Int. J. Highw. Eng. Vol. 15 No. 5 : 111-122 October 2013
http://dx.doi.org/10.7855/IJHE.2013.15.5.111

화물자동차 보조 후미등화장치 설치에 따른 운전자 시인성 변화

Legibility Change of Commercial Vehicles Equipped with the Rear Lighting System

조 승 진 Cho, Seung Jin 정회원 · 네이버시스템 대리 (E-mail : jjo3635@neighbor21.co.kr)
이 창 희 Lee, Chang Hee 명지대학교 교통공학과 박사 수료 (E-mail : richlich@naver.com)
금 기 정 Kum, Ki Jung 정회원 · 명지대학교 교통공학과 교수 (E-mail : kjkum@mju.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The purpose of this system (Rear Lighting System) is to provide illumination for the driver to operate the commercial vehicle safely after dark in highway, to increase the conspicuity of the vehicle, and especially be suggesting the finest observable improvement method, depending on color and pattern of rear lighting system of truck for midnight highway traffic.

METHODS : Rear lightning system as an improving way for forward commercial vehicles lighting the securing sight from human factors and the surrounding environment in midnight driving. For this one, basic materials were collected from the data analysis about many types of problems, and filed investigation for establishing Driving Simulator. also taking statistic test to human volunteers after finding recognizable distance of them.

RESULTS : As a result, color with the highest visuality is amber followed by green-red-blue as in order for all road types. Especially almost no difference is found between red and green, also when the light is turn off, recognizable distances is wide difference compared to turn on the light. One more thing about study per pattern, upper and entire lighting have similar recognizable distances, but under lighting shows short distance with difficulty securing sight from medians. And straight section shows similar recognizable distances. By finding visuality improvement method depending on color and pattern of supplement taillight, it is expected to suggest quantitative judgement standard for introducing regulation and improvement of supplement taillight.

CONCLUSIONS : Night time vehicle conspicuity to the rear is provided by rear position lamps. this study is showed that the color of light ramp is not important to be safe driving, most important is to turn on the light, recognizable distances is big different compared to turn off the rear light, so when the drivng dark in highway, have to turn on the light for reducing risk.

Keywords
rear lighting system, Legibility, recognizable distance, highway in midnight

Corresponding Author : Cho, Seung Jin, Assistant Manager
Neighbor System, Venture Tower East Wing, 78 Garak-Dong, Songpa-Gu, Seoul, 138-160, Korea
Tel : +82.2.2142.2617
E-mail : jjo3635@neighbor21.co.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www. ijhe.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

최근 우리나라는 제조업 산업의 발전과 홈서비스 확산에 따른 화물물동량 증가로, 화물차량의 도로 이용률이 크게 증가하고 있는 실정이다. 화물물동량의 증가는 단순 판매를 목적으로 하는 사업장의 운송뿐만 아니라 홈쇼핑, 인터넷쇼핑 등 홈서비스의 발달로 인한 가정운송까지 이루어지고 있어 육로를 이용하는 화물운송은

날이 갈수록 더욱 증가하고 있는 추세이다.

그러나 이러한 화물운송의 증가 현상에 따른 해당 업체들 간의 과도한 경쟁으로 인해 발생하는 과속, 안전운전 불이행, 야간운전에 따른 사고가 빈번하게 이루어지고 있어 사회적 문제로 점차 대두되고 있다. 2011년 기준 고속도로 차종별 교통사고 현황을 살펴보면 화물차량의 사고, 사망자, 부상자 비율은 각각 전체 교통사고의 39.8%(2,845건), 33%(93명), 31.6%(5,533명)로 전체 고속도로 통과차량의 10% 미만인 화물차가 발생하는 사고와 인명피해가 큰 비율을 차지하는 것으로 나타났다.

특히, 사고시간대 별 분포에서는 야간(24시~오전 8시)운전 시 42.5%로 높은 비중을 차지하고 있으며, 이러한 사고의 원인으로는 화물차 야간통행료 할인 및 차량 통행량이 적은 야간 고속도로에 화물차량이 집중되면서 사고가 빈번하게 발생된다고 할 수 있다.

야간 고속도로는 극도의 피로감과 고속주행으로 인한 시야확보의 어려움 등 인적요인과 어두운 주위환경으로 인하여 전방 차량에 대한 시인성 확보가 어려워 후방 운전자에게 자칫 치명적인 사고위험을 초래하기 때문에 후방 등화장치의 역할이 무엇보다 중요하다.

특히 고속도로 사고율이 높은 화물차들은 기본 등화장치 외 보조 후미등화장치를 설치하여 후방운전자의 시인성 확보에 도움을 주지만 명확한 설치규정이 없어 차량마다 다른 유형의 후미 보조등화장치를 설치하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 야간 고속도로를 주행하는 화물차량 후미 등화장치의 유형에 따른 시인성 증대방안을 분석하여 보다 적합한 보조 후미등화장치 설치규정을 조속히 마련하기 위하여 사전 현장조사를 통해 야간 화물차량의 문제점을 파악하고, 도로유형에 따른 집단을 구분하여 보조 후미등화장치 색상과 패턴에 따른 인지거리를 단순 정적인 실험이 아닌 Driving Simulator를 활용한 동적인 실험을 수행함으로써, 보다 효과적인 야간 고속도로 화물차량 시인성 증대방안을 제시하며, 향후 설치규정 및 유사연구에 대한 기초자료로의 활용을 목적으로 한다.

1.2. 연구범위 및 방법

본 연구에서는 야간 고속도로 주행 시 전방 화물자동차 시인성과 밀접한 영향을 미치는 보조 후미등화장치에 대한 최적의 유형을 도출하는데 주목적을 두었다.

이를 위해, 야간 고속도로 주행 시 시인성 관련 국내·외 선행연구와 사례들을 분석하여 시인성에 가장 밀접한 영향을 미치는 요인을 분석하였다.

먼저, 사전 현장조사를 통해 야간 고속도로 화물자동차 운행 시 문제점을 파악하고 Driving Simulator 구축을 위한 기초자료를 수집하였다.

그 결과, 화물자동차 보조 후미등화장치의 유·무에 따라 후방차량의 시인성에 영향을 미친다는 것을 인지하고 Driving Simulator를 통한 고속도로 야간 운전환경을 구현하여 보조 후미등화장치 색상과 패턴에 따른 운전자 인지거리를 측정하였다.

