

가상주행 시뮬레이터를 활용한 시선유도시설 효과평가 연구

Evaluation of Effectiveness on Delineation System Using Virtual Driving Simulator

박 제 진	Park, Jejin	정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원 · 교신저자 (E-mail : jjpark@ex.co.kr)
김 덕 녕	Kim, Ducknyung	한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원 (E-mail : k999@ex.co.kr)
박 용 진	Park, Yongjin	정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 연구원 (E-mail : yjpra@ex.co.kr)
송 원 철	Song, Wonchul	케이제이아이디씨(주) 대표이사 (E-mail : mview@hanmail.net)

ABSTRACT

PURPOSES : Traffic safety facilities are used to prevent traffic accidents before they occur by providing drivers with information on traffic situations and the geometric design of roads. However, some facilities not defined in guidelines do not meet installation criteria, yet are being installed and used in order to increase efficiency in traffic flow and prevent traffic accidents in a specific expressway zone. In this study, we have evaluated the effect of delineation system which are not defined in the guideline criteria.

METHODS : Different virtual scenarios were created for roads using expressway median barrier chevron signs, with a driving simulator used to evaluate the installation and operational effect of such signs. Ten experiments were performed with left- and right-curved roads at curve radius intervals of 500 m, from 500 m to 2,500 m.

RESULTS : For sections with a curve radius of more than 1,500 m, drivers had a clear tendency toward stable driving regardless of delineation system. When a chevron sign is installed on a protection fence in the road curving left, an expanded installation is recommended up to the section with a curve radius of 1,000 m. According to the analysis results for the RHB (Relative High Beta spectrum), driving concentration also improved up to a curve radius of 1,000 m.

CONCLUSIONS : The experiment result indicates the extent of biasing within a lane and the manipulation amount of steering handle, were analyzed and found to be affected by curve radius and road alignment regardless of delineation system.

Keywords

Driving Simulator, Facility Evaluation, Delineation System, Driving Stability, Concentrativeness EEG

Corresponding Author : Park, Jejin, Research Director, Ph.D.
Korea Expressway Corporation, Research Institute, 208-96,
Dongbu-daero 922beon-gil, Dongtan-myeon, Hwaseong-si,
Gyeonggi-do, 18489, Korea
Tel : +82.31.8098.6334 Fax : +82.31.8098.6339
E-mail : jjpark@ex.co.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (Print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Aug. 21, 2017 Revised Aug. 22, 2017 Accepted Sep. 29, 2017

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

시선유도시설(Delineator Facilities)은 도로법 제3조와 도로법 시행령 제13조의 3에 의거한 도로의 부속물

로서 도로선형을 명시하여 주간/야간에 운전자의 시선을 유도하기 위하여 설치하는 시설이다. 해당 시설에는 갈매기표지, 시선유도봉, 텔리네이터, 노면도색, 빗금표지, 표적표지 등이 포함된다. 여러 시선유도시설 중 갈

갈매기표지(Chevron Alignment Sign)와 델리네이터(Delineator, 시선유도표지)가 도로의 선형 및 굴곡 정도를 운전자가 명확히 인식할 수 있게 돕는 대표적인 시설물로 활용되고 있다.

갈매기표지는 도로의 평면선형이 급격히 변화되는 곡선부에 설치하여 운전자에게 전방의 선형정보를 전달하고 시선을 유도하여 안전운전을 도모하는 시설로서 델리네이터를 보조하거나 대체하는 용도로 사용될 수 있도록 정의된 시설물이다. 델리네이터는 야간에 자동차 전조등으로부터 조사된 빛이 들어오는 방향(입사)과 근사한 방향으로 되돌려 반사(반사)하여, 전방의 선형정보를 인지하게 함으로써 차량의 도로 이탈사고를 예방할 수 있도록 도와주는 반사체 시설물이다. 해당 시설은 고속도로, 연결로, 지방부 도로의 2차선 양방향 도로, 상대적으로 긴 직선구간 및 도로의 폭이 변화되는 짧은 직선구간 등의 장소에 폭넓게 적용되고 있다.

두 시선유도시설의 설치현황을 설치기준에 비추어 살펴보았다. 두 시설의 설치기준¹⁾에 따르면, 갈매기표지는 설계속도 100km/h 도로에서 곡선반경 550m 이하의 구간에만 설치하도록 되어 있다. 국내 고속도로 상에는 4,378개의 곡선부 구간이 존재하며, 이 중 전체 고속도로 노선에 갈매기표지가 설치된 구간은 총 750개소이다. Fig. 1에 고속도로 곡선부에 대한 곡선반경별 비율을 나타내었다. 곡선반경이 500m 초과 1,000m 이하인 구간이 29.8%로 가장 많은 비율을 차지한다.

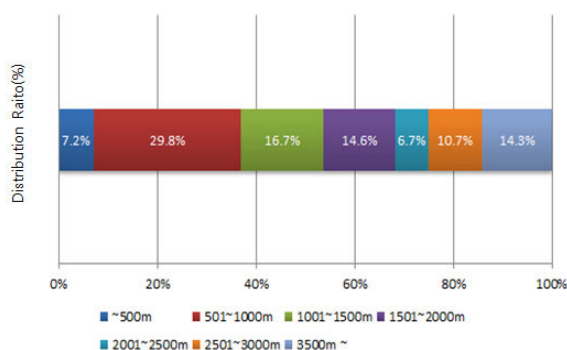


Fig. 1 Present Distribution of Curve Section on Expressway

고속도로에서 설치·운영되고 있는 갈매기표지의 설치현황을 곡선반경별(500m 간격, Fig. 2)로 분석한 결과, 곡선반경 500m 이하의 구간에 설치된 갈매기표지는 26.1%에 불과하며, 전체 갈매기표지의 약 64.1%가 곡선반경 500m 초과 2,500m 이하의 구간에 설치되어 있다.

