

일반도로 중앙분리대 측 백색 실선 도입 타당성 분석 연구

Feasibility Analysis for White Pavement Markings in the Roadways with Median Barrier

김다예	Kim, Da-Ye	정회원 · 도로교통공단 교통과학연구원 연구원 (E-mail : dykim0225@koroad.or.kr)
홍경식	Hong, Kyung-Sik	정회원 · 도로교통공단 교통과학연구원 선임연구원 · 교신저자 (E-mail : kshong@koroad.or.kr)
이호원	Lee, Ho-Won	도로교통공단 교통과학연구원 시설장비연구처장 (E-mail : hosea65@koroad.or.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study analyzes feasibility for application white pavement markings in the roadways with median barrier.

METHODS : By reviewing numerous relevant laws, standards, and operational cases, the white pavement markings' excellence was demonstrated. Driver's behavior was analyzed through a virtual driving experiment using driving simulator and field tests.

RESULTS : First, white pavement markings are superior to yellow pavement markings in terms of visibility, economics, and safety. Second, as a result of virtual driving experiment, the color of line in the roadway with median barrier didn't affect the driver's behavior such as the average vehicle speed, the distance bias in the lane and the separation distance from the centerline. Third, field test demonstrated that the driver tended to recognize the median barrier as an obstacle. In addition, the central driving ratio in the lane was increased due to improving the visibility of line at night in case of the white pavement markings.

CONCLUSIONS : The application of white pavement markings in the roadways with median barrier can enhance traffic safety by improving the visibility of line at night.

Keywords

feasibility, white pavement markings, median barrier, visibility, centerline, color of line

Corresponding Author : Hong, Kyung-Sik, Senior Researcher
Korea Road Traffic Authority, Traffic Science Institute
2, Hyeoksin-ro, Wonju-si, Gangwon-do, 26466, Korea
Tel : +82.33.749.5447 Fax : +82.33.749.5934
E-mail : kshong@koroad.or.kr

International Journal of Highway Engineering

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

ISSN 1738-7159 (Print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Feb. 09, 2018 Revised Feb. 20, 2018 Accepted May. 16, 2018

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

「교통노면표시 설치·관리 매뉴얼(경찰청, 2012)」에 따르면 노면표시는 도로교통의 안전과 원활한 소통을 도모하고 도로구조를 보존하는 목적으로 설치되며, 독자적으로 또는 교통안전표지와 신호기를 보완하여 도로 이용자에게 규제 또는 지시의 내용을 전달하는 기능을

수행하고 있다. 이러한 노면표시는 백색, 황색, 청색을 기본색으로 사용하고 있으며, 백색은 동일한 방향의 교통류 분리 및 경계, 황색은 반대방향의 교통류 분리와 도로 이용의 제한 및 지시, 청색은 지정방향의 교통류 분리를 의미한다.

노면표시는 야간, 기상조건 등 조명이 없는 경우에도 시인성을 확보해야 하며, 시인성은 반사성능을 기준으

로 판단할 수 있다. 교통노면표시 설치·관리 매뉴얼에서는 백색의 준공 및 재도색 시기에 대한 재귀반사성능을 황색에 비해 60% 이상 높게 규정하고 있으며, 동일한 도로와 유리알을 사용하여 실제 시공한 결과에서도 백색이 황색에 비해 약 50% 정도 높은 재귀반사성능을 나타냈다. 관련 연구에서도 백색차선이 황색차선에 비해 시인거리가 우수하며(Zwahlen and Schnell, 1995), 운전자의 시선집중도 또한 향상된다고 설명하고 있다(3M Visual Attention Software).

시인성 측면에서 우수한 백색 차선의 확대 적용을 위해 한국도로공사에서는 경찰청 교통안전시설 심의위원회 심의를 거쳐 2014년 7월 제2중부고속도로에 중앙분리대 측 백색 실선을 시범 설치하였으며, 설치구간 확대 및 효과분석을 통해 2017년 5월 고속도로 전 구간을 대상으로 중앙분리대 측 백색 실선 적용을 완료하였다. 이에 경찰청에서는 시인성이 높은 백색 실선에 대해 자동차전용도로, 국도 및 지방도 등 일반도로로의 확대 적용의 검토 필요성을 제기하였다.

따라서, 본 연구는 관련 법령 및 선행연구, 운영사례 검토와 가상주행실험, 현장실험을 통해 일반도로 중앙분리대 측 백색 실선 도입 타당성을 검토하고자 하였다.

1.2. 연구 절차 및 방법

본 연구는 관련 법령 및 선행연구, 운영사례 검토와 가상주행실험, 현장실험을 통한 중앙분리대 측 백색 실선 도입 타당성 검토의 순서로 진행되었다.

「도로교통법」, 「교통노면표시 설치·관리 매뉴얼」, 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙(국토교통부, 2015)」을 통해 선의 정의·종류·색상 및 중앙분리대 종류 등에 대해 검토하였다. 선행연구 및 운영사례는 백색 차선의 우수성, 재귀반사성능과 교통사고와의 관계, 고속도로 백색 실선 적용 사례, 국외 차선 색상 적용 사례 등을 통해 일반도로 중앙분리대 측 백색 실선 도입을 위한 근거 자료를 마련하고자 하였다.

도입 타당성 분석을 위해 드라이빙 시뮬레이터(Driving Simulator)를 활용한 가상주행실험과 시범운영지 대상 현장실험을 실시하였다. 가상주행실험에서는 중앙분리대 측 백색 실선 도입에 따른 운전자의 주행행태(속도, 차로치우침 등) 차이를 비교하고 통계적으로 검증하였으며, 현장실험에서는 시범 운영지를 대상으로 통과 차량의 비디오 촬영을 통해 중앙분리대 측 백색 실선 도입 시 주·야간 차로 내 치우침 정도를 분석하였다.