추출된 각 집단 간 인지거리는 유의성 검증을 위해 일원배치 분산분석(One-way ANOVA)을 실시하여 각 집단 간 유의성을 통계적으로 검증하여 가장 효과적인 보조 후미등화장치의 유형을 제시하였다.

본 연구의 대상인 화물자동차의 후미 등화장치는 통상적으로 크게 상부, 하부로 구분된다.

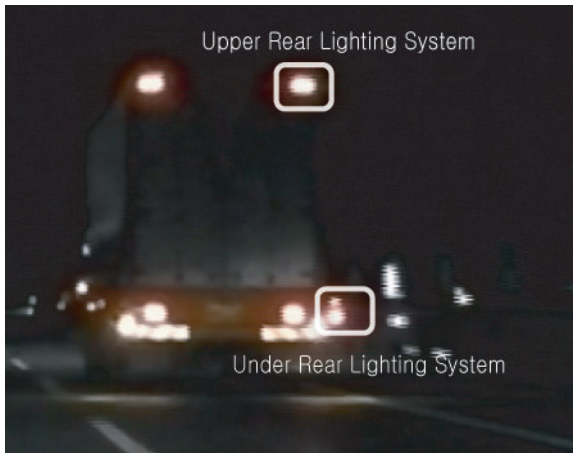

Fig. 1 Rear Lighting System

2. 선행연구 및 이론적 고찰

2.1. 고속도로 화물자동차 사고현황

고속도로 화물자동차로 인한 사고는 일반 차량과의 사고에 비해 높은 치사율을 나타낸다. 지난 5년간 전체 사망자 1,897명 가운데 화물자동차 사고로 613명이 사망한 것으로 분석됐다. 이는 고속도로 전체 통행량 중 화물자동차가 차지하는 비율이 10% 미만에 불과한 것을 감안할 때, 화물자동차 사고가 매우 위험하다는 것을 알 수 있다.

또한 고속도로 화물자동차 사고 발생건수에 따른 치사율은 16.9%로 전체 교통사고 치사율 9.8%보다 1.7배나 높은 수치로 이에 따른 대책 마련이 시급한 실정이다.

Table 1. Number of Accident/Death/Injured Person

Class		2007	2008	2009	2010	2011
Accident	Total	6,156	6,186	6,599	7,454	7,153
	Truck	2,554	2,344	2,519	3,011	2,845
	Truck/Total(%)	41.5	37.9	38.2	40.4	39.8
Death	Total	420	409	397	389	282
	Truck	122	124	126	148	93
	Truck/Total(%)	29.0	30.3	31.7	38.0	33.0
Injured person	Total	14,847	15,581	16,694	18,757	17,536
	Truck	5,065	4,629	4,972	5,963	5,533
	Truck/Total(%)	34.1	29.7	29.8	31.8	31.6

화물자동차 사고유형(피해차량)은 진행 중 추돌사고가 가장 높은 비율을 나타냈는데 이는 후방운전자의 인적요인 및 등화장치 불량으로 인한 시인성 미확보가 주원인인 것으로 판단된다.

Table 2. Types of Commercial Truck Accident at Highway

Class.		Accident (number)	%	Death toll (person)	%	Injured person	%
2010	Frontal crash	20	2.5	17	3.2	31	1.9
	Paked in crash	103	12.9	21	16.7	258	15.6
	Operating rear-end collision	413	51.8	76	60.3	823	49.9
	Angle collision (90°)	184	23.1	18	14.3	379	23.0
	ETC	77	9.7	7	5.6	159	9.6
	Total	797	100	139	100	1650	100
2011	Frontal crash	11	1.5	2	3.4	17	1.2
	Paked in crash	87	11.5	11	19.0	164	11.1
	Operating rear-end collision	409	54.2	36	62.1	827	56.1
	Angle collision (90°)	162	21.5	4	6.9	313	21.2
	ETC	85	11.3	5	8.6	152	10.3
	Total	754	100	58	100	1473	100

2.2. 선행연구 고찰

고속도로 화물자동차 사고 관련문헌을 살펴보면 정시몬(2007)은 대형화물자동차의 사고원인 별 특성을 분석하기 위해 사고발생빈도가 가장 높은 경부고속도로를 대상으로 사고의 직접적인 원인과 간접적인 원인에 따른 특성을 도출하기 위해, 5대 직접원인과 8대 간접원인과의 상관관계 분석을 실시하였다.

운전자의 시인성과 관련한 문헌으로 손승녀(2003)는 도로전광판표시(VMS)의 표출방식에 따른 운전자의 인지반응 특성을 분석하기 위해 3D-Simulation과 초점기록계(Eye Marker Recorder)를 활용하여 실험을 실시하였으며, 이를 통해 주·야간 별 운전자 인지특성을 대변할 수 있는 현저성, 이해성, 판독성을 측정하여 각 표출방식들의 인지반응을 평가하였다.

Yong Cao(2002)는 실제 녹화된 주행상황에 Simulate된 VMS를 합성하여 피실험자를 대상으로 글자크기와 글자색의 영향을 분석하였는데 글자색에 대한 인식효과는 녹색, 황색, 적색 군으로 나타났다.

최형범(2003)은 도로표지의 시인성과 판독성을 분석하기 위해 휘도의 증가가 표지판의 시인성과 밀접한 영향이 있다는 가정 하에 각각의 휘도가 다른 표지판들을 테스트하여 가장 시인성 높은 표지판 개량화 방안을 제시하였다.

Driving Simulator는 교통공학분야에서 운전자의 인간공학적 요소를 고려한 연구를 수행하기 위해 활용되고 있다.

김종민(2012)은 시뮬레이터 분석을 수행하여 도심형 중앙분리대 설치 시 적정 중앙분리대 폭에 대한 주행 안전성을 평가하였고, 김명수(2012)는 음주운전자의 운전특성을 분석하기 위하여 실제 도로상황을 Driving Simulator 영상으로 구현하여 가상의 도로에서의 운전자의 음주전·후의 주행 데이터를 비교하여 운전특성을 분석하였다.

고한검(2012)은 스마트 하이웨이 환경구축 하에 운영될 스마트 델리네이터의 안전운전 유도 효과분석을 Driving Simulator를 활용하여 평가하였다.

기존 연구를 살펴본 결과, 인적요인과 시설물에 따른 고속도로 화물자동차의 사고위험성을 제시하였을 뿐 시인성 향상방안에 따른 사고저감효과 연구는 미비한 실정이다.

