검토한 결과, 완산터널에서 남전주 나들목 진출램프 테이퍼 시점까지 속도분포는 Table 1과 같이 평균속도는 105.9 km로 나타났으며 속도분포를 85분위 주행속도로 검토한 Fig. 5와 같이 주행속도는 111 km/h로 설계속도 보다 11 km/h 빠른 속도를 나타내고 있어 설계속도에 의한 이격거리 계획 시 이격거리가 짧아 매우 위험한 나들목 계획이 될 수 있는 것으로 분석되었으며, 주행속도를 고려한 이격거리 계산은 기존 기준과 비교를 통하여 도출하도록 하겠다.



Fig. 3. Location Map of the Wansan Tunnel ~ South Jeonju Interchange Section

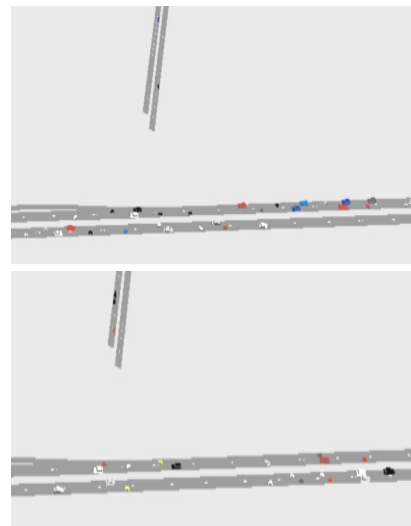


Fig. 4. Driving Simulation of Tunnel ~ Interchange Section

Table 1. Driving Simulation Results of the Velocity Distribution

Tunnel ~ Exit Ramp Taper	
No.	Driving speed (km/h)
1	109.6
2	105.8
3	106.4
4	103.9
5	102.3
6	113.1
7	105.8
8	108.7
9	100.6
10	105.8
11	103.3
Average driving speed	105.9

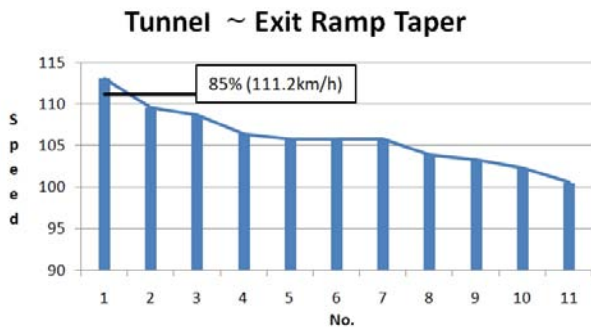


Fig. 5. Vehicle Velocity Graph of the 85th Percentile for the Tunnel ~ Interchange Section

4.1.2 남전주 나들목 진출램프 구간

Fig. 6의 남전주 나들목 진출 램프 구간 VISSIM 시뮬레이션 통한 평균통행속도를 검토한 결과 남전주 나들목 진출램프의 속도분포는 Table 2와 같이 평균 주행속도는 55.6 km/h로 나타났으며 속도분포를 85분위 주행속도로 검토한 Fig. 7과 같이 85분위 주행속도는 62.2 km/h로 나타나 설계속도인 50 km/h보다 12.2 km/h 높은 것으로 나타났다. 이는 터널에서 나온 차량이 본선의 주행속도가 높고 터널과 입체교차로의 이격거리가 짧은 경우에는 진출 램프의 속도에도 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 따라서 본선의 주행속도가 높은 곳에서는 진출 램프의 안전한 유출을 위해서는 주행속도를 고려한 이격 거리를 확보하는 것이 진출램프 차량속도를 안정시켜 안전한 차량유출이 가능한 것으로 분석되었다.

4.1.3 구간별 주행속도 시뮬레이션 검토 결론

시뮬레이션에 의한 속도 검토 결과 터널에서 나들목 시점까지는 85분위 속도가 111.2 km/h로 설계속도와와의 차이가 11.2 km/h로



Fig. 6. Location Map of the South Jeonju Interchange Exit Ramp

Table 2. Driving Simulation Results of the Velocity Distribution

Exit Ramp	
No.	Driving Speed (km/h)
1	54.4
2	50.7
3	64.7
4	57.7
5	47.8
6	55.2
7	52.2
8	60.2
9	55.4
10	58.4
Average Driving Speed	55.6