2. 기존 문헌 고찰

2.1. 관련 법령 및 매뉴얼 검토

중앙분리대 측 백색 실선 도입 타당성 검토를 위해 「도로교통법」, 「교통노면표시 설치·관리 매뉴얼」에서 규정하고 있는 차선, 중앙선의 정의 등에 대해 검토하였다.

「교통노면표시 설치·관리 매뉴얼」 제2장, 제3장에서 선의 종류와 색상 등을 정의하고 있다. 각 조항에서 규정하고 있는 내용은 다음과 같다.

‘선의 의미’는 점선은 허용, 실선은 제한, 복선은 의미의 강조를 뜻하며(제2장제1절), ‘선의 종류’는 중앙선, 차선, 길가장자리구역선, 진로변경제한선, 전용차선, 유티구역선 및 유도선으로 구분한다(제2장제2절).

「도로교통법」과 「교통노면표시 설치·관리 매뉴얼」에서는 중앙선, 차선 및 길가장자리구역선 등에 대해 정의하고 있다. 규정하고 있는 내용은 다음과 같다.

‘중앙선’은 차마의 통행 방향을 명확하게 구분하기 위하여 도로에 황색 실선이나 황색 점선 등의 안전표지로 표시한 선 또는 중앙분리대나 울타리 등으로 설치한 시설물을 말한다(도로교통법 제2조제5항).

‘차선’은 차로와 차로를 구분하기 위하여 그 경계지점을 안전표지로 표시한 선을 말한다(도로교통법 제2조제11항). 또한, 도로구간 내 차로의 경계를 표시하는 것으로서 동일방향의 교통류를 분리하여 소통을 원활히 하는 노면표시로 편도 2차로 이상의 인접한 차로가 있는 차도구간 내에 설치하여야 하며 백색 점선과 백색 실선을 사용한다(교통노면표시 설치·관리 매뉴얼 제3장제2절 503).

‘길가장자리구역선’은 보도와 차도를 구분하여 자동차의 주행가능지역을 구획하고 도로이용자의 시각적 안내와 유도를 하는 노면표시로 백색으로 표시하며, 보도와 차도의 구분이 없는 도로에 설치한다(교통노면표시 설치·관리 매뉴얼 제3장제2절 505).

2.2. 국내외 연구 및 적용 사례

2.2.1. 백색 차선의 우수성

기존 문헌 및 연구를 바탕으로 차선 색상에 따른 시인성, 경제성을 비교하였다.

Zwahlen et al.(1995)는 선의 굵기와 색상(황색/백색)의 효과에 대해 분석한 결과, 황색의 경우 백색에 비해 시인거리가 약 20% 정도 짧으며, 일정 조건에서 재귀반사성능이 낮게 나타남을 확인하였다.

오홍운(2007)은 공용기간, 교통량 등에 따라 차선반사성능의 변화를 분석하였다. 분석 결과, 공용기간과 교

통량이 증가할수록 차선의 반사성능은 감소하였으며, 백색 차선이 황색 차선보다 높은 반사성능을 유지하는 것으로 나타났다.

서울시 노면표시 공사 단가조사표(2017)에 따라 물가 정보 및 조달단가를 살펴보면, 도로표시용 도료(수용성, 2종)의 경우 황색은 4,890원/L, 백색은 3,850원/L로 백색 도료의 가격이 약 21% 저렴하며 특수페인트(용착식, 4종)의 경우에도 황색은 3,400원/kg, 백색은 2,900원/kg으로 백색이 약 15% 저렴하여 황색에 비해 백색의 경제성이 높음을 알 수 있다.

NCHRP Rept 484(2002)에서는 미국 내 차선을 모두 백색으로 적용하는 것에 대해 검토하였다. 백색 차선 적용 시 장점으로 차선 도색 시공 조건(비드, 시공법 등)이 동일한 경우 황색에 비해 재귀반사성능이 뛰어나며, 공급 및 적용 비용의 절감 효과가 있음을 제시하였다.

2.2.2. 재귀반사성능과 교통사고와의 관계

IOWA State University(2010)에서는 아이오와 주의 주요 도로를 대상으로 교통사고와 관계가 있는 변수를 분석하였다. 회귀분석을 통해 도로형태, 차선형태, 노면표시 반사성능 및 교통량 등의 변수와 교통사고와의 관계를 분석한 결과 노면표시 반사성능은 교통사고와 관계가 있었으며, 반사성능 값이 높아질수록 야간 교통사고의 약 11%가 감소하는 것으로 나타났다.

Avelar et al.(2014)는 미시간 주 주요 도로의 야간 교통사고와 재귀반사성능의 관계를 분석하였다. 노면표시 재귀반사성능이 야간추돌사고에 미치는 영향을 파악하기 위해 CMF(Crash Modification Factor, 사고수정계수)식을 유도하고 두 변수간의 상관관계를 분석한 결과, 중앙선 및 길가장자리구역선 재귀반사성능의 합과 야간추돌사고에는 반비례 관계가 있음을 확인하였다.

Carlson et al.(2015)에서는 차선의 반사성능에 따른 사고 감소율을 분석하였으며, 백색의 반사성능 100mcd/m²·lux를 기준으로 반사성능이 175mcd/m²·lux 이상일 경우 14.8%, 250mcd/m²·lux 이상일 경우 28.3%의 야간 교통사고가 감소하는 것으로 나타났다.