1) 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」(국토교통부, 2013)

요컨대, 현재 고속도로에는 곡선반경에 따른 갈매기표지의 권장 설치기준($R \leq 550m$) 이외의 구간에서도 다수 설치되어 있어, 실험을 통해 기존 설치기준의 적정성 및 조정 가능 여부를 판단할 필요가 있다.

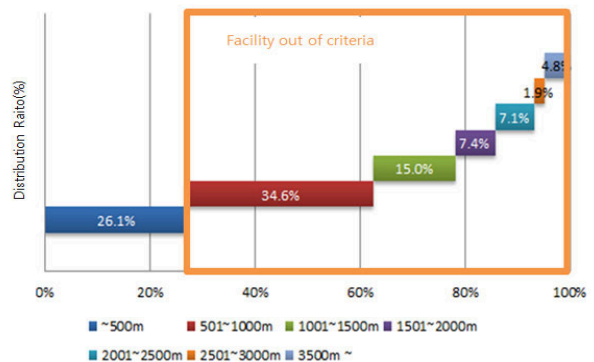


Fig. 2 Chevron Sign Distribution Ratio per Curve Section on Expressway

시선유도시설 설치기준은 국토교통부의 「도로안전시설 설치 및 관리 지침·시선유도시설편」(2014)에 제시되어 있지만, 기존에는 공학적 판단에 근거한 설치기준(크기, 높이, 간격 등)만으로 한정되어 운전자의 주행안전성은 고려되지 못한 한계점이 존재한다. 현장에 설치된 상태도 시설 관리 주체별로 상이하여 주행안전성이라는 측면에서 해당 기준을 재검토할 필요가 있다. 또한, 기존 연구에서는 두 가지 시설에 대한 교통안전성 측면의 효과평가를 다양한 곡선반경별로 분석한 경우가 없음을 확인하였고, 이를 바탕으로 연구의 수행 목적을 정하였다.

따라서 본 연구에서는 가상현실 기반의 도로주행 시뮬레이터를 통해 갈매기표지와 델리네이터 두 가지의 시선유도시설에 대한 설치효과를 검증하고, 개별 운전자(피험자) 주행행태 및 심리적 안정성을 파악함으로써 바람직한 시선유도시설의 설치기준을 제시하고자 한다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

시선유도시설의 설치현황을 살펴본 결과, 대다수의 갈매기표지가 현행 설치기준에 어긋나는 규정으로 설치 및 관리되고 있는 것으로 확인되었다. 이에 따라 본 연구에서는 갈매기표지의 설치기준 및 효과를 분석·검증하였고, 델리네이터와의 쌍대비교를 통해 운전자에게 보다 효과적인 시선유도 기능을 보이는 시설물이 무엇인지 판단하는 것을 연구의 주된 목적으로 설정하였다.

이를 위해, 가상으로 구축된 도로구간 내에 갈매기표

지와 텔레메타의 설치위치 및 곡선반경이 조합된 20 가지 시나리오를 구상하여 운전자(피험자) 주행 실험을 통해 감속 시점(주행속도의 차이) 및 심리적 안정성을 측정하였다.

곡선부의 곡선반경별·시나리오별 가상환경 주행실험을 위해 운전자(피험자)를 선정하였으며, 운전자(피험자)는 가상현실 기반의 도로주행 시뮬레이터 실험 전 사전 주행을 통해 시뮬레이터 증후군(Simulator sickness) 유발 여부를 판별하였다.

운전자(피험자)는 주행실험의 대표성을 가지도록 연령 및 성별을 동일하게 구분하였다. 운전자(피험자) 평균 연령은 37.5세(SD=10.6세), 평균 운전경력은 12.4년(SD=6.9년)이며, 운전자(피험자) 모두 고속도로에서 사고경험이 없는 것으로 조사되었다. 실험에 참여한 운전자(피험자) 구성은 Table 1과 같다.

Table 1. Subjects' Characteristics

Division	Contents	
Ages	20's	8 People
	30's	9 People
	40's	8 People
	50's	5 People
Gender	Man	14 People
	Woman	16 People
Driving experience	1year over ~ 5year below	11 People
	5year over ~ 10year below	3 People
	10year over	16 People
Accident experience	Expressway	0 People
	National Highway	13 People
Daily average mileage		19 km

본 연구의 내용은 크게 4가지 단계로 구분지어 진행하였다. 첫째, 갈매기표지의 설치기준 및 현황을 살펴보고, 이를 고려하여 총 20개의 시나리오를 구상하였다. 둘째, 구축된 실험시나리오를 이용하여 가상환경 주행실험을 수행하였으며, 주행실험 시 운전자의 생체 반응 분석을 위해 뇌파 측정을 병행 추진하였다. 셋째, 운전자의 주행패턴 및 생체신호에 관한 가상주행 시뮬레이터 자료와 뇌파 자료를 20m 단위로 통합하여 매칭하였다. 넷째, 구축된 자료를 기반으로 운전자의 감속 시점(주행속도 편차) 및 운전자의 심리적 부하를 평가하였다. 본 연구를 수행하기 위한 연구절차는 Fig. 3과 같다.