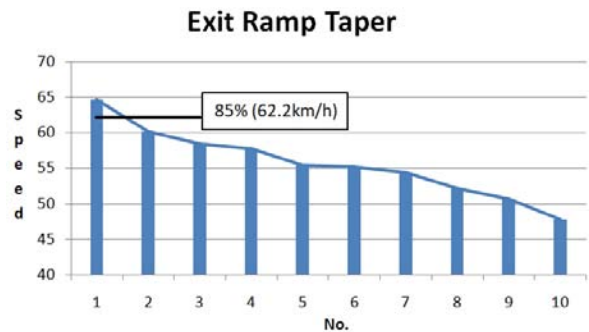


Fig. 7. Vehicle Velocity Graph of the 85th Percentile for the Interchange Exit Section

차이가 있으며 진출램프구간의 85분위 주행속도는 62.2 km/h로 설계속도 50 km/h와 12.2 km/h로 나타나 본선의 주행속도가 완화되지 않고 램프에까지 영향이 미치는 것으로 나타나고 있다. 따라서 터널 통과 후에는 나들목의 이격거리를 설계속도로 규정 짓는 것 보다 주변여건을 고려한 주행속도의 값을 적용하여 계획하는 것이 교통안전을 향상시키는 바람직한 방안이라 판단 된다.

4.2 조도순응 기준 검토

조도순응이란 운전자가 터널에서 밖으로 나왔을 때 터널안과 밖의 조도의 차이로 인하여 밝음에 대한 적응시간이 필요하다. 이 시간 동안에는 운전자가 차량을 조작하기 어려우므로 순응시간 동안의 이동구간에는 선형변화 및 차로변경이 되지 않도록 하여야한다. 터널을 나온 운전자가 직광의 영향인 눈부심으로 표지판이나 주변을 인식하지 못한다면 터널을 나온 후 주변을 판단하여 출구부로 차로를 변경하여 이동하기 매우 어려우며 차로 변경 시 매우 위험이 따르게 된다. 그리고 현재 설계기법으로는 터널의 출구부에서 직광이 나타나게 되면 직광 차단시설을 하게 되어 있으나, 직광 차단시설을 설치한 경우 차단시설로 인해 시야확보가 어렵고, 표지판을 인식하기 어려워 터널과의 이격거리 확보 시 고려하여야 할 대상으로 판단된다.

4.2.1 직광 영향 분석

새만금 방향의 터널 출구부가 서쪽으로 향하고 있어 이 지점에서는 직광의 영향이 있을 것으로 판단되어 직광 영향 범위를 분석하여 이격거리와의 관계를 살펴보고자 하였으며 수평방향 직광 분석을 시행하는 위치는 Fig. 8과 같다.

4.2.1.1 새만금 방향 수평 방향 직광 검토

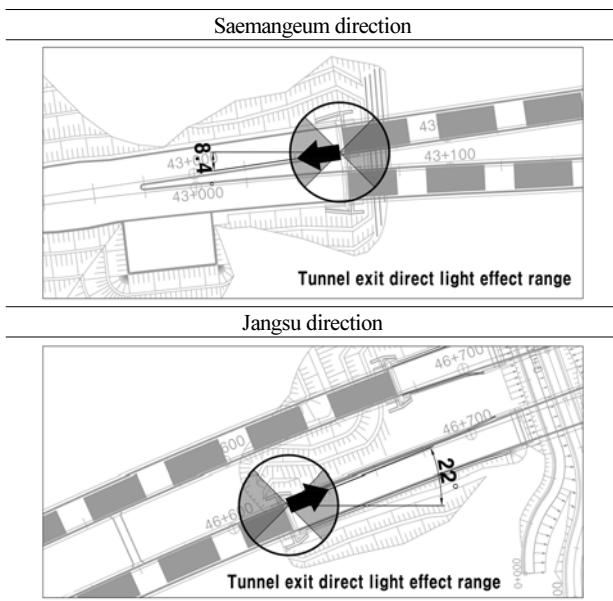


Fig. 8. Effects Analysis on the Direct Sunlight of Horizontal Direction for Tunnel Direction

4.2.1.2 새만금 방향 수직 방향 직광 검토

Fig. 9의 완산터널 출구부 직광 영향 분석 결과는 수직방향으로 3° 이상 10° 미만에서 직광 영향이 연간 88일 일간 최대 27분으로 나타나 대책이 필요하며 새만금 방향은 남전주 나들목과 근접되어 있어 차량의 차로 변경에 영향을 미치는 구간이다.