2.2.3. 고속도로 백색 실선 적용 사례

한국도로공사(2015)에서는 가상주행실험을 통해 고속도로 중앙분리대 측 백색 실선 적용 시 운전자의 운전행태 변화를 분석하고자 하였다. 실선 색상과 포장 상태, 주·야간에 따른 운전자 주행 패턴과 집중도를 분석

한 결과, 중앙선 색상에 따른 통행속도, 차로 내 치우침 등 주행 패턴에 차이가 없었으며, 뇌파 분석을 통한 운전자의 긴장, 흥분, 스트레스 변화 또한 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서, 고속도로의 경우 정면충돌 방지를 위한 물리적 시설물 설치를 통해 완전 분리방식으로 도로를 운영하고 있으므로, 중앙선 색상에 따른 차량 주행 패턴 및 운전자 집중도에 차이가 없는 것을 알 수 있으며, 중앙분리대 측 황색 실선을 백색 실선으로 대체 가능하다고 판단하였다.

한국도로공사에서는 제2중부고속도로에서 시범 운영을 실시하였으며, 시범 운영지를 대상으로 박시내 외(2016)는 중앙분리대 측 백색 실선 적용 이후 사고 감소 효과에 대해 분석하였다. 전체사고는 10개월간 3.63건이 감소하였으며 사고 감소율의 경우, Table 1과 같이 27.29%의 감소효과를 나타냈다. 부문별로 살펴보면, 야간 사고 69.63%, 우천 시 사고 55.19%, 중앙분리대 추돌사고 48.55%로 전체 사고 감소율보다 더 크게 감소하는 것으로 나타나 중앙분리대 측 백색 실선 설치로 인한 사고 감소 효과가 존재함을 알 수 있었다.

Table 1. Reduction Rate of Traffic Accidents

	Total	Nighttime	Rainfall	Median barrier collision
Reduction rate(%)	27.29	69.63	55.19	48.55

2.2.4. 국외 차선 색상 적용사례

NCHRP Report 484(2002)에서는 Table 2와 같이

Table 2. Color of Pavement Marking

Country	Color of marking			
	Longitudinal lines		Arrows	Chevrons and hatching
	Center	Edge		
Australia, Austria, Belgium, Denmark, France, Germany, Iceland, India, Mexico, Netherlands, Sweden, Switzerland, United Kingdom	W	W	W	W
Canada	Y	W	W	W, Y
Hungary, Italy, South Africa	W	W	-	-
Ireland	W	Y	W	W
Japan	W, Y	W	-	-
Norway	W, Y	W	W	W
Singapore	W	W	W	W, Y
South Korea	Y	W	W	W

* W : White, Y : Yellow

OECD 국가에서 사용하는 차선, 화살표 등의 적용 색상을 검토한 결과 대부분의 국가에서 중앙선 및 갓길선에 백색을 적용하고 있음을 확인할 수 있었다.

노르웨이의 경우에는 Fig. 1과 같이 중앙분리대가 있는 도로 구간에서는 백색 중앙선을 적용하고, 중앙분리대가 없는 도로구간에서는 황색 중앙선을 적용하고 있다.



Fig. 1 Color of Marking(Centerline) in Norway

2.3. 시사점

관련 법령 및 기준 등을 검토한 결과, 중앙분리대만으로 중앙선의 개념이 성립될 수 있으며, 중앙분리대가 있는 고속도로 또는 자동차전용도로와 같은 도로환경에서는 중앙분리대 측 백색 실선의 적용이 가능할 것으로 판단된다. 또한, 선행연구 및 적용 사례를 바탕으로 시인성, 경제성 및 안전성 측면에서 백색의 우수함을 확인할 수 있었다.

이에 따라 본 연구에서는 일반도로에서 중앙분리대 측 백색 실선 도입 시 운전자의 주행 특성의 변화를 분석하여 도입 타당성을 검토하고자 하였다.

3. 도입 타당성 검토

3.1. 가상주행실험

3.1.1. 실험 개요

가상주행실험은 FORUM8사에서 개발한 가상현실 소프트웨어 UC-win/Road를 사용하여 3D 가상현실 맵을 구축하였으며, 차량시뮬레이터와 연동하여 주행

중인 운전자의 데이터를 수집하였다. 가상주행실험을 통해 동일한 조건에서의 실험으로 운전상황 변화에 따른 변수를 제외할 수 있으며, 교통사고 요인을 배제한 안전한 실험환경 제공이 가능하도록 하였다. 차량 시뮬레이터를 활용하여 수집된 실험 데이터는 주행시간, 통행속도, 주행거리, 가속속도, 브레이크파워, RPM, 핸들회전각도 및 차로편측위치 등으로 저장된다.

이러한 실험 장비를 활용하여 실제 도로 기하구조를 기반으로 시나리오를 구축하고 가상주행실험을 실시하였으며, 통행속도, 차로편측거리 및 중앙선과의 이격거리 분석을 통해 중앙분리대 측 백색 실선 도입 타당성을 검토하고자 하였다.

3.1.2. 실험 맵 구축 및 시나리오 구성

실험 맵은 Fig. 2와 같이 국도 37호선 여원로 약 10km의 기하구조를 활용하여 중앙분리대 측 황색 실선과 백색 실선 2개의 도로로 구성하였다. 각각의 도로는 동일한 선형과 지형으로 구성되며, 2km 간격으로 교차로를 통과한 후 중앙분리대의 유형 및 제한속도가 변경되도록 구축하였다.