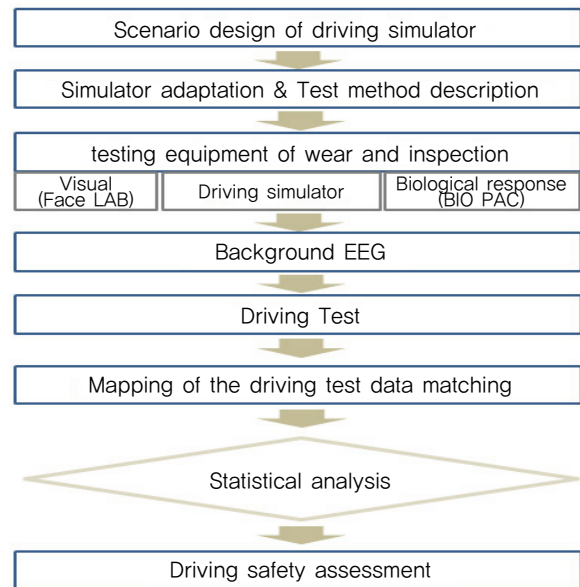


Fig. 3 Flow Chart for Research

2. 기존 연구문헌 고찰

2.1. 시선유도시설 관련 설치 지침

갈매기표지는 국토교통부에서 발간한 「도로안전시설 설치 및 관리 지침-시선유도시설편」(2014)에 따라 도로의 갓길 우측단 방호울타리 설치단에 대형이 설치되고, 중앙분리대에는 표준형 설치를 원칙으로 하고 있다.

Table 2와 같이 현행 갈매기표지의 적용 지침은 설계속도 100km/h인 고속도로에서 곡선반경 550m 이하인 구간에만 갈매기표지가 설치 가능한 것으로 적용하고 있다.

「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」(2013)에서는 곡선부의 곡선반경을 해당 차도의 설계속도에 따라 Table 2와 같이 최소 곡선반경으로 규정하고 있다. 그러나 현실적인 제약조건을 감안하여 최소 곡선반경을 1.5배까지 확대하여 설치·운영할 수 있다는 유예 설치기준을 적용하고 있는 실정이다.

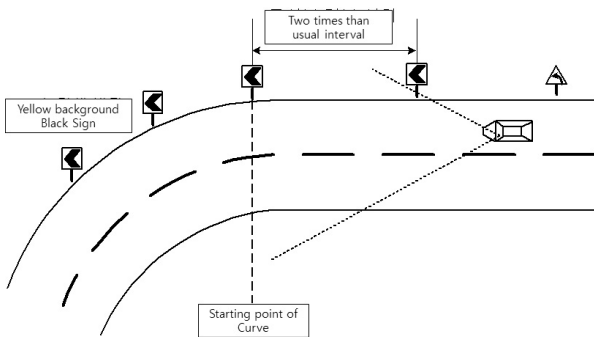
Table 2. Chevron Sign Installation Guideline

Design speed (km/hour)	Minimum curve radius (m)	Curve radius for chevron sign (m)
120	710	770
110	600	650
100	460	550
90	380	420
80	280	340
70	200	250
60	140	180
50	90	120
40	60	80
30	30	45

갈매기표지의 설치간격은 도로의 곡선반경에 따라 Eq. (1)에 의해 산출한다. 주행속도가 높은 자동차전용 도로나 간선도로의 경우 진입부 전이구간에는 Fig. 4와 같이 해당 곡선부의 설치간격의 2배를 취한 위치에 갈매기표지를 추가 설치한다.

$$S = 1.65 \sqrt{(R - 15)} \quad (1)$$

여기서, S : 설치간격(m)
 R : 곡선반경(m)



Source: MOLIT(2014). 'Road Safety Facilities' Installation and Management Guidelines'. Ministry of Land, Infrastructure and Transportation, Korea.

Fig. 4 Example of Chevron Sign Installation Related to Installation Interval

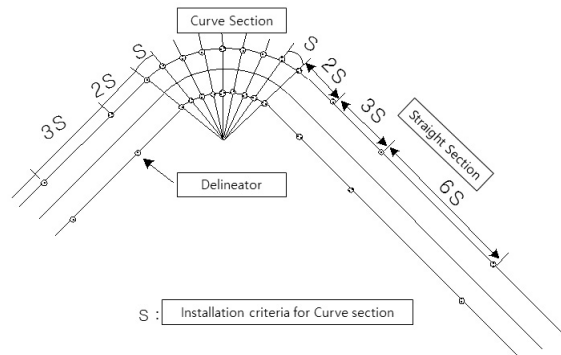
델리네이터는 원활한 시선유도를 위해 도로구간을 따라 연속적으로 설치되며, 도로의 곡선반경에 따른 설치간격은 Table 3의 기준을 준수한다. 곡선에서 직선 또는 직선에서 곡선으로 연결되는 변이구간에 대해서는 델리네이터가 시각적으로 연속성 있게 보이도록 Fig. 5에서 제시된 바와 같이 설치간격을 조정하는 것이 필요하다. 이 때, 설치간격(S)은 Eq. (2)를 통해 산출된다.

Table 3. Delineation Facility Installation Guideline

Curve radius (m)	Installation interval (m)	Curve radius (m)	Installation interval (m)
Less than 50	5.0	406 ~ 500	22.5
51 ~ 80	6.5	501 ~ 650	25.0
81 ~ 125	10.0	651 ~ 900	30.0
126 ~ 180	12.5	901 ~ 1,200	35.0
181 ~ 245	15.0	1,201 ~ 1,550	40.0
246 ~ 320	17.5	1,551 ~ 1,950	45.0
321 ~ 405	20.0	More than 1,951	50.0

$$S = 1.1 \sqrt{R - 15} \quad (2)$$

여기서, S : 설치간격(m)
 R : 곡선반경(m)



Source: MOLIT(2014). 'Road Safety Facilities' Installation and Management Guidelines'. Ministry of Land, Infrastructure and Transportation, Korea.

