

고속도로 유출지점 경로안내용 도로전광표지의 설치위치 산정방안에 관한 연구

A Study on Developing Discriminant Model for VMS installation Considering Human Factors

김 태 호*
Kim, Tae Ho

이 용 택**
Lee, Yong Taeck

도 화 용***
Do, Hwa Yong

원 제 무****
Won, Jai Moo

Abstract

VMS are installed in many Korean highways in order to give drivers informations such as travel time to destination, congestion and Incident situation. However, some guidelines for install VMS are restricted in only geometric factors although human factors considering driver behavior are very important to affect the VMS installation. Therefore, this paper are focusing on developing and verifying the discriminant model for VMS installation considering human factors. As a result, following outputs are obtained ; (1) developing the discriminant model using human factors of driving simulation experiments in order to predict driver reading VMS messages safely detour highway. (2) proving that driving experiences in highway, personal driving history, vehicle speed orderly affects VMS installation (3) verifying predictability of developed model by comparing the real values with predicted values. (4) suggesting that VMS should be installed off 3.2Km from the I.C. of rural highway

Keywords : *VMS(Variable Message Sign), discriminant model for VMS installation(DMV), driving simulator, human factors*

요 지

본 연구는 지방부 고속도로 상에서 유출지점용 도로전광표지의 적정 설치지점을 도출하기 위하여, 차량시뮬레이터 실험 자료를 변수로 운전자가 도로전광표지의 교통정보를 판독한 후 고속도로 유출시설로 우회가 가능한지 여부를 판단할 수 있는 판별식(Discriminant Model for VMS installation : DMV식)을 개발하는 것이다. 연구결과로는 (첫째), 차량시뮬레이터 실험을 통하여 도로전광표지 설치지점을 변경시키면서 운전자의 인적, 행태적 자료를 수집하고, 이를 근거로 도로전광표지 설치지점에 따라 우회 가능성을 판단할 수 있는 DMV식을 개발하였다. (둘째) 우회가능성은 도로전광표지 설치지점이 멀수록, 운전자경력이 많을수록 고속도로 운전경험이 많을수록, 차량속도가 낮을수록 높아지는 것으로 나타났으며, 우회가능성에 큰 영향을 미치는 변수는 도로전광표지 설치지점, 고속도로 경험, 운전경력, 차량속도 순으로 나타났다. (셋째), 개발된 DMV식의 예측력을 검증한 결과, 개별 운전자가 도로전광표지의 교통정보를 판독하고 이에 대응하여 우회가능성을 정확하게 예측하였다. (넷째) DMV식을 이용하여 설치지점에 대한 우회가능성의 민감도분석을 수행한 결과, 지방부 고속도로에서 운전자의 85%이상이 도로전광표지로부터 교통정보를 판독하고 유출지점으로 진입하기 위해서는 유출지점으로부터 최소한 3.2Km의 이격거리가 필요한 것으로 분석되었다. 이는 피실험자가 20, 30대 운전자로 대표성에 한계가 있음을 감안하더라도 유출지점으로부터 건설교통부 지침에서 제시한 3.0Km이상의 이격거리가 필요하다는 것을 시사한다 하겠다.

핵심용어 : 도로전광표지, 우회판별함수식, 차량시뮬레이터, 운전자 행태자료

* 정회원 · 한양대학교 산업과학연구소 선임연구원 · 주저자
 ** 정회원 · 대한민국 감사원 감사관 · 교신저자
 *** 비회원 · 한양대학교 도시공학과 박사과정
 **** 비회원 · 한양대학교 도시대학원 원장



1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

도로전광표지(Variable Message Sign, VMS)는 건설교통부에서 제정한 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」 제 38조에 의하여, 도로이용자에게 기상 및 도로·교통상황 또는 그에 따른 교통규제 상황에 관한 정보를 실시간으로 제공함으로써 교통흐름을 안전하고 원활하게 유도하기 위해 설치하는 도로부속시설이다. 이러한 도로전광표지는 현재 지능형교통시스템(Intelligent Transport Systems : ITS)사업의 서브시스템으로 전국적으로 확대 구축·운영되고 있다.