Fig. 2 Map of Experimental Area

총 연장은 22.2km로 중앙분리대 측 황색 실선, 중앙분리대 측 백색 실선 각 11.1km이며, 왕복 4차로, 차로 폭 3.5m, 설계기준자동차는 승용자동차를 기준으로 하였다. 중앙분리대 형태는 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」에서 정의하고 있는 녹지, 가드레일 및 콘크리트 분리대의 3가지로 구분하였으며, 중앙분리대가 없는 도로환경을 포함하여 총 4가지 형태로 시나리오에 적용하였다. 제한속도는 중앙분리대가 없는 경우 50km/h, 중앙분리대가 있는 경우 70km/h로 적용하였으며, 교차로 신호는 항상 녹색 직진신호로 점등하고, 최적 교통환경 구현을 위해 타 주행 차량은 제외하여 시나리오를 구성하였다.

구성된 시나리오는 Fig. 3, Fig. 4과 같다.

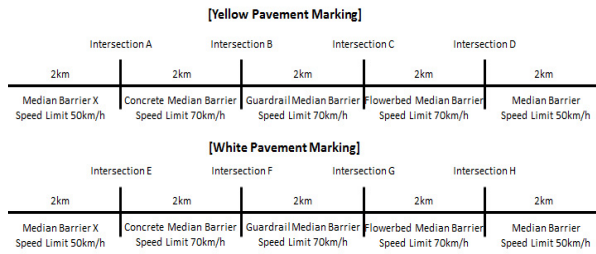


Fig. 3 Experiment Scenario

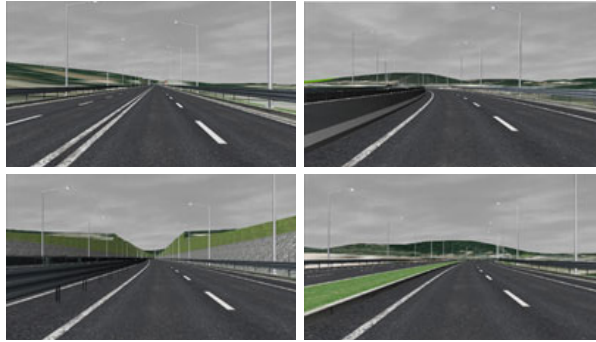


Fig. 4 Building Map in Driving Simulator

가상주행실험을 위한 피실험자는 총 40명을 모집하였으며, 피실험자의 성별, 연령 및 운전경력의 구성은 Table 3과 같다.

Table 3. Characteristics of Participants in Driving Simulation

Type		Number of subjects	Ratio
Total		40people	100%
Gender	Male	22 people	55%
	Female	18 people	45%
Age	20 ~ 29	14 people	35%
	30 ~ 39	12 people	30%
	40 ~ 49	10 people	25%
	Over 50	4 people	10%
Driving experience	Under 5 year	16 people	40%
	5 ~ 10year	10 people	25%
	10 ~ 15year	4 people	10%
	15 ~ 20year	3 people	7%
	Over 20year	7 people	18%

피실험자를 대상으로 중앙분리대 측 황색 실선 주·야간, 백색 실선 주·야간의 경우 각 1회씩 주행하도록 하여 총 4회 실험을 진행하였다. 실험에 앞서 피실험자에게 실험 상황에 대한 설명을 실시하였으며, 시뮬레이터에 적응할 수 있도록 하기 위해 실험 전 다른 도로에서

모의 주행을 실시하였다. 일부 실험 상황을 제한하여 실험 결과에 미치는 영향을 최소화할 수 있도록 인접 차로 내 다른 차량의 주행을 제한한 단독 주행 상황으로 설정하였으며, 차로 변경없이 1차로에서 계속 주행하도록 하였다.

3.1.3. 분석 방법

중앙분리대 측 실선 색상, 중앙분리대 형태 및 주·야간에 따른 운전자의 주행 행태 분석을 위해 주행기록 데이터 중 통행속도, 차로편측위치 자료를 이용하여 분석하였다. 통계적 유의성 검정을 위해 SPSS 20.0을 활용하여 대응표본 t-test를 진행하였다.

첫 번째, 각 구간별로 중앙분리대 측 실선 색상에 따른 차량 평균통행속도 및 표준편차를 비교하였다. 중앙분리대 측 실선 색상에 따라 통행속도에 차이가 있는지를 비교하였으며, 표준편차가 클수록 운전자간 동일한 주행행태를 보이지 않으므로 안전성이 확보되지 못한다고 할 수 있다.

두 번째, 각 구간별로 중앙분리대 측 실선 색상에 따른 차량의 차로편측위치 절대값 평균을 비교하였다. 차로편측위치는 차로의 중심에서 우측으로 치우치면 양(+)의 값, 좌측으로 치우치면 음(-)의 값으로 기록된다. 따라서, 평균 산출 과정에서 상쇄될 가능성이 있으므로 차로편측위치의 절대값으로 평균을 산출하여 비교분석하고자 하였다. 실험분석 결과 차로편측위치의 절대값 평균이 0에 가까울수록 안전성이 높다고 할 수 있다.