Fig. 5 Delineation Facility Installation Guideline Related to Installation Interval

2.2. 시선유도시설 효과평가 관련 연구 검토

교통안전시설 및 시선유도시설의 효과평가와 관련된 학술 연구는 국내·외에서 활발히 진행된 바 있다.

한국도로공사 도로교통연구원(2008, 2014)에서는 교통안전시설물에 대한 교통사고 감소효과를 정량적으로 제시하였고, 경험적 베이지안 방법을 이용하여 시선유도시설의 설치효과를 확인한 결과, 약 40%의 사고 감소 효과가 있는 것으로 분석하였다.

FHWA(2016)는 지방부 도로에 새로운 갈매기표지 설치 또는 기존 반사도 향상을 통한 사고 감소효과가 18~35% 있다고 분석하였다. James(2010)는 곡선부의 시선유도시설이 64%의 사고 감소효과를 나타낸다고 분석한 바 있다.

박제진 외(2008)는 운전자의 시인거리와 시각행태를 기반으로 갈매기표지의 새로운 설치기준을 제시하였다. 시인거리를 정지시거로 가정하여, 운전자의 주시영역폭을 고려함으로써 도로선형에 따라 갈매기표지 설치기준을 제시하였다. 운전자의 시각행태를 고려하지 못하는 기존의 갈매기표지 설치의 문제점과 곡선 시점부에 밀집되는 현상을 극복하기 위하여 운전자 시각행태와 평면선형 요소를 고려하여 운전자의 일관된 시인성을 유도하는 갈매기표지 설치기준을 제시하였다.

Carlson(2004)은 운전자의 행동 반응실험을 바탕으로 고속도로 곡선부의 곡선반경에 따라 운전자의 시야

를 고려한 텔리네이터와 갈매기표지의 적정 설치간격을 제시하였다.

전우훈 외(2006)는 운전자의 행태를 통한 시선유도시설의 효과를 검증하고, 도로의 기하구조에 따라 어떤 시선유도시설의 효과가 우수한지에 대해 그 결과를 제시하였다. 야간에 운전자는 시선유도시설이 설치된 경우 도로선형 인지에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 직선구간에서는 표지병보다 텔리네이터의 인지거리가 길고 곡선부에서는 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한 갈매기표지는 곡선부에서 인지거리가 가장 큰 것으로 나타났으며, 표지병은 인지거리와 측방위치에서 큰 차이를 보이지 않았다.

권성대 외(2012)는 다양한 형태의 시선유도시설(갈매기표지, 텔리네이터)의 시인성 정도를 분석하였다. 해당 연구에서는 재귀반사식과 내부조명식 시선유도시설을 비교·분석한 후, 시인성 측면에서 안전한 시선유도시설물을 제시하였다. 실험 결과, 전반적으로 재귀반사식보다 내부조명식 시선유도시설의 밝기에 대한 시인성, 속도감속 필요성, 안전성이 더 좋은 것으로 나타나 해당 형태가 도로선형에 대한 정보를 더 효과적으로 제공하는 것으로 분석되었다.

Yiping Wu 외(2013)는 갈매기표지에 대한 효과 및 운전자 반응에 대한 연구를 수행하였다. 해당 연구에서는 차량시뮬레이터를 활용하였으며, 실험은 고속도로 램프 구간에서 갈매기표지의 유무에 따라 운전자의 행동 반응, 안구 운동, 생체반응을 동시에 측정 분석하였다. 갈매기표지가 설치된 도로의 경우, 운전자는 차량 속도를 더 낮추려는 경향을 분석 결과로 제시하였다.

생체신호인 뇌파(EEG)를 활용하여 도로시설 설계 및 평가에 활용한 연구가 진행된 바 있다.

임준범 외(2012)는 현장 주행실험을 통해 고속주행 시 운전자 불안뇌파를 분석하고 불안뇌파에 영향을 미치는 요인을 연구하였다. 주행속도와 불안뇌파와의 관계, 도로 기하구조와 불안뇌파와의 관계를 분석하였다. 연구결과를 살펴보면, 150km/h를 초과하여 주행할 경우 불안뇌파수치가 낮은 속도에 비해 증가함을 나타내고 기하구조에 따라 특히, 좌곡선과 내리막 경사에서 불안뇌파가 증가하는 경향이 있음을 나타냈다. 또한, 2013년 연구로 상이한 설계속도에 따른 운전자의 β 파²⁾를 시뮬레이터 실험을 통해 분석한 결과, 불안뇌파가 증가하는 시점 속도를 통계적으로 검정하여 실제 도로를

주행할 때 불안뇌파 증가시점보다 약 30km/h 높게 나타남을 확인하였다. 더하여, 설계속도가 90km/h인 도로와 100km/h 도로는 같은 속도에서 불안뇌파가 증가하여 도로의 선형과 규격에 차이가 적음을 제시하였다.

김주영 외(2011)는 운전자의 심리생리적 특성을 파악하고자 뇌의 뇌파신호를 이용하여 현장 주행실험과 시뮬레이션 실험을 수행하였다. 시뮬레이터 효과는 현장 주행실험 계측치와 약 10% 이내의 차이를 보이는 것을 고려할 때, 현장 주행실험치와 10% 이내의 차이를 보이는 시뮬레이터 주행실험치의 90% 범위값이 운전자의 특성으로 적정한 것으로 분석하였다.

도로주행 중 발생하는 뇌파를 수집하고 수집된 자료를 바탕으로 도로 기하구조에 따른 변화, 주행시간에 따른 변화 등 요인을 추출하고 분석을 실시한 연구를 확인할 수 있다. 이에 따라, 본 연구에서도 불안뇌파를 가상 주행 시뮬레이터 실험 분석 시에 활용하였다.