또한, Driving Simulator를 이용하여 운전자의 인간공학적 요소를 고려한 연구들이 교통분야에서 다각적으로 진행되고 있음을 관련 연구 고찰을 통해 확인하였다.

이에 본 연구에서는 야간 고속도로를 주행하는 운전자가 전방 화물자동차의 시인성 확보에 가장 밀접한 영향을 미치는 보조 후미등화장치의 색상과 패턴을 변수로 선정하여 Driving Simulator로 구축한 후 인지거리를 측정하여 구체적인 시인성 향상방안을 제시한다는 점에 있어서 기존 연구와의 차별성을 지닌다.

2.3. 관련규정 검토

자동차에서 등화장치란 차의 앞, 뒤, 옆면에서 조명

Table 3. Regulation of Installation

Class.		Installation condition	Number	Color	Installation site (height:mm)	Light Intensity
FRONT	Driving beam head lamp	essential	2 or 4	white	500~1,200	15,000~ 112,500cd
	Passing beam head lamp	Choice	2 or 4	white	500~1,200	3,000~ 45,000cd
	Front fog lamp	Choice	2	white, yellow	more than 250	940~ 10,000cd
	Daytime runninglamp	Choice	2	white	250~1,500	400~ 1,200cd
	Front winker	essential	2	yellow, amber	350~2,000	50~ 1,500cd
	Position lamp	essential	2	white, yellow, amber	350~2,000	4~250cd
	Cornering lamp	essential	2	white	–	–
BACK	Back fog lamp	essential	1 or 2	red	250~1,500	150~ 300cd
	License plate lamp	essential	–	white	–	8lx↑
	Tail lamp	essential	2	red	350~2,000	2~25cd
	Stop lamp	essential	2	red	350~2,000	40~ 420cd
	Assistance stop lamp	Choice	1 or 2	red	–	25~ 160cd
	Back up lamp	essential	2↓	white	250~1,200	80~ 5,000cd
	Back winker	essential	2	yellow, amber	350~2,000	50~ 1,500cd
	Reflector (back)	essential	2	red	350~1,500	420mcd/lx
SIDE	Reflector (side)	Choice	–	yellow, amber, red	350~1,500	420mcd/lx
	Hazard flasher lamp	essential	–	yellow, amber	350~2,000	0.6~ 200cd
	Side aid winker	Choice	2	yellow, amber	350~2,000	0.6~ 200cd
	Side assistance cating lamp	Choice	–	amber, red	250~1,500	25cd↓
ETC	Parking lamp	Choice	2	white, amber, red	–	–
	Top bottom indicating lamp	Choice	–	white, amber, red	–	–
	Conspicuity marking	essential	–	white, amber	250~2,100	120 cd/lx·㎡
	Bottom lighting	Choice	–	white	–	30 cd↓
	Posterior reflector	essential	–	yellow, red	250~1,500	300 cd/lx·㎡ ↑(yellow)

또는 신호를 제공하기 위한 용도로 장착되는 장치를 의미하며, 기능에 따라 다양한 등화장치가 장착되고 있다.

원활한 교통흐름과 경로선택 및 야간주행 시 시인성 확보를 위해 여러 유형의 등화장치가 차량에 설치되어 있다.

현재 20여종의 등화장치가 자동차 종류에 따라 사용되고 있으며, 등화장치는 개수, 색상(컬러), 장착위치 및 크기 그리고 작동조건에 따라 설치되고 작동되어야 한다.

등화장치는 본인뿐만 아니라 상대 운전자에게도 위험 시 경고와 자신의 통행목적을 알려주는 필수적인 장치로 각 목적에 부합하는 장착조건, 개수, 색상, 위치, 광도가 규정되어 있으며 각 국가별 특성에 따라 각기 다른 규정을 제시하고 있다.

특히 후미 등화장치는 시인성 확보가 어려운 야간주행시 후방 운전자에게 자신의 위치를 알려줌으로써 안전한 통행을 유도하는 중요한 역할을 한다.

국내 등화장치 설치규정을 살펴보면 보조 후미등화장치에 대한 설치규정이 마련되어 있지 않아 화물자동차별로 서로 다른 유형의 보조 후미등화장치를 설치하고 있으며, 설치적법성 논란에서 자유롭지 못한 실정에서 규정마련 및 효과적인 보조 후미등화장치의 유형을 제시하는 연구가 시급하다.

이에 본 연구에서는 명확한 설치규정 정립을 위한 기초자료로 활용을 위해 보조 후미등화장치의 색상과 패턴 별 시인성 향상에 가장 효과적인 유형과 보조 후미등화장치의 유·무에 따른 인지거리 차이를 비교 검토가 필요할 것으로 판단된다.

3. 현장조사

3.1. 현장조사 목적

현재 국내에서는 명확한 보조 후미등화장치와 관련된 법규와 관련자료가 전무한 실정으로 본 연구를 수행하기 위한 근거와 자료가 부족하였다. 따라서 본 연구의 당위성을 확보하고, 실제 야간운전 시 후미 등화장치의 유무에 따른 위험성을 파악하기 위해 현장조사를 수행하였다.

현장조사를 통해 수집된 표본의 보조 후미등화장치 비율과 유형을 분석한 자료는 Driving Simulator 영상 구현의 기초자료로 사용되었으며 이를 위해 편도 2차로 고속도로 중 화물자동차 통행이 가장 많은 중부내륙 고속도로를 현장조사 장소로 선정하여 직접 비디오

캠코더를 이용한 영상촬영을 실시하였다.

현장조사 조건은 주행차량 100km/h의 속도로 화물자동차 보조 후미등화장치에 따른 시인성을 평가하기 위해 도로 보조조명장치가 없는 구간을 선정하여 촬영하였다.

또한 도로유형에 따른 시인성 평가를 위해 직선구간과 곡선구간을 통과하는 화물자동차의 적정수준 샘플을 확보하기 위해 반복촬영을 실시하였고, 조사시간은 일반차량의 통행량이 적어 도로환경이 가장 어두운 오전 1시 이후에 실시하였다.