세 번째, 각 구간별로 중앙분리대 측 실선 색상에 따른 차량과 중앙선과의 이격거리를 비교하였다. 주행기록 데이터는 차로의 중앙을 기준으로 차로편측거리를 기록하게 된다. 따라서, 해당 데이터를 중앙선 기준으로 환산하여 통행 차량이 중앙선으로부터 얼마나 이격하여 주행하였는지를 분석하고자 하였다. 차로폭 3.5m, 설계기준자동차(승용자동차) 폭원 1.7m를 기준으로 했을 때 차량의 좌·우측 0.3m의 여유를 두어 중앙선으로부터 0.6~0.9m 이격하여 주행하는 경우를 차로 중앙으로 주행하는 것으로 판단하였으며, 0.6m 미만은 중앙분리대 측 편측 주행, 0.9m를 초과하는 경우는 차로 측 편측 주행으로 판단하였다. 실험 분석 결과 중앙선과의 이격거리가 0.6~0.9m 범위에 포함되는 경우 차로 중앙으로 주행하는 경우에 해당되므로 안전성이 높다고 할 수 있다.

3.1.4. 결과 분석

중앙분리대 유형(콘크리트, 가드레일, 녹지) 및 주행시

간대(주·야간)별 중앙분리대 측 실선 색상에 따른 차량 평균통행속도와 표준편차의 비교결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Paired T-test Result of Vehicle Travel Speed

Type of median barrier	Time	Color	Mean (km/h)	Std. deviation (km/h)	T	P-value
X	Daytime	Yellow	59.94	16.77	1.504	0.141
		White	55.97	8.10		
	Nighttime	Yellow	56.14	9.52	1.068	0.292
		White	55.35	8.62		
Concrete	Daytime	Yellow	70.94	11.18	0.262	0.795
		White	70.55	9.94		
	Nighttime	Yellow	65.74	5.92	0.184	0.855
		White	65.57	7.02		
Guardrail	Daytime	Yellow	74.13	11.76	0.653	0.518
		White	72.83	10.30		
	Nighttime	Yellow	71.13	5.48	1.353	0.184
		White	70.36	5.82		
Flowerbed	Daytime	Yellow	75.44	13.82	1.609	0.116
		White	71.95	5.90		
	Nighttime	Yellow	71.92	5.47	1.288	0.205
		White	71.23	5.29		

중앙분리대 유형과 주행시간대에 관계없이 모든 경우 황색 실선에 비해 백색 실선의 평균속도가 감소하였으며, 일부 차이는 있었으나 대체적으로 백색 실선 적용 시 통행속도의 표준편차가 감소하는 것으로 나타났다.

황색 실선과 백색 실선의 평균통행속도 차이가 통계적으로 유의한지 검정하기 위해 다음과 같이 가설을 세우고 대응표본 t-test를 실시하였다.

H_0 : 중앙분리대 측 황색 실선일 경우 차량통행속도와 백색 실선 적용 시 차량통행속도의 평균은 동일하다

H_1 : 중앙분리대 측 황색 실선일 경우 차량통행속도와 백색 실선 적용 시 차량통행속도의 평균은 동일하지 않다

t-test 결과, 모든 경우 p-value가 0.05 이상으로 신뢰수준 95%에서 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 따라서, 중앙분리대 측 실선 색상에 따른 차량통행속도 차이는 없는 것으로 볼 수 있다.

중앙분리대 유형(콘크리트, 가드레일, 녹지) 및 주행

시간대(주·야간)별 중앙분리대 측 실선 색상에 따른 차로편측거리 비교 결과는 Table 5와 같다.

Table 5. Paired T-test Result of Bias Distance in the Lane

Type of median barrier	Time	Color	Mean (m)	Std. deviation (m)	T	P-value
X	Daytime	Yellow	0.285	0.122	-0.320	0.751
		White	0.295	0.151		
	Nighttime	Yellow	0.274	0.137	-0.981	0.333
		White	0.287	0.153		
Concrete	Daytime	Yellow	0.430	0.243	1.636	0.111
		White	0.358	0.161		
	Nighttime	Yellow	0.324	0.144	-1.423	0.164
		White	0.348	0.151		
Guardrail	Daytime	Yellow	0.424	0.295	1.279	0.209
		White	0.363	0.175		
	Nighttime	Yellow	0.304	0.135	-1.649	0.108
		White	0.332	0.132		
Flowerbed	Daytime	Yellow	0.370	0.189	1.191	0.242
		White	0.324	0.155		
	Nighttime	Yellow	0.355	0.206	0.435	0.666
		White	0.343	0.162		

콘크리트, 가드레일형 분리대의 경우 백색 실선 도입 시 야간 평균차로편측거리가 증가하였으며, 녹지분리대의 경우에는 주·야간 모두 평균차로편측거리가 감소하였다. 중앙분리대 미설치 구간에서는 주·야간 모두 평균차로편측거리가 증가하였다. 황색 실선과 백색 실선의 평균차로편측거리 차이가 통계적으로 유의한지 검정하기 위해 다음과 같이 가설을 세우고 t-test를 실시하였다.

H_0 : 중앙분리대 측 황색 실선일 경우 차로편측거리와 백색 실선 적용 시 차로편측거리의 평균은 동일하다

H_1 : 중앙분리대 측 황색 실선일 경우 차로편측거리와 백색 실선 적용 시 차로편측거리의 평균은 동일하지 않다

t-test 결과, 모든 경우 p-value가 0.05 이상으로 신뢰수준 95%에서 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 따라서, 중앙분리대 측 실선 색상에 따른 차로편측거리 차이는 없는 것으로 볼 수 있다.

중앙분리대 유형(콘크리트, 가드레일, 녹지) 및 주행 시간대(주·야간)별 중앙분리대 측 실선 색상에 따른 중앙선과의 이격거리 비교 결과는 Table 6과 같다.