기존 연구에서는 교통안전 시설물별 설치 지침과 이를 개정하기 위한 실험조건을 통제하는 방식으로 비교 분석이 시행되었다. 본 연구에서는 다양한 곡선반경에 대한 운전자 주행행태에 초점을 맞춰 가상주행 시뮬레이터를 활용한 도로 기하구조별 교통안전시설의 설치효과를 정량화하는 것을 연구의 주된 목표로 설정하여 실험을 수행하였다.

3. 가상환경 주행실험 설계

시선유도시설은 갈매기표지와 텔리네이터 두 가지로 구분되며, 갈매기표지는 설계속도 100km/h, 곡선반경 550m 이하의 곡선구간에만 설치하도록 규정되어 있다. 하지만, 고속도로 상에는 곡선반경 550m 이상의 곡선 구간에도 설치·운영되고 있는 상황으로, 설치기준에 대한 재검토가 필요하다. 따라서 시선유도시설 2개(텔리네이터 Ø100, 갈매기표지) 변인, 설치위치 2개(방호울타리, 중앙분리대) 변인, 곡선반경 5개(500m 이하, 501~1,000m, 1,001~1,500m, 1,501~2,000m, 2,001~2,500m, 2,501m 이상) 변인으로 구분한 총 20가지(2×2×5)의 시나리오를 Fig. 6과 같이 구성하였다. 시나리오 구성은 피험자가 전방의 도로구간을 예측할 수 없도록 무작위로 선정하여 배열하였다. 또한, 모든 시나리오에 갈매기표지 혹은 텔리네이터를 선택·반영하였으며, 두 시설이 동시에 설치되는 경우를 배제하였다. 갈매기표지의 설치는 국토교통부의 「도로안전시설 설치 및 관리 지침-시선유도시설편」(2014) 지침에

2) 운전자가 불안감을 느끼는 주파

따라 도로의 갓길 우측단 방호울타리에 대형이 설치되고, 중앙분리대에는 표준형을 설치하는 원칙을 실험 시나리오에 반영하였다. 시설은 2.5km별로 설치하였다.

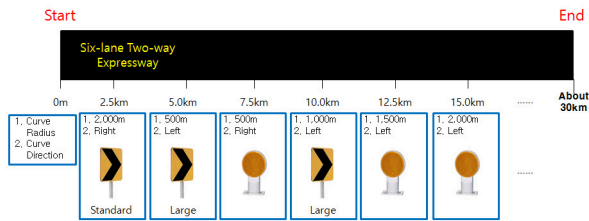
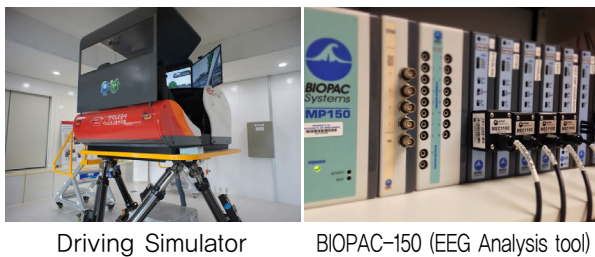


Fig. 6 Scenario for Delineation Facility Evaluation

가상주행 시뮬레이터는 안전한 실험실 내에서 위급상황까지 포함하는 다양한 주행상황을 반복적으로 재현 가능하며, 모든 실험자에게 동일 상황을 설정·제공함으로써 운전 상황 변화에 따른 변수를 배제할 수 있는 장점이 있다. 본 연구는 Fig. 7과 같이 한국도로공사에서 보유하고 있는 실험 장비인 가상주행 시뮬레이터 및 BIOPAC(생체신호측정장비)를 활용하여 실험을 수행하였다.



Driving Simulator BIOPAC-150 (EEG Analysis tool)

Fig. 7 Virtual Driving Test Equipment

가상주행 시뮬레이터를 이용한 고속도로 가상환경 주행실험에서 저장 가능한 데이터는 차량주행 자료, 고속도로 기하구조 자료, 교통상황 자료, 생체신호 자료로 구성된다. 운전자 조작 자료는 조향핸들, 가감속 페달, 다기능 기기 등이 있으며, 차량 주행 시뮬레이션 결과 자료는 속도, RPM, 가감속도, 위치 좌표, 차량 거동 특성 등이 구득된다. 피험자가 시선유도시설물의 인지 및 반응 위치를 추적하고, 이 때 피험자가 주행에 필요한 판단, 행동하는 일련의 과정 등을 분석하기 위해 뇌파, 심전도, 주행패턴 등을 주행거리 20m 간격으로 측정하였다. 두 개의 측정 장비 간에 동기화가 되어 있지 않아 실험 결과 분석 시, 시나리오별 시작시간을 기준으로 데이터 매칭을 구현하였다. 장비별로 측정된 데이터를 동기화한 후 분석지표별로 모든 피실험자의 시설 전후 300m 거리에 해당하는 값을 평균적으로 산정하였다.

4. 주행실험 분석결과

4.1. 감속시점 분석

곡선반경별로 주행속도 및 감속시점을 분석하여 시선유도시설의 효과를 살펴보았다. 실제 분석에서는 운전자가 전방의 시선유도시설 혹은 곡선반경을 인지하였을 때를 감속 시점으로 해석하였다. 곡선구간 진입 전 시선유도시설별 감속시점을 분석한 결과, Fig. 8과 같이 곡선반경 500m 실험에서 두 시설로 인한 감속시점의 위치가 유사하게 나타나는 것으로 확인되었다. Fig. 9와 같이 곡선반경 1,000m 실험에서는 갈매기표지 설치 시나리오의 감속시점이 곡선 진입 전 400m, 델리네이터 설치 시나리오의 감속시점이 곡선 진입 전 150m로 나타나 갈매기표지 설치 시나리오의 감속시점이 델리네이터 설치보다 곡선 진입 전 위치에서 약 2.5배 수준의 감속주행 유도가 이루어지는 것으로 분석되었다. Fig. 10과 Fig. 11에서 나타나듯이, 곡선반경 1,500m 및 2,000m 실험 분석 결과, 갈매기표지와 델리네이터 간 감속시점 및 주행속도간 차이는 미미한 것으로 분석되었다.