3.2. 현장조사 결과

화물자동차 유형은 탑차, 카고, 트레일러로 구분되며, 가장 많은 통행량을 보인 화물자동차 유형은 탑차로 조사시간 내 화물자동차 통행량의 66.7%를 차지하는 것으로 파악되었다. 이에 본 실험에서는 Driving Simulator 특성상 여러 차종 실험 시 시나리오 증가에 따른 피 실험자의 집중력 저하, 학습효과 등으로 인한 자료의 왜곡을 방지하기 위해, 고속도로 화물자동차 점유율이 가장 높고, 상부등화장치 설치가 가능한 화물자동차 유형인 '탑차'를 실험대상 차량으로 선정하여 현장조사 분석을 실시하였다.

화물자동차(탑차)의 보조 후미등화장치는 상부, 하부에 설치되며, 4가지 색상별로 구분되어 있었다. 등화장치 점등 유·무를 보면 82.6%의 화물자동차에 한 개 이상의 등화장치가 켜 있는 것으로 나타났으며, 조사대상 차량의 과반수 이상인 54.3%가 상부에 등화장치가 점등되어 있는 것으로 파악되었고, 하부등 설치차량은 10.2%, 상·하부 등이 모두 점등되어있는 차량은 18.1%로 파악되었다.

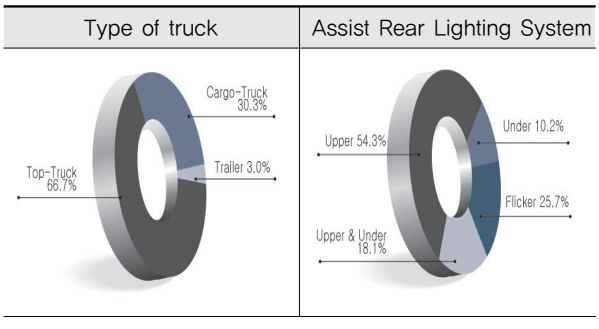

Fig. 2 Types of Truck

상부 보조 후미등화장치와 하부 보조 후미등화장치의 색상은 적색, 호박색, 녹색, 파란색 등 4가지 유형으로 이루어져 있다. 상부등 색상은 적색 53.8%, 호박색 23.1%, 파란색 15.4%, 녹색 7.7%로 조사되었으며, 하부등은 호박색 39.5%, 적색 37.2%, 파란색 15.1%, 녹색 8.1%의 구성비를 나타내었다.

상부 보조 후미등화장치는 일반적으로 야간에 멀리서 가장 잘 보이는 것으로 알려진 적색을 가장 많이 사용하는 것으로 파악되었고, 하부등은 호박색과 적색이 비슷한 비율을 보이는 것으로 분석되었다.

또한 등화장치를 설치하지 않은 화물자동차의 비율은 17.4% 중 관리소홀로 등화장치가 점멸된 차량이 대다수를 차지하는 것으로 파악되었다

Table 4. Color of Upper Rear Lighting System

Class.	Number of vehicle	Percentage(%)
Red	118	53.8
Amber	51	23.1
Green	17	7.7
Blue	34	15.4
Total	220	100.0

Table 5. Color of Under Rear Lighting System

Class.	Number of vehicle	Percentage(%)
Red	32	37.2
Amber	34	39.5
Green	13	8.1
Blue	7	15.1
Total	86	100.0

현장 조사결과 등화장치의 색상은 총 4가지로 구분되어 있었으며 패턴은 3가지 유형이 있는 것으로 파악되었다. 또한 등화장치가 점등된 화물자동차와 점멸된 화물자동차의 시인성 차이가 있는 것으로 파악되었고, 조사차량의 17.4%가 등화장치를 점멸한 것으로 나타나 화물자동차 후방 운전자의 시인성 미확보에 따른 사고 위험이 존재하는 것으로 분석되었다.

4. Driving Simulator 구현 및 실험

4.1. Driving Simulator

본 연구를 위한 Driving Simulator는 일본 Forum8에서 개발한 UC-Win/Road 프로그램을 사용하여 도로환경 구현 및 시뮬레이터 주행을 통한 인지거리측정을 통해 분석하였다. Driving Simulator는 경제적 효율성, 실험환경 제어 및 자료수집의 용이성등의 장점으

로 교통분야의 다양한 연구를 위한 도구로서 널리 사용되고 있다.

실제 실험환경에서는 기하구조나 교통류 상태를 분석하는데 한계가 있다. 또한 변화를 줄일 수 있다고 하더라도 운전자의 과도한 반응 등으로 인한 교통안전상의 문제 등도 대두될 수 있다. 따라서 이러한 실제 실험으로부터 겪게 되는 한계를 Driving Simulator를 통해 극복할 수 있다.

그러나 이러한 장점에도 불구하고 Driving Simulator가 지닌 근본적인 이슈인 Calibration문제로 인해 많은 논란이 제기되고 있다. 이러한 Calibration문제로 인해 Driving Simulator는 절대적인 값을 도출하기 위한 방안(approach for absolute solution)보다는 상대적인 평가에 의한 각 대안의 비교(approach for relative comparison)에 주로 사용되어 왔다(2008, 오철). 이에 본 연구에서는 Driving Simulator 실험을 통해 화물자동차의 후미등화장치 색상과 패턴에 따른 운전자의 인지거리를 측정하고자 하였다.

4.2. 실험개요 및 방법

Driving Simulator 실험의 단점인 현실과의 이질감을 최소화하기 위해 기본 도로환경은 고속도로 보조조명장치가 없는 구간으로 설정하였으며, 도로의 유형은 직선구간과 곡선구간으로 선정하였다.

또한 다른 차량에 대한 라이트 빛으로 시인성이 왜곡되는 것을 방지하기 위해 시나리오 상에 실험대상 차량과 화물자동차만을 포함시켰다. 실험대상 차량의 속도는 우리나라 고속도로 평균 최고속도인 100km/h로 지정하고 화물자동차은 80km/h로 설정하였다.

도로 및 시설조건은 「도로의 구조 및 시설기준에 관한 규칙」을 준용하여 고속도로의 이상적 조건인 차로폭 3.5m와 곡선반경은 고속도로 최대편경사인 6%를 적용하였을 때, 100km/h 시 최소곡선반경인 460m로 설계

Fig. 3 Driving Simulation Test Environment

하였으며, 중앙분리대와 우측 노변방호책으로서 가드레일을 설치하였다. 가드레일과 중앙분리대의 제원은 지침을 따라 가드레일의 높이는 0.8m, 중앙방호책의 높이는 1m로 설치하였다.

또한 운전자에게 실험시작을 알리기 위한 벨소리와 화면 상단에 실험조건을 추가하여 원활한 실험이 될 수 있도록 구성하였다.