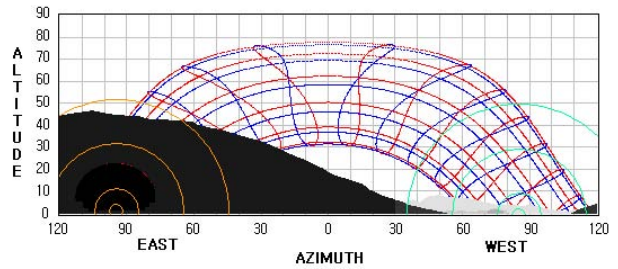


Fig. 9. Effects Analysis on the Direct Sunlight of Wansan Tunnel Saemangeum Direction Exit Section

4.2.2 직광영향 저감대책 수립

4.2.2.1 시뮬레이션 결과에 의한 직광 차단시설 설치 길이

Table 3. The Result of the Installation Analysis for the Direct Sunlight Blocking Facility

No. of blocking facility	Installation location	Blocking length of direct sunlight effects	Blocking effects of direct sunlight
3 ea	80.0m from the tunnel	98.0 m	68%

4.2.2.2 직광 영향 분석결과 검토의견

Table 3과 같이 문형식 차단시설을 3개소 설치하여 직광 영향을 차단하였을 경우 설치길이는 80 m이고, 직광 영향 차단거리 98 m로 나타났으며 차단시설을 설치하였을 경우 설치영향 검토 결과로는 직광 영향이 68% 감소하는 것으로 나타나 안전한 운행이 되도록 할 수 있다.

4.2.2.3 문형식 직광 차단 시설 설치 시 운전자 시야 영향 시뮬레이션 검토



Fig. 10. Driving Simulation of Tunnel Exit Section (1)



Fig. 11. Driving Simulation of Tunnel Exit Section (2)

4.2.3 조도순응시간에 대한 검토 결론

위의 그림에서와 같이 문형식 직광 차단 시설을 설치 할 경우 터널 내부에서 밖을 보는 Fig. 10에서 보면 출구 밖의 상황을 차단막으로 인해 알 수가 없도록 되어 있어 운전자가 터널 밖의 상황 즉 입체 교차로가 있는지를 예측할 수 없다. 또한 터널 출구 밖의 상황에서도 Fig. 11와 같이 입체교차로를 알릴 수 있는 표지판이 문형식 직광 차단시설에 가려져 운전자가 교차로 알릴 표지판을 인식 할 수가 없는 것으로 시뮬레이션 결과 나타났다. 따라서 문형식 직광 차단시설이 설치 될 경우 운전자가 직광 차단 시설을 벗어나기 전까지 표지판을 인식하지 못하고 직광 차단시설을 통과 한 후에도 조도변화가 있어 바로 주변인식이 어려우므로 직광에 영향이 있는 구간은 문형식 직광 차단시설의 설치연장을 이격거리 계산 시 포함하여 산정하는 것이 운전자가 터널 출구를 나와 조도순응을 하고 표지판 인식 후 안전하게 차로 변경하여 입체교차로로 진출할 수 있는 바람직한 거리가 될 것으로 판단된다.

4.3 차로변경시간

4.3.1 기존 기준 적용 시 차로변경에 대한 차량이동경로의 문제점

기존 기준 적용 시 차로 변경 할 경우 차로 변경 시간만 고려하였을 때 이동 동선은 차로 변경 시 바로 진출 램프로 변경해야 되는 직선적 이동을 해야 하므로 차로 변경 후 다음차로 변경 시 주변을 파악하고 인지할 수 있는 시간이 고려되어 있지 않아 차로 변경 동선이 Fig. 2와 같이 차로 변경 후 다시 바로 차로 변경 하여야 하므로 매우 위험한 주행을 하여야 한다고 볼 수 있다. 따라서 연속적인 차로 변경하는 경우에는 주변을 인식하고 판단 할 수 있는 거리를 추가하는 것이 바람직하다고 판단된다.