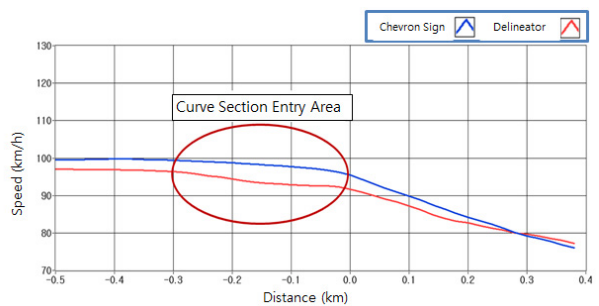


Fig. 8 Left Curve Section by Curve Radius (R=500m)

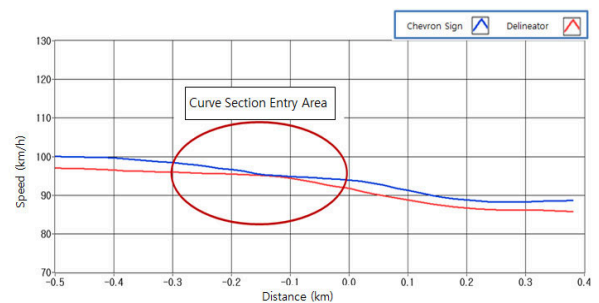


Fig. 9 Left Curve Section by Curve Radius (R=1,000m)

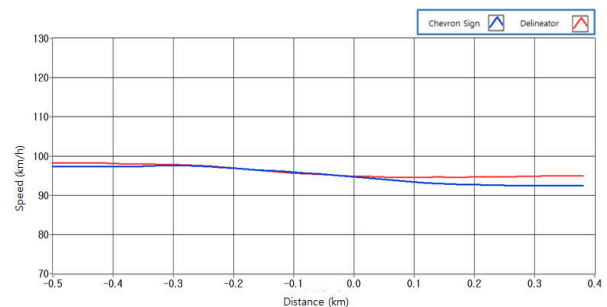


Fig. 10 Left Curve Section by Curve Radius (R=1,500m)

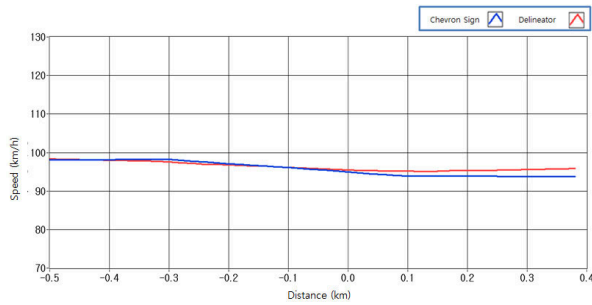


Fig. 11 Left Curve Section by Curve Radius (R=2,000m)

4.2. 주행속도 표준편차 분석

Fig. 12 및 Table 4에 제시된 바와 같이 곡선반경 500m 및 1,000m 좌곡선 구간에서 갈매기표지와 델리네이터가 설치된 경우를 비교 분석한 결과, 통계적으로 유의미한 차이가 관측되었다. 곡선반경 500m인 곡선부에서는 갈매기표지가 설치된 경우, 델리네이터 설치 대비 주행속도 표준편차가 41.1% 이하로 감소하는 결과를 보이며, 곡선반경 1,000m인 곡선부에서는 64.5%로 감소하는 결과를 나타낸다. 보다 적은 주행속도 표준편차는 완만한 감속 패턴을 의미하여 주행안전성이 확보되는 것으로 해석할 수 있다.

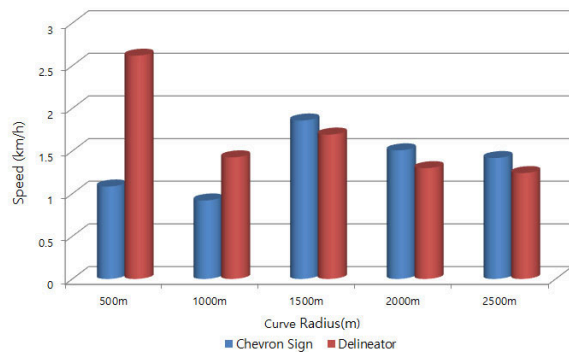


Fig. 12 Standard Deviation of Driving Speed per Curve Radius (Left Curve)

Table 4. Standard Deviation of Driving Speed per Curve Radius (Left Curve)

Classification	500m	1,000m	1,500m	2,000m	2,500m
Chevron sign	1.084	0.92	1.858	1.508	1.418
Delineator	2.618	1.426	1.693	1.299	1.241
p-value	0.035*	0.064**	0.74	0.443	0.676

* : 90%, ** : 95% Statistical significant at the 95% Level of Confidence

Fig. 13 및 Table 5에 제시된 바와 같이 곡선반경 500m 및 1,000m의 우곡선 구간에서 두 시설물 간 차이를 비교·분석한 결과 통계적으로 유의미한 차이가 없

는 것으로 확인되었다. 우곡선 구간의 경우 표준형 크기의 갈매기표지가 설치되어 대형에 비해 상대적으로 시인성이 저하되어 통계적 유의성이 확보되지 않는 것으로 판단된다.