보조 후미 등화장치 색상과 패턴에 따른 인지거리 측정을 위한 실험방법은 Driving Simulator에 표출되는 모니터(가로 : 104.5cm, 세로 : 59cm)를 통해 주행하는 실험자가 전방 화물자동차 등화장치의 시인성 확보 시 버튼을 눌러 전방 화물자동차와의 인지거리를 측정하는 방법으로 실험장소는 모든 빛을 차단하였고 야간운전의 신체적 특성을 반영하기 위해 자정 이후에 실험을 실시하였다.

피 실험자는 Driving Simulator의 특성을 잘 이해하고 실험 시 발생되는 신체적 문제점을 최소화하기 위해 20~30대 남·여 중 교정시력 0.5 이상 야간운전경험이 많은 2년 이상의 운전자 40명을 대상으로 실시하였다.

Table 6. Test per Color

Class.	Road Type	Speed	Experiment variable				
Primary experiment	Straight	100km/h	Red	Amber	Green	Blue	Color less
	Curve	100km/h	Red	Amber	Green	Blue	Color less

Table 7. Test per Pattern

Class.	Road type	Speed	Experiment variable		
Primary experiment	Straight	100km/h	End-outline markerlamp	End-outline /Underbody markeramp	Underbody markerlamp
	Curve	100km/h	End-outline markerlamp	End-outline /Underbody markeramp	Underbody markerlamp

실험은 1차, 2차로 나누어 진행되었으며, 보조 후미등화장치 색상에 따른 평가는 피실험자가 총 10번, 패턴은 총 18번의 시나리오를 수행하였다. 1차 실험으로 현장조사에서 수집된 적색, 호박색, 녹색, 파란색 등 4가지 색상과 무색(점멸)을 실험변수로 선정하고, 보조 후

미등화장치의 위치는 가장 많은 설치비율을 보인 상부 등을 기본으로 실험하여 화물자동차와의 인지거리를 측정하였다.

2차 실험으로 호박색, 녹색, 파란색 등 3가지 색상을 선정하여 패턴에 따른 추가적인 시인성 평가를 실시하였다. 패턴에 따른 실험목적은 단순히 많은 등화장치가 더 시인성이 높을 것이라는 일반적인 관점에서 접근하는 것이 아닌, 실험을 통한 객관적이고 정확한 근거를 제시하는데 목적이 있다.

5. 분석결과

5.1. 색상에 따른 인지거리 분석

실험의 측정방법은 피 실험자의 차량과 전방 화물자동차의 X, Y, Z좌표 및 시간 등이 수시로 체크되어 실험자가 버튼을 누르면 데이터에 입력되어 인지거리를 측정하는 방법이다.

판독방법은 직선구간의 경우 X값의 편차를 곡선구간은 X와 Z값을 삼각함수공식을 적용하여 화물자동차와의 편차를 구하는 방법을 사용했다. 추출된 데이터는 각 집단 간 통계적 유의성 검증을 위해 일원배치 분산분석을 사용하였다.

수행된 색상 별 기술통계량은 Table 8, 9와 같이 나타낼 수 있다.

곡선구간에서는 호박색 인지거리가 113.28m로 가장 긴 것으로 나타났으며, 무색 70.63m로 가장 짧은 인지거리로 도출되었다. 등화장치가 점등된 상태에서는 파란색의 인지거리가 94.39m로 가장 짧은 것으로 파악되었다. 이는 등화장치의 점등과 점멸에 따른 인지거리 차이가 존재하고 점등된 상태에서도 색상에 따른 차이가 있는 것으로 나타났다. 색상에 따른 인지거리는 각 평균별로 차이가 있는 것으로 나타났지만 적색과 녹색의 경우, 서로 간의 인지거리가 다른 색상들과 비교하였을 때 유사한 것으로 파악되었다.

또한 가장 시인성이 높은 호박색과 등화장치 점멸 차량과의 인지거리 차이는 42.65m, 점등된 색상 중 인지거리가 가장 짧게 측정된 파란색과의 차이는 18.89m 발생하는 것으로 분석되었다.

직선부 기술통계량은 인지거리가 가장 긴 색상인 호박색은 166.77m를 나타냈으며, 등화장치 점멸차량은 97.30m로 68.7m의 차이가 발생하는 것으로 분석되었다.

등화장치 색상 중 시인성이 가장 짧게 나온 색상은 파란색으로 131.55m이며, 적색과 녹색이 다른 색상들에 비해 차이가 적은 것으로 파악되었다. 이는 곡선부와 비슷한 유형을 나타냈으며 각 집단간 인지거리의 편차가 존재하는 것으로 나타났다.

이를 바탕으로 색상에 따른 인지거리의 유의성 검증을 위하여 각 집단별로 분산분석을 실시하였다. 분산분석의 기본가설 검정을 위하여 Levene의 검정을 실시한

Table 8. Statistic Rate of Curved Line per Color

Class.	N	Average(m)	Standard deviation	Standard error	Confidence interval 95%		minimum(m)	maximum(m)
					lower	upper		
Red	40	102.07	7.79	1.23	99.58	104.56	86.55	119.14
Amber	40	113.28	10.38	1.64	109.95	116.60	86.24	129.82
Green	40	106.58	8.19	1.29	103.96	109.20	79.58	123.25
Blue	40	94.39	10.53	1.66	91.02	97.75	69.64	116.13
Colorless	40	70.63	8.37	1.32	67.96	73.31	56.25	91.24

Table 9. Statistic Rate of Straight Line per Color

Class.	N	Average(m)	Standard deviation	Standard error	Confidence interval 95%		minimum(m)	maximum(m)
					lower	upper		
Red	40	142.40	13.09	2.07	138.22	146.59	123.82	173.94
Amber	40	166.77	20.91	3.31	160.08	173.46	120.78	200.12
Green	40	149.81	12.74	2.01	145.73	153.88	125.25	177.14
Blue	40	131.55	9.10	1.44	128.64	134.46	110.98	149.25
Colorless	40	87.30	7.94	1.26	94.75	99.84	79.65	117.21

결과는 Table 10과 같다.

Table 10. Test of Homogeneity of One-way ANOVA per Color

Class.	Levenne statistics	Degree of Freedom 1	Degree of Freedom 2	P-value
Curve	1.550	4	195	0.189
Straight	1.042	4	195	0.411

'각 집단의 분산은 같다' 라는 귀무가설에 대해 직선, 곡선 모두 유의확률 보다 높은 값이 도출되어 귀무가설이 채택되었다. 즉, 직선부와 곡선부의 화물자동차 보조후미등화장치의 각 집단 간 분산은 동일하다는 것을 의미하며 분산분석이 가능하다.