Table 6. Paired T-test Result of Separation Distance with Centerline

Type of median barrier	Time	Color	Mean (m)	Std. deviation (m)	T	P-value
X	Daytime	Yellow	1.031	0.227	-0.594	0.557
		White	1.057	0.235		
	Nighttime	Yellow	1.045	0.245	0.436	0.665
		White	1.034	0.269		
Concrete	Daytime	Yellow	1.119	0.298	1.156	0.255
		White	1.046	0.283		
	Nighttime	Yellow	0.977	0.273	-1.395	0.172
		White	1.017	0.293		
Guardrail	Daytime	Yellow	1.192	0.309	1.119	0.271
		White	1.124	0.285		
	Nighttime	Yellow	1.036	0.235	-1.147	0.259
		White	1.069	0.251		
Flowerbed	Daytime	Yellow	0.977	0.335	1.649	0.108
		White	0.888	0.270		
	Nighttime	Yellow	0.960	0.328	0.848	0.402
		White	0.935	0.330		

콘크리트, 가드레일형 분리대의 경우 백색 실선 도입 시 주간에 중앙선과의 평균 이격거리가 감소하였으며, 녹지분리대의 경우에는 주·야간 모두 감소하였다. 중앙분리대 미설치 구간에서는 야간에 중앙선과의 평균이격거리가 감소하였다. 이는 백색실선 도입 시 차로 중앙에 가깝게 주행하였음을 의미하며, 황색 실선과 백색 실선의 평균의 차이가 통계적으로 유의한지 검정하기 위해 다음과 같이 가설을 세우고 대응표본 t-test를 실시하였다.

H_0 : 중앙분리대 측 황색 실선일 경우 중앙선과의 이격거리와 백색 실선 적용 시 중앙선과의 이격거리의 평균은 동일하다

H_1 : 중앙분리대 측 황색 실선일 경우 중앙선과의 이격거리와 백색 실선 적용 시 중앙선과의 이격거리의 평균은 동일하지 않다

t-test 결과, 모든 경우 p-value가 0.05 이상으로 신뢰수준 95%에서 통계적으로 유의하지 않은 것으로

나타났다. 따라서, 중앙분리대 측 실선 색상에 따른 중앙선과의 이격거리 차이는 없는 것으로 볼 수 있다.

가상주행실험을 통해 중앙분리대 측 실선 색상에 따른 주행행태(통행속도 및 표준편차, 차로편측거리, 중앙선과의 이격거리)를 비교 분석하였다. 분석 결과, 통행속도 및 표준편차, 차로편측거리, 중앙선과의 이격거리 모두 신뢰수준 95%에서 통계적으로 유의하지 않게 나타나 중앙분리대 측 실선 색상에 따른 주행행태에 차이가 없음을 확인할 수 있었으며, 이는 중앙분리대 측 백색 실선 도입이 운전자 주행 행태에 미치는 영향은 미미한 것으로 판단할 수 있다.

3.2. 현장실험

3.2.1. 실험 개요

중앙분리대 측 백색 실선 현장 적용 시 실제 주행 차량의 차로 내 치우침을 분석하기 위해 시범운행을 통한 현장 실험을 진행하였다.

일반도로 중앙분리대 측 백색 실선 시범 운영을 추진 중인 수원국토관리사무소 관할 국도 43호선(수원 영통구 망포동~화성 봉담읍 왕림리)을 현장실험 대상 구간으로 선정하였으며, 2017년 8월부터 9월에 걸쳐 Fig. 5와 같이 망포지하차도의 수원방향 출구에서 실험을 진행하였다. 황색 실선(사전)과 백색 실선(사후)에 대해 주·야간 각 2시간씩 양방향 통과차량의 자유교통류(Free Flow) 상태에서 주행 시 차로 내 치우침 분석을 위해 주·야간 비침두시에 촬영을 진행하였다.

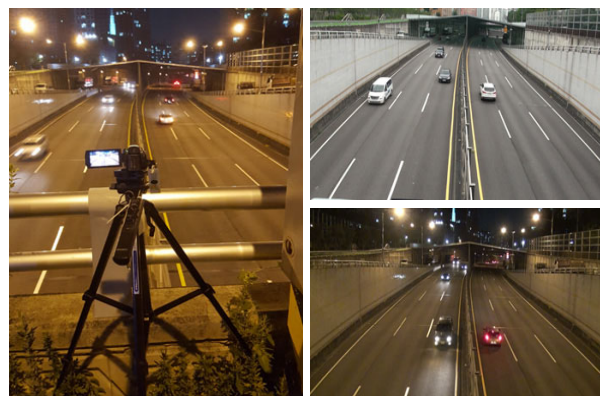


Fig. 5 Field Test

3.2.2. 실험 분석 방법

현장 실험 대상지의 통행차량 촬영 영상을 분석하여 가상의 선(Threshold Line)을 벗어난 차량의 대수(비율)를 비교하기 위하여 χ^2 -검정을 실시하였다.

가상의 선은 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」에

서 제시하고 있는 일반도로 지방지역 차로폭 기준 3.5m, 설계기준자동차는 승용자동차 폭원 1.7m를 기준으로 설정하였으며, 기준에 부합하지 않는 트럭, 버스 등은 분석 대상에서 제외하였다.

차로 치우침 기준은 Fig. 6에서와 같이 설계기준자동차 폭(1.7m)에 좌·우 0.3m 이내로 주행하는 경우를 ‘차로 중앙 주행’으로 정의하였으며, 가상의 선의 좌측으로 치우친 경우는 ‘중앙분리대 측 주행’, 우측으로 치우친 경우는 ‘차선 측 주행’으로 정의하였다.