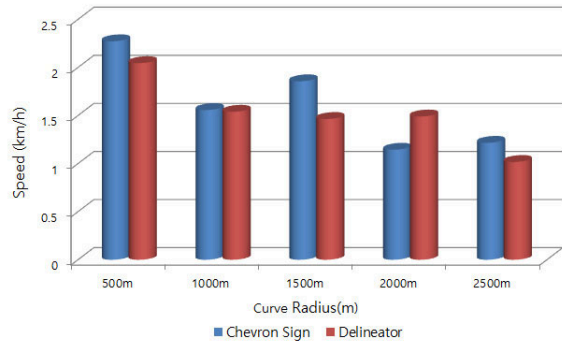


Fig. 13 Standard Deviation of Driving Speed per Curve Radius (Right Curve)

Table 5. Standard Deviation of Driving Speed per Curve Radius (Right Curve)

Classification	500m	1000m	1500m	2000m	2500m
Chevron sign	2.272	1.557	1.856	1.144	1.216
Delineator	2.045	1.539	1.464	1.49	1.017
p-value	0.76	0.962	0.328	0.342	0.532

4.3. 생체반응 분석

뇌전도(Electroencephalogram, EEG)는 신경계에서 뇌신경 사이에 신호가 전달될 때 생기는 전기 신호를 의미하며, 뇌의 활동 상황을 측정하는 중요한 지표이다. 뇌파의 종류는 주파수와 진폭에 따라 γ 파, β 파, α 파, θ 파, δ 파로 구분되며, 주파수별로 서로 다른 의미를 갖는다. 예를 들어, 고도의 집중으로 인해 뇌파의 주파수가 좁고, 진폭이 빠를 경우 β 파, γ 파가 발생빈도가 높고, 수면 및 가수면 상태에서는 δ 파, θ 파의 발생빈도가 높아진다. 이와 같이 뇌파의 진폭 및 주파수의 형태에 따라 운전자의 심리적 상태를 실시간으로 파악할 수 있는 장점이 있다. 이에 본 연구에서는 곡선반경별 운전자의 심리적 안정성을 평가하기 위해 뇌파 지표 중 편안함의 의미를 가진 RFA(Relative Fast Alpha)파 지표를 활용하였으며, 지표 산출식은 Eq. (3)과 같다. 해당 식은 4~50Hz 사이에서 발생하는 뇌파인 전체 뇌파 대비, 주행거리가 증가할수록 운전자의 집중도가 저하될 때 α 파(8~11Hz)가 높아지는 점에 착안하여 해당 값을 식의 분자에 대입한다. RFA 값이 높을수록 보다 편안한 주행행태를 대변한다.

$$RFA = \frac{8 \sim 12.99H_z(\alpha\text{파})}{4 \sim 50H_z} \quad (3)$$

곡선반경별 RFA와 지표를 분석한 결과, Fig. 14와 같이 좌곡선 및 우곡선 모두 델리네이터가 설치된 구간보다 갈매기표지가 설치된 구간에서 피험자의 집중도 뇌파가 상대적으로 낮게 표출되어 심리적으로 안전성을 느끼고 있는 것으로 분석되었다.

이상의 분석결과를 종합해 보면, 갈매기표지는 100km/h의 주행속도 시 곡선반경 550m 이하인 구간에 설치하도록 규정하고 있으나, 델리네이터에 비해 갈매기표지의 효과를 비교·분석해 보았을 때, 곡선반경 1,000m 구간에서도 운전자의 주행안전성을 제고하는 것으로 분석되었다. 좌곡선 및 우곡선 곡선반경 1,000m 구간의 경우, 95%의 신뢰수준에서 통계적 유의성이 확보(p < 0.05)됨에 따라 두 시설간 차이가 있는 것으로 나타났다. 해당 곡선반경 외는 데이터 취득 오류의 발생으로 분석이 불가능하였다.

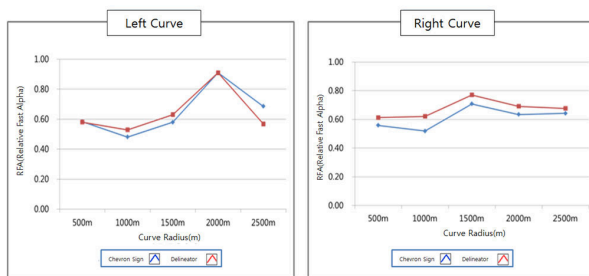


Fig. 14 EEG analysis of Delineator Facility Concentration per Curve Radius

5. 결론 및 향후 연구과제

5.1. 결론

운전자에게 도로의 선형 및 굴곡 정도를 인지할 수 있도록 돕는 시선유도시설의 관련 규정은 旣 수립된 바 있으나, 권장 설치기준 이외의 구간에서도 무분별하게 설치되어 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 유관 지침의 확장 필요성을 검토하고, 이를 주행안전성 측면으로 분석하기 위한 학술적 방법론을 제안하였다.

본 연구에서는 시선유도시설별(갈매기표지와 델리네이터) 설치효과를 검증하기 위해 20가지 실험 시나리오를 구축하고, 피험자 30명을 대상으로 뇌파, 감속시점, 주행속도 등을 측정하였다.

곡선부 진입구간에서의 감속시점 및 주행속도 표준편

차를 분석한 결과, 곡선반경 1,000m 이하인 좌곡선 구간에서는 갈매기표지가 보다 안정적인 감속을 유도하는 것으로 분석되었다.

피험자의 뇌파를 분석한 결과, 좌/우곡선 및 곡선반경과 상관없이 갈매기표지가 델리네이터에 비해 보다 우수한 주행안전성을 제공하는 것으로 분석되었다.