따라서 본 연구에서는 등분산 가정 시 각 집단 간 표본수가 같을 때 사용되는 Turkey방식과 가장 보편적으로 사용되는 Scheffe방식을 이용한 사후검정을 수행하였다.

각 집단 간 일원배치 분산분석의 결과는 Table 11과 같다.

도로유형 별 색상에 따른 인지거리 분산분석 결과 유의확률 보다 작은 값이 도출되어 귀무가설을 기각한다. 즉, 각 색상 별 등화장치에 따른 인지거리의 평균에는 차이가 있다는 결과이다. 이는 실험결과에서 나타난 집단 간 인지거리의 차이가 통계적으로도 유의한 것으로 나타났다. 또한 사후분석결과 Turkey, Scheffe방식 모두 집단 간 유의수준 내에서 곡선부와 직선부 구간 모두 적색과 녹색은 서로 통계적 차이가 없는 것으로 나타났으며, 이를 제외한 모든 집단은 평균 차이가 있는 것으로 분석되었다.

지금까지 분산분석을 수행한 통계검증에 대해서 적색과 녹색만 서로 평균 차이가 미비한 것으로 나타났으며, 다른 집단과의 평균 차이가 있다는 것을 알 수 있었다.

Table 11. The Result of One-way ANOVA per Color

Class.		Sum of square	Degree of Freedom	Mean square	F	P-value
Curve	Inter group	43345.361	4	10836.340	130.069	0.000
	Withing group	16245.867	195	83.312	-	-
	Total	59591.229	199	-	-	-
Straight	Inter group	107366.614	4	26841.653	146.380	0.000
	Withing group	35757.138	195	183.370	-	-
	Total	143123.752	199	-	-	-

Table 12. Statistic Rate per Pattern

Color	Road type	Pettern class	N	Average (m)	Standard deviation	Standard error	Confidence interval 95%		minimum (m)	maximum (m)
							lower	upper		
Amber lighting	Straight	Top lighting	40	111.32	11.28	1.78	107.71	114.93	86.45	129.11
		Botton lighting	40	92.86	7.99	1.26	90.30	95.41	78.11	107.45
		Top/Botton lighting	40	112.77	11.02	1.74	109.25	116.30	86.45	131.24
	Curve	Top lighting	40	164.03	16.75	2.65	158.68	169.39	132.34	203.22
		Botton lighting	40	163.55	13.73	2.17	159.16	167.94	137.87	199.34
		Top/Botton lighting	40	168.41	18.77	2.97	162.41	174.41	128.35	204.56
Green lighting	Straight	Top lighting	40	104.74	12.55	1.98	100.73	108.75	79.65	126.35
		Botton lighting	40	86.09	13.02	2.06	81.93	90.25	16.26	104.26
		Top/Botton lighting	40	105.00	11.10	1.76	101.45	108.55	82.35	126.35
	Curve	Top lighting	40	148.21	17.43	2.76	142.63	153.78	119.56	191.24
		Botton lighting	40	146.30	16.01	2.53	141.18	151.42	116.48	184.28
		Top/Botton lighting	40	151.64	14.97	2.37	146.85	156.42	129.35	200.15
Blue lighting	Straight	Top lighting	40	94.44	9.48	1.50	91.41	97.47	79.26	112.26
		Botton lighting	40	77.69	6.62	1.05	75.57	79.80	60.11	93.26
		Top/Botton lighting	40	93.75	8.35	1.32	91.08	96.42	73.26	111.19
	Curve	Top lighting	40	134.64	10.21	1.61	131.37	137.91	102.26	153.26
		Botton lighting	40	135.49	8.61	1.36	132.74	138.24	106.26	153.26
		Top/Botton lighting	40	137.17	8.04	1.27	134.60	139.74	113.36	152.26

즉, 야간 고속도로 화물자동차 보조 후미등화장치 색상은 시인성 확보에 밀접한 영향을 미친다는 것을 파악할 수 있었다. 색상 별로 호박색이 가장 시인성이 높고, 파란색이 가장 시인성이 낮은 것으로 나타났으며, 등화장치 유·무에 따른 인지거리의 편차가 큰 것으로 분석되었다.

5.2. 패턴에 따른 인지거리 분석

보조 후미등화장치의 패턴에 따른 시인성 변화를 파악하기 위한 실험을 수행하였다. 피 실험자는 시뮬레이션의 학습효과에 따른 데이터의 오류를 최소화하기 위해 1차 실험 대상자를 배재하였다. 또한 등화장치의 색상은 시인성이 가장 높은 호박색과 녹색, 그리고 가장 낮은 파란색으로 선정하였고, 패턴은 상부점등, 하부점등, 상·하부점등으로 구분하여 평가하였다.

패턴에 따른 보조 후미등화장치 인지거리는 기존 수행되었던 색상 별 인지거리 측정과 비슷한 수치를 나타내었다. 패턴 별 차이는 상부와 전체 점등이 유사한 인지거리를 나타냈지만 하부등과는 차이가 존재하는 것으로 분석되었다. 이는 곡선구간 주행 시 중앙분리대로 인한 시야확보에 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 직선부 기술통계량은 상부, 하부, 상·하부 점등 차이의 차이가 극히 미비한 것으로 나타났다. 패턴에 따른 인지거리 유의성 검증을 위하여 각 집단 별로 분산분석을 실시하였고, 분산분석의 기본가설 검정을 위한 Levene 검정을 수행하였다.

Table 13. Test of Homogeneity of One-way ANOVA per Pattern

Color	Road type	Levene statistics	Degree of freedom 1	Degree of freedom 2	P-value
Amber	Straight	2.451	2	117	0.091
	Curve	1.795	2	117	0.171
Green	Straight	1.537	2	117	0.219
	Curve	0.397	2	117	0.673
Red	Straight	2.677	2	117	0.073
	Curve	0.597	2	117	0.552

패턴에 따른 인지거리 분산분석 결과, 곡선부에서 유의확률 α=0.05보다 작은 값이 도출되어 귀무가설을 기각했다. 그러나, 직선부에서는 유의확률 α=0.05보다 큰 것으로 나타나 가설을 채택하였다. 즉, 각 집단 간 평균에는 차이가 없는 것으로 분석되었다.