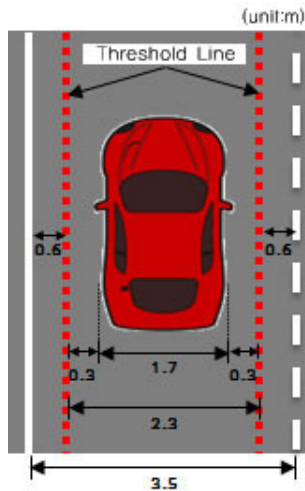


Fig. 6 Reference of Bias Distance in the Lane

3.2.3. 실험결과 분석

중앙분리대 측 실선 색상에 따른 주·야간 통과차량의 차로 치우침에 대한 비교 결과는 다음과 같다.

주간 실험에서는 황색 실선의 경우 총 1,819대를 분석하였으며, 백색 실선의 경우 총 1,414대를 분석하였다.

Fig. 7과 같이 황색 실선의 경우 차선 측 주행이 37.66%, 차로 중앙 주행 62.01%, 중앙분리대 측 주행 0.33%로 나타났다. 백색 실선 도입 시 차선 측 주행은 34.72%, 차로 중앙 주행 65.21%, 중앙분리대 측 주행

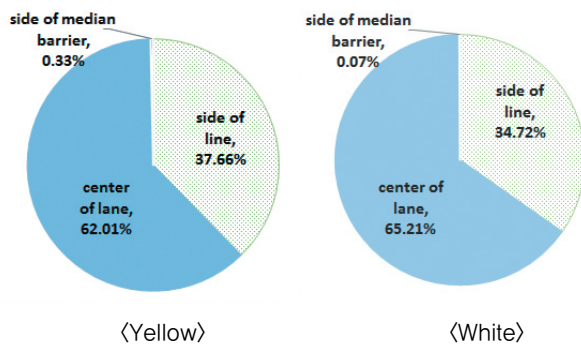


Fig. 7 Rate of Car Location in the Lane (Daytime)

0.07%로, 실선 색상이 백색으로 변경됨에 따라 차로 중앙 주행 비율이 증가하고 차선 측 주행과 중앙분리대 측 주행 비율이 감소하는 것으로 나타났다.

백색 실선 도입 시 주간 차로 치우침 비율의 차이가 통계적으로 유의한지 검정하기 위해 다음과 같이 가설을 세우고 χ^2 -검정을 실시하였다.

H_0 : 주간에 중앙분리대 측 황색 실선일 경우 차로 치우침 비율과 백색 실선 적용 시 차로 치우침 비율은 동일하다

H_1 : 주간에 중앙분리대 측 황색 실선일 경우 차로 치우침 비율과 백색 실선 적용 시 차로 치우침 비율은 동일하지 않다

χ^2 -검정 결과, Table 7과 같이 모든 경우 p-value가 0.05 이상으로 신뢰수준 95%에서 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 따라서, 주간의 경우 중앙분리대 측 실선 색상 변경에 따른 차로치우침 비율에 차이는 없는 것으로 볼 수 있다.

Table 7. χ^2 -test Result of Bias Distance in the Lane (Daytime)

Color	Side of line	Center of lane	Side of median barrier	Total	χ^2	P-value
Yellow	685	1,128	6	1,819	5.6290	0.0599
	37.66%	62.01%	0.33%	100%		
White	491	922	1	1,414		
	34.72%	65.21%	0.07%	100%		
Total	1,176	2,050	7	3,233		
	36.37%	63.41%	0.22%	100%		

야간 실험에서는 황색 실선의 경우 총 1,848대를 분석하였으며, 백색 실선의 경우 총 1,620대를 분석하였다.

Fig. 8과 같이 황색 실선의 경우 차선 측 주행이 34.42%, 차로 중앙 주행 65.48%, 중앙분리대 측 주행 0.11%로 나타났다. 백색 실선 도입 시 차선 측 주행은 21.73%, 차로 중앙 주행 77.84%, 중앙분리대 측 주행이 0.43%로, 실선 색상이 백색으로 변경됨에 따라 차로 중앙 주행 비율이 증가하고 차선 측 주행과 중앙분리대 측 주행 비율이 감소하는 것으로 나타났다.

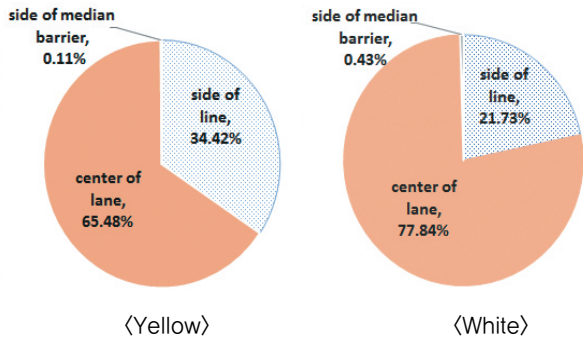


Fig. 8 Rate of Car Location in the Lane (Nighttime)

백색 실선 도입 시 야간 차로 치우침 비율의 차이가 통계적으로 유의한지 검정하기 위해 다음과 같이 가설을 세우고 χ^2 -검정을 실시하였다.

H_0 : 야간에 중앙분리대 측 황색 실선일 경우 차로 치우침 비율과 백색 실선 적용 시 차로 치우침 비율은 동일하다

H_1 : 야간에 중앙분리대 측 황색 실선일 경우 차로 치우침 비율과 백색 실선 적용 시 차로 치우침 비율은 동일하지 않다

χ^2 -검정 결과, Table 8과 같이 모든 경우 p-value 가 0.01 이하로 신뢰수준 99%에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 따라서, 야간의 경우 중앙분리대 측 실선 색상 변경에 따른 차로치우침 비율에 차이가 있으며, 차로 중앙 주행 비율이 증가하는 것으로 볼 수 있다.