이상의 결과를 종합해 보면, 갈매기표지는 곡선반경 1,000m 곡선부까지 매우 효과적인 것으로 나타난다. 운전자의 감속을 유도하고 곡선반경에 대해 인지하도록 돕는 갈매기표지는 실험 결과를 통해 기존 곡선반경 550m 이하 구간에서 적용 범위를 넓혀 1,000m까지 확대할 필요가 있음을 권고할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 고속도로의 효율적 안전관리는 물론 도로 이용자들의 주행안전성 향상에 도움이 될 것으로 판단된다. 또한, 국토교통부의 「도로안전시설 설치 및 관리지침」 및 유관지침의 개정 시 기초자료로 충분히 활용이 가능할 것으로 판단된다.

5.2. 연구의 한계 및 향후 연구과제

본 연구의 주행행태 실험은 20~40대의 운전노출도가 높은 피험자를 대상으로 실험한 것으로, 향후 분석 결과의 일반화를 위한 추가실험이 필요하다. 특히, 최근 고령화 시대를 대비하는 차원에서 피험자를 고령층으로 확대하여 주행안전성의 확보 여부를 검토할 필요가 절실히 요구되어진다.

또한, 시뮬레이터 실험 대상으로 야간 환경에서 LED 점멸형 갈매기표지, 고속도로 유지관리 작업장 전용 갈매기표지 등 보다 다양한 시선유도시설을 대상으로 효과평가를 시행한다면 연구결과의 신뢰성 확보가 가능할 것이다.

본 연구의 실험 결과에 따르면 갈매기표지 설치기준의 최대 곡선반경을 1,000m까지 연장시킬 수 있을 것으로 판단하였다. 가상주행 시뮬레이터 실험의 곡선반경을 0m부터 500m 단위로 실험을 진행하였는데 100m 단위로 실험을 진행하여 최적 최대 곡선반경을 도출할 필요가 있으며, 이에 대한 추가적인 분석이 수행되어야 할 것이다. 또한, 본 실험은 다양한 주행환경에 따라 추가 실험을 진행할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진 연구개발사업의 연구비지원(17CTAP-C098646-03)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Carlson, P. J., Rose, E. R., Chrysler, S. T., & Bischoff, A. L. (2004). *Simplifying delineator and chevron applications for horizontal curves*. Texas Department of Transportation.
- Federal Highway Administration (FHWA) (2016). *Low-Cost Treatments for Horizontal Curve Safety* 2016.
- James, B., Chen, Y., Persaud, B. (2010). *Assessment of the Crash Modification Factors in the Highway Safety Manual for use in Canada*. Ryerson University.
- Jeon, W. H., Cho H. J. (2007). Study on the Installation Method of Delineation System Using Detection Distance and Lateral Position. *International Journal of Highway Engineering*, Vol.9, No.3 pp.29-38 (in Korean).
- Kim, J. Y., Park, M. S., Kim, J. R., Jang, M. S. (2011). A Study on development of Road Design Driver Characteristics based on Physio-Physiological Performance. *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 29 pp.67-78 (in Korean).
- Ko, H. G., Kim, J. H., Sung, M. J., Lee, J. S. (2012). Safe Driving Inducement Effect Analysis of Smart Delineator through Driving Simulation Evaluation. *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol.30 No.4 pp.43-59 (in Korean).
- Korea Expressway Corporation, (2014). *Korea Expressway Safety Manual* (in Korean).
- Korea Expressway Corporation, (2008). *The Construction of based on Effect Evaluation for Traffic Safety Facilities in Expressway*. (in Korean).
- Kwon, S. D., Lee, S. K., Jeong, J. H., Ha, T. J. (2011). Suggestion of Delineators Considering Traffic Safety at Curve Sections. *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 31, No.3 D pp.403-412 (in Korean).
- Lim, J. B., Lee, S. B., Joo, S. K., Shin, J. S. (2013). Analysis of Anxiety EEG per Driving Speed on Different Design Speed Road. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.33 No.5 pp.2049-2056 (in Korean).
- Lim, J. B., Lee, S. B., Kim, K. H., Kim, S. Y., Choi, J. S. (2012). A Study of the Relationship between Driver's Anxiety EEG & Driving Speed in Motorway Sections. *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol.27 No.3 pp.167-175 (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT) (2014). *Road Safety Facilities' Installation and Management Guidelines* (in Korean).
- Park, J. H., Oh, C., Kim, Y. G. (2010). Methodology for Determining Delineator Placement and Operation based on User's Satisfaction. *International Journal of Highway Engineering*, Vol.12, No.1, pp.39-46 (in Korean).
- Park, J. J., Park, T. H., and Ha, T. J. (2008). Criteria of Installing Delineators Considering Human Factors. *The Journal of The Korea Institute of Intelligence Transportation System*, Vol.7, No.2, pp.100-109 (in Korean).
- Park, J. T., Lee, S. B., Lee, S. I., Kim, J. W. (2007). A Ground Study on the Location of Chevron Alignment Sign considered Human Factors. *Proceedings of The 57th Conference of Korean Society of Transportation* (in Korean).
- Song, B. K., Lim, J. B., Lee, S. B., Park, J. H. (2012). A Study on the Analysis of Driver's Visual Behavior Characteristics according to the Type of Curve Radius. *Journal of the KOSOS*, Vol. 27 No.2 (in Korean).
- Wu, Y., Zhao, X., Rong, J., & Ma, J. (2013). Effects of Chevron Alignment Signs on Driver Visual Perception, Manipulating Behavior, and Psychological Reactions. In: *Transportation Research Board 92nd Annual Meeting*.