이는 실험결과에서 분석되었던 각 집단 간 차이는 존재하였지만 통계적으로는 차이가 없는 것으로 나타났다.

다음으로 이러한 결과에 대하여 곡선부에서 어느 집단 간의 차이인지를 알아보기 위해 사후검정을 실시하

Table 14. The Result of One-way ANOVA Per Pattern

Class.			Sum of square	Degree of freemdom	Mean square	F	P-value
Amber lighting	Curve	Between Group	9860.230	2	4930.115	47.335	.000
		In Group	12186.095	117	104.155	-	-
		Total	22046.325	119	-	-	-
	Straight	Between Group	573.439	2	286.719	1.047	0.354
		In Group	32028.282	117	273.746	-	-
		Total	32601.721	119	-	-	-
Green lighting	Curve	Between Group	9405.640	2	4702.820	31.346	.000
		In Group	17553.217	117	150.027	-	-
		Total	26958.857	119	-	-	-
	Straight	Between Group	585.634	2	292.817	1.120	.330
		In Group	30588.747	117	261.442	-	-
		Total	31174.381	119	-	-	-
Blue lighting	Curve	Between Group	7186.661	2	3593.331	53.017	0.000
		In Group	7929.969	117	67.778	-	-
		Total	15116.631	119	-	-	-
	Straight	Between Group	132.414	2	66.207	.817	0.444
		In Group	9481.701	117	81.040	-	-
		Total	9614.115	119	-	-	-

였다. 사후검정으로는 등분가정 시 사용되는 Turkey방식과 Scheffe방식을 채택하였다.

사후분석결과 곡선부는 상부와 상·하부 점등이 유의수준 α=0.05보다 낮은 값이 도출되어 귀무가설이 기각되었지만, 하부등은 유의수준 보다 높은 값이 나타나 귀무가설이 채택되었다. 즉 상부등과 상·하부 점등은 평균 간 차이가 없고, 하부등 점등과의 평균차이가 있음을 의미한다.

5.3. 분석결과 종합

고속도로 야간주행 시 화물자동차 시인성 평가를 위해 도로유형 별 화물자동차 보조 후미등화장치의 색상과 패턴 별 인지거리에 대한 교차분석을 실시한 결과, 각 집단에 대하여 유의한 차이를 확인할 수 있었다.

색상에 따른 인지거리는 모든 도로유형에서 호박색이 가장 긴 인지거리를 나타내 시인성 확보에 가장 효과적인 것으로 나타났다.

특히 보조 후미등화장치의 점멸(무색)과 비교하면 곡선구간의 경우 42.6m, 직선구간 약 68.7m의 차이를 나타냈는데, 이는 보조 후미등화장치 설치가 야간 시인성 확보에 중요한 영향을 미친다는 것을 파악할 수 있었다. 또한 적색과 녹색은 서로 유사한 것으로 나타났고, 파란색이 인지거리가 가장 짧은 것으로 분석되었다.

패턴에 따른 인지거리 분석은 곡선부 구간에서는 하부등화장치를 장착한 화물자동차의 경우 주행 시 중앙분리대로 인해 시야 확보가 어려워 다른 집단들과의 차이를 나타낸 것으로 분석되었다. 그러나 직선구간은 각 집단 간의 평균 차이가 없는 것으로 분석되었다.

야간 고속도로 시인성 확보를 위한 실험에서 추출된 인지거리 값에 대한 분산분석결과 각 색상 별 인지거리에 따른 집단 간 평균의 차이가 검증되었으며, 패턴에 따른 분산분석결과 곡선부 구간에서는 집단 간 차이가 존재하였지만, 직선부에서는 동일한 것으로 분석되었다.

결과를 종합해보면 호박색이 야간 고속도로 시인성 확보에 가장 좋은 색상으로 나타났으며, 패턴은 상부와 상·하부 전체점등이 시인성 확보에 용이한 것으로 분석되었다.

따라서 본 연구의 실험결과 호박색 상부등화 및 상·하부 패턴이 시인성을 증대시키는데 가장 효과적인 것으로 도출되었다.

6. 결론 및 향후 연구과제

6.1. 결론

본 연구에서는 야간 고속도로 화물자동차의 위험성을 인지하고, 최적의 보조 후미등화장치 색상과 패턴을 도출하여 시인성 향상방안을 제시하고자 하였다.

이와 같은 연구목적에 따라 수행된 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 시인성 및 야간 고속도로 화물자동차 사고에 관한 관련문헌과 연구를 고찰하고 본 연구의 당위성 확보와 Driving Simulator 구축에 필요한 기초자료수집을 위해 현장조사를 수행하였다. 현장조사 수행결과 대형화물자동차 유형 중 가장 높은 비율은 '탑차'로 나타났으며, 시인성 확보를 위해 설치된 후미 표시 등화장치는 상부, 하부, 상·하부로 구성되어 있었다. 이 중 상부 등화장치의 비율이 가장 높게 나타났으며, 색상은 적색, 녹색, 호박색, 파란색 순으로 조사되었으며, 이중 적색이 차지하는 비율이 가장 높게 나타났다.

둘째, 도로유형 별 화물자동차 보조 후미등화장치의 색상과 패턴에 대한 인지거리를 측정하기 위해 Driving Simulator를 구축하였다. 실험차량의 라이트 광도는 국내 설치기준을 따랐으며, 현장조사에서 수집된 영상과 비교하여 최대한 현실감있는 실험환경을 구축하였다.

셋째, 야간 고속도로 화물자동차의 보조 후미등화장치에 따른 시인성을 평가하기 위해 인지거리 측정실험을 수행하였다. 실험대상자는 교정시력 0.5이상 운전경력 2년 이상, 시뮬레이션 주행의 특성을 잘 파악할 수 있는 20~30대를 대상으로 실시하였다. 실험방법은 전방 화물자동차의 보조 후미등화장치의 시인성이 확보되면 버튼을 눌러 인지거리를 측정하는 방법을 사용했다. 실험결과 직선부와 곡선부 모두 시인성이 높은 순위는 호박색-녹색-적색-파란색으로 나타났으며 호박색과 파란색의 인지거리 차이는 곡선구간 18.89m 직선구간 42.65m이며, 호박색과 등화장치가 점멸된 화물자동차와의 인지거리는 곡선구간 42.65m, 직선구간 79.47m로 나타났으며 적색과 녹색의 경우 인지거리의 차이가 미비한 것으로 분석되었다. 패턴 별 실험결과는 곡선구간에서 상부등과 상·하부 점등은 유사한 인지거리를 나타냈지만 하부등과는 차이를 보였는데, 이는 곡선구간 주행 시 중앙분리대로 인한 하부등의 시인성 확보가 방해되어 인지거리의 차이가 발생된 것으로 분석되었다. 그러나 직선구간의 경우, 모든 패턴이 비슷한 인지거리를 나타냈다. 패턴에 적용된 호박색, 녹색, 파란색 각각의 인지거리도 색

상 별 실험결과와 비슷한 결과를 나타냈다.