4.3.2 차로변경에 대한 개선방향

차로변경이 연속적으로 이루어 질 경우에 차량 한 차로 변경 후 다시 변경을 위해서는 주변여건을 파악하고 변경할 차로의 상태를 파악 후 인지하고 반응할 수 있는 시간을 추가로 적용하는 것을 계산하고 차량이동 흐름을 예측한 Fig. 12의 결과로 주행성 측면에서 더욱 안전하며 개선 할 경우의 차량의 흐름은 개선 전에 비하여 안정적인 동선인 것을 알 수 있다.



Fig. 12. Movement Path of the Vehicle Lane Change After Improvement

4.4 문제점 및 개선방안과 개선 시 이격거리 비교

위에서 설계속도, 조도순응거리, 인지반응거리, 차로 변경거리에 대하여 각 각의 문제점 및 개선방안에 대하여 결과를 종합하여 알아보고 개선전과 개선 후 이격거리를 Table 4와 같이 비교하였다.

Table 4. Comparison Table of Distances Before and After Improvement

No. of lanes (one-way)	Design Speed (km/h)	
	100	
	Current standard separation distance	Propose separation distance
2	480	600
3	750	990
4	1,030	1,370

4.4.1 문제점 및 개선방안 결과

4.4.1.1 설계속도 (V : km/h)

문제점 : 주변 여건을 고려하지 않고 설계속도 값을 고정으로 계산하여 실제 주행속도와 차이가 있음

개선방안 : 입체 교차로 위치의 주변여건 평면선형, 종단선형 주변 구조물 등의 환경을 고려한 주행 시뮬레이션을 시행하여 실제 주행속도를 예측하고 그 값을 적용하는 것이 바람직함.

4.4.1.2 조도순응거리(l_1)

문제점 : 조도순응을 설계기준에 적용하고 있지만 직광에 대한 순응 거리는 적용하지 않고있는 실정임

개선방안 : 직광 발생 시 직광 분석을 통해 저감시설 설치하고 저감시설에 의한 주변여건을 판단하기 어려울 때는 저감시설 설치거리를 교차로 이격거리에 포함하여야 한다.

직광에 의한 조도순응 저감시설 설치의 주변여건에 따라 각각 다르므로 현장상황을 분석하여 이격거리에 포함한다

4.4.1.3 인지반응거리(l_2)

문제점 : 고령화가 빠르게 진행되는 우리사회에서 고령운전자의 인지반응시간을 정확히 반영하지 못함

개선방안 : 향후 고령운전자의 증가에 따라 고령운전자의 인지반응시간은 지속적으로 변화 될 것으로 판단되므로 사회적인 인구변화를 고려하여 고령운전자의 인지반응시간을 모니터링하여 설계기준에 반영하여야 될 것이다.

4.4.1.4 차로변경거리(l_3)

문제점 : 차로변경거리는 차로 변경 후 연속적으로 차로 변경 시 차로주변 상황 판단할 시간을 고려하지 않고 있어 차로변경 동선이 안전성이 결여된다.

개선방안 : 연속차로 변경 시 다음 차로의 상황을 판단하고 인지 반응 할 수 있는 시간(t_4)을 고려한 이격거리(l_4)를 터널과 교차로간의 거리에 포함하여야 안전한 주행이 될 수 있다.

4.4.2 개선 시 이격거리 비교

개선된 이격거리 계산은 차로변경거리를 추가한 Eq. (2)로 산정하였다.

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 \quad (2)$$

$$= \frac{V \cdot t_1}{3.6} + \frac{V \cdot t_2}{3.6} + \frac{V \cdot t_3 \cdot (n-1)}{3.6} + \frac{V \cdot t_4 \cdot (n-1)}{3.6}$$

l_4 : distance of circumstantial judgement for switching lanes
 t_4 : Cognitive reaction time (2.5 sec) MLIT(2013)

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4$$

$$= \frac{111 \cdot 3\text{sec}}{3.6} + \frac{111 \cdot 4\text{sec}}{3.6} + \frac{111 \cdot 10\text{sec} \cdot (2-1)}{3.6}$$

$$+ \frac{111 \cdot 2.5\text{sec} \cdot (2-1)}{3.6}$$

$$L = 92.5\text{m} + 123.3\text{m} + 308.3\text{m} + 77.0\text{m} = 601.1 \approx 600\text{m}$$

5. 결론

현재까지 설계 시 터널과 입체 교차로 간 이격거리 계산은 설계기준에 명기된 기준에 의거하여 계산하고 그대로 적용하여 도로 계획 시 입체교차로 및 터널계획을 하여 도로의 노선을 결정하였다. 그러나 본 연구에서는 각각의 설계요소에서 문제점을 알아보고 개선하여 터널과 입체교차로간의 이격 거리에 대하여 보다 안전하고 쾌적한 주행이 가능한 도로기준 개선 사항을 제시하고자 하였다.