Table 8. χ^2 -test Result of Bias Distance in the Lane (Nighttime)

Color	Side of line	Center of lane	Side of median barrier	Total	χ^2	P-value
Yellow	636 34.42%	1,210 65.48%	2 0.11%	1,848 100%		
White	352 21.73%	1,261 77.84%	7 0.43%	1,620 100%		
Total	988 28.49%	2,471 71.25%	9 0.26%	3,468 100%		

P<.05 *P<.01

현장실험을 통해 일반적으로 운전자들은 중앙분리대를 장애물로 인식하여 중앙분리대에서 일정거리를 이격하여 차선 측으로 주행하는 경향이 있음을 확인할 수 있었다.

또한 중앙분리대 측 백색 실선 도입 시, 야간 시인성 향상을 통해 운전자가 차로 중앙으로 주행할 수 있도록 도움을 주는 것으로 판단된다. 따라서, 중앙분리대 측 백색 실선은 황색 실선에 비해 안전상의 측면에서 우수하다고 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구는 중앙분리대가 있는 일반도로에서 중앙분리대 측 백색 실선 도입의 타당성 검토를 위해 관련 법령, 기준, 매뉴얼, 선행연구 및 유사사례를 분석하였으며, 가상주행 실험과 시범운영지 대상 현장 실험을 실시하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 관련 법령, 매뉴얼 검토를 통해 중앙분리대만으로 중앙선의 개념이 성립될 수 있으며, 중앙분리대가 있는 고속도로 또는 자동차전용도로와 같은 도로환경에서는 중앙분리대 측 백색 실선의 적용이 가능할 것으로 판단하였다. 또한, 선행연구 및 적용 사례 등을 바탕으로 백색 실선이 시인성, 경제성 및 안전성 측면에서 황색 실선에 비해 우수함을 확인하였다.

둘째, 중앙분리대 측 백색 실선 도입 타당성 검토를 위해 가상주행실험을 실시한 결과 중앙분리대가 있는 환경에서 중앙분리대 측 실선의 색상은 통행속도와 표준편차, 차로편측위치, 중앙선과의 이격거리 등 운전자의 주행 행태에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

셋째, 중앙분리대 측 백색 실선 도입 타당성 검토를 위해 현장실험을 실시한 결과 운전자는 중앙분리대를 장애물로 인식하여 중앙분리대에서 일정거리를 이격하여 주행하는 경향이 있었으며, 백색 실선 도입 시 야간 시인성 향상으로 인해 운전자의 차로 중앙 주행 비율이 증가하는 것으로 나타났다. 따라서, 중앙분리대 측 백색 실선의 도입은 교통 안전성 향상에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있다.

본 연구를 통해 일반도로 중앙분리대 측 백색 실선의 도입 타당성을 분석한 결과, 추후 일반도로 중앙분리대 측 백색 실선 도입 시 야간 시인성 증대로 교통안전성 향상이 가능하며, 교통노면표시 시공 및 유지보수 등 관리비용 절감과 시공 시간 단축 등 시공 효율성 증대에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

다만, 중앙분리대 종단부에서 백색 실선에서 황색으로 변경되는 경우, 차대차 또는 차대사람간 충돌 가능성을 방지하기 위해 시선유도시설, 시인성 증진 시설 등의 안전시설의 추가 설치에 대한 검토가 필요할 것이며, 야

간 우천 시 백색 실선의 도입 효과에 대한 추가분석을 통해 '중앙분리대 측 백색 실선'에 대한 정의, 설치 방식 등 관련 법령 개정을 위한 추가적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 서울산업진흥원 도시문제해결형 기술개발지원 사업의 지원(과제번호 PS160010)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Avelar, R. E., Carlson, P. J. (2014). "Characterizing the association between nighttime crashes and retroreflectivity of edgelines and centerlines on michigan rural two-lane highways", *93rd Annual Meeting of the Transportation Research Record*.
- Carlson, P. J., Avelar, R. E., Park, E. S. and Kang, D. (2015). "Nighttime safety and pavement marking retroreflectivity on two-lane highways : revisited with North carolina data", *Transportation Research Board 94th annual meeting*, Washington D.C., p.16.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2016). *Guideline of road safety facilities setting & management* (in Korean).
- Hawkins, H. G., Parham, A. H. and Womack, K. N. (2002). "NCHRP REPORT 484 Feasibility study for an all-white Pavement Marking System", *Transportation Research Board*.
- Oh, H. U. (2007). "Retroreflectivity performance characteristics under environmental roadway conditions based on influencing factors", *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol.27, No. 3D, pp.289-295 (in Korean).
- Park, S. N., Lim, J. B., Kim, D. I., Kim, J. H. and Choi, M. H. (2016). "Estimation of traffic accident effectiveness of White left shoulder line using a comparison group method", *International Journal of Highway Engineering*, Vol.18, No.5, pp.127-134 (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2015). *Regulation of road structures & facilities' standard* (in Korean).
- Road Traffic Law* (in Korean).
- Smadi, O., Hawkins, N., Nlenanya, I. and Aldemir-Bektas, B. (2010). "Pavement markings and safety", IOWA State University.
- Korean National Police Agency (2012). *Traffic signal setting&management manual* (in Korean).
- Zwahlen, H. T. and Schnell, T. (1995). "Visibility of new pavement markings at night under low-beam illumination", *Transportation Research Record 1495*, National Research Council, Washington D.C., pp.117-127.