본 연구에서는 야간 고속도로 화물자동차의 시인성 확보방안을 위해 야간 고속도로의 문제점을 현장조사를 통해 분석하고 기존 정적인 평가방법이 아닌 Driving Simulator를 이용한 동적인 연구로의 전환으로 현실감 및 신뢰성을 증대한 결과를 제시하였다. 이러한 결과는 향후 보조 후미등화장치의 규정마련과 미진한 야간 고속도로 화물자동차 시인성 연구에 대한 기초자료로 활용하는데 도움을 줄 것으로 기대된다.

6.2. 향후 연구과제

본 연구는 Driving Simulator를 구현하는데 있어 최대한 현실적인 측면을 반영하고자 노력하였지만 피 실험자가 실제 고속도로 주행에서 오는 피로감과 긴장감 등의 인적요인 등 개인의 신체적 특성과 운전경력, 성별, 연령대 별 등 다양한 실험그룹에 대한 실험이 부족하였고, Driving Simulator실험의 특성상 실제 도로환경과의 차이가 존재함에 따라 피 실험자의 정확한 인지거리를 측정하는데 한계가 있다.

또한 본 연구에서 제시하고 있는 Driving Simulator를 이용한 연구내용은 실제 구축 및 운영을 하기 위한 초기단계의 연구로서, 실차실험을 동반한 평가가 병행될 때 보다 유의한 수준의 결과를 기대할 수 있으며, 객관적 평가가 이루어 질 것이다.

실험대상자가 주로 20~30대의 성인층을 대상으로 구성하여 다양한 운전자의 특성을 반영하고 있지 못한 연구의 한계점이 존재하기에 보다 다양한 연령대 및 성별 구성을 가진 실험군을 대상으로 추가실험이 이루어져야 한다. 특히 고령운전자의 증가에 따른 특성을 반영하여 50~60대 운전자 또는 그 이상의 운전자를 포함한 분석이 수행되어야 할 필요가 있다.

따라서 향후 연구에서는 운전경력, 성별, 연령대를 고려한 보다 많은 실험군의 확보를 통해 보다 객관적인 데이터를 확보해야 하고, 현실성을 최대한 적용할 수 있는 Driving Simulator 프로그램의 개발 및 적용을 통하여 야간운전 시 시인성에 영향을 미칠 수 있는 다양한 요인들을 도출하여 더욱 객관적이고 신뢰성 높은 결과를 제시하고, 집단별 인지거리의 차이가 실제 주행에서 안정성 확보에 미치는 영향에 대한 연구도 필요하다고 판단된다.

References

Choi, Youngbum, 2003. *A study on the visibility distance of road Traffic signs and luminance*, Master`s Thesis, Department of Civil Engineering Graduate School, YeungNam University

Seok, Daeil, 2011. *Evaluation of Driver's Visibility at the Low Mounting Height Road Lighting Environment*, Doctor`s Thesis, Department of Electrical and Electronic Engineering Graduate School, Kangwon National University

Kim J. M., Kim J. W., Noh K. S. and Kim K. T.(2012), "A Study on Design Standards of a median strip in City considering Traffic Safety", *International Journal of Highway Engineering*, Vol.14, No.1, Korean Society of Road Engineers, pp.35-44.

Kim M. S, Park S. J "A Study on the Significance and Relationship Drunken Drivers Characteristics Using Virtual Reality Scenario" *International Journal of Highway Engineering*, Vol.14, No.5, Korean Society of Road Engineers, pp.165-177.

Son, Seungneo, 2003. *(A) Study on Significance Testing between Characteristics of Driver's Visual Cognition Behavior due to the VMS Message Display Forms*, Master`s Thesis, Department of Transportation Engineering The Graduate School, MyongJi University

Jung, Simon, 2007. *An Analytical Study Of Heavyweight Trucks' Traffic Accidents and Countermeasures on the Gyeong-bu Expressway*, Master`s Thesis, Graduate School of International Trade And Logistics, InHa University

Choi, Saerona, 2011. *Effects of Weather and Traffic Conditions on Accident Severity on Freeways*, Master`s Thesis, Dept. of Transportation Engineering The Graduate School of Hanyang University

Lee, Hyeryung, 2012. *Analysis of Landscape Preference by the Installation Combination of Lightning in Tunnel based on Conjoint Analysis*, Master`s Thesis, Department of Transportation Engineering The Graduate School, MyongJi University

Ko H. G "Safe Driving Inducement Effect Analysis of Smart Delineator through Driving Simulation Evaluation" *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol.30, No.4 PP43-59

Yeo, Woonwoong, 2007. *Road marking characteristics of night visibility*, Doctor`s Thesis, Dept. of Urban Planning and Engineering The Graduate School Yonsei University

Shin, JaeMan, 2009. Calculation of Perceived Curve Radius Considering Visual Distortion at Curve Section. *Page 25 in Proc. of 11th Conference of Korean Society of Road Engineers*, Seoul, Korea.

Jeon, WooHoon, Cho, Hye Jin, 2007. A Study on the Installation Method of Delineation System Using Detection Distance and Lateral Position, *International Journal of Highway Engineering*, Vol.9 No.3, 29-38.

Oh C., Kim T. H., Lee J. J., Lee S. B. and Lee C. W.(2008), Use of a Driving Simulator to Determine Optimum VMS Locations for Freeway Off-ramp Traffic Diversion, *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol.26, No.1, Korea Society of Transportation, pp.155-164.

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2009), *Manual and Guideline of Rule on the Standard of Highway Structure and Facility*.

Kang, ByungSeo, 2010. *SPSS17.0 social science statistical analysis*.

(접수일 : 2012. 8. 22 / 심사일 : 2012. 10. 17 / 심사완료일 : 2013. 7. 12)