- (1) 설계속도는 규정에 의해 결정하고 설계에 적용 하는 것이 타당하지만 주변여건 즉 기하구조, 터널 등에 의해 지속적으로 주행속도가 높아진다는 것을 예측 할 수 있을 경우에는 주행속도를 시뮬레이션 분석을 통하여 적용하는 것이 도로 교통 안전성 측면에서 보다 바람직 할 것으로 판단된다. 본 연구의 사례는 설계속도 100 km/h에서 주행속도 111 km/h 적용 시 2차로 일 경우 터널과의 이격거리가 480 m에서 600 m로 증가되는 것으로 분석되 주행속도를 고려한 이격거리 적용이 필요한 것으로 나타났다.
- (2) 조도 순응거리는 일반적인 경우인 터널 내 조도와 터널 밖의 조도차이를 순응 할 수 있는 시간을 반영한 기준을 따라 적용하고 있으나 밖의 조도가 직광의 영향을 받아 눈을 뜰 수가

없을 경우에는 현재까지의 설계에서는 직광차단 시설 설치를 하고 차단시설로 인한 전방 교차로 인지성 저하에 대하여서는 전혀 고려하고 있지 않고 있다. 직광 차단시설을 설치하는 표지판과 높이가 같아 전방교차로를 알려 줄 수 있는 표지판을 볼 수가 없어 운전자가 교차로를 인지 할 수가 없고 직광을 순응할 수 있는 시간을 반영하지 않아 직광이 있는 경우에는 터널과 교차로간 간격이 짧을수록 교통 안전상 매우 큰 문제가 발생할 수 있으므로 이에 대한 영향을 고려하여야 한다. 본 연구 사례에서는 직광 분석결과 80 m의 차단시설을 설치가 필요하므로 최소 이격거리에서 80 m를 이격거리 계산 시 추가하여야 하며 이 추가거리는 각각의 지역특성에 따라 변하므로 직광 분석을 통하여 저감시설을 계획하고 이격 거리에 포함하여야 한다.

- (3) 차로 변경 거리에서는 한번 차로 변경 시 안전하게 변경이 가능하나 연속적으로 차로를 변경하는 다 차로 구간에서는 현재의 기준으로는 연속적 차로 변경이 매우 위험한 차량 동선이 이루어지므로 한번 변경 후 다음 차로의 상황을 판단할 수 있는 인지·반응시간 2.5초를 포함하여 설계속도 100 km/h 2차로 변경일 경우 77 m 길이를 터널과 입체 교차로간 이격거리 포함하여야 문제점을 해소 할 수 있다. 터널과 입체교차로간의 간격은 터널 계획과 입체교차로 계획을 결정하지만 더 크게는 도로의 노선을 결정하는 중요한 요소이고 주행자 측면으로는 전방시야가 제한적인 터널과 차량의 차로변경을 급하게 하는 교차로가 근접할 경우에 매우 위험한 상황에 처하게 되므로 보다 안전한 설계기준 정립이 필요하다.

References

- Kim, K. N., Jo, S. H., An, J. H. and Kim, N. S. (2016). "A study on the evaluation criteria of pavement condition using investigation equipment of bicycle road." *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, Vol. 36, No. 6, pp. 1125-1131 (in Korean).
- Kim, S. H., Kim, K. N. and Kim, N. S. (2018). "A applicability study on the asphalt concrete pavement condition index in narrow regional roads using road crack." *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, Vol. 38, No. 3, pp. 467-475 (in Korean).
- Korea Expressway Corporation (2012). *A study on the underground highway planning and operation plan* (in Korean).
- Ministry of Land Infrastructure and Transport (MLIT) (2012a). "*Rules on the structural and facilities standards of roads* (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT) (2012b). *Road design manual*, pp. 218-11-218-13 (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT) (2013). *Explanation of rules on the standards of road structure and facilities*, p. 21 (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT) (2016). *Guidelines for national road design*, p. 21 (in Korean).