도로전광표지는 건설교통부 「도로안전시설 설치 및 관리지침(도로전광표지)」의 설치기준에 따라 지방부 고속도로의 경우 출구 상류부 3km 지점에, 도시부고속도로는 출구 상류부 1~2Km 지점에 설치하도록 하고 있다. 그러나 도로전광표지의 설치지점은 차량운전자의 도로·교통요인뿐만 아니라 운전자의 가시거리, 판독가능거리, 소실거리, 인지가능 적정 메시지 수 등 다양한 인적요인(Human Factors)에 따라 상당히 달라질 수 있다. 또한 유출지점으로부터 도로전광표지의 적정 설치지점은 운전자의 인적요인을 감안한다하더라도 도로전광표지만을 단독 결정하는 것이 불가능하고, 현재의 출구안내표지 설치위치의 구조적인 제약을 받으므로 이를 감안하여 도로·교통·운전자요인을 복합적으로 고려하여 분석해야한다. 따라서 고속도로를 운전하는 개별 운전자가 유출지점으로부터 일정거리에 설치되어 있는 도로전광표지의 우회정보를 판독한 후, 유출지점으로 안전하게 우회할 수 있는지를 판별할 수 있는 판별식(Fisher's Linear Discriminant Model for VMS installation : DMV 식)의 개발이 필요하다.

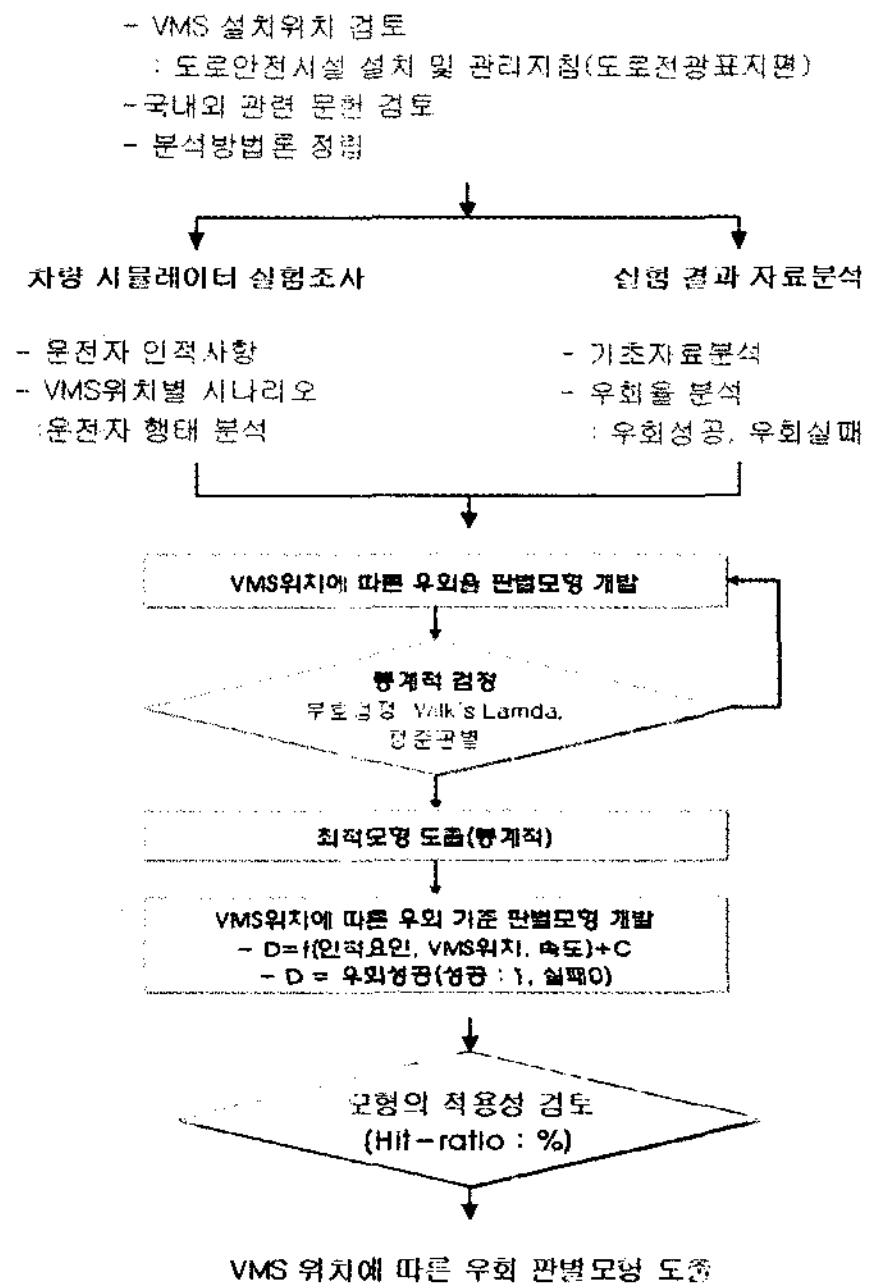
따라서 본 연구에서는 현행 도로전광표지의 설치기준을 개선하기 위해 필요한 개별 운전자의 행태분석을 위하여, 현장에서는 구하기 힘든 자료를 가상의 공간으로 구축한 차량시뮬레이터(Driving

Simulator) 실험을 바탕으로 운전자의 인적요인자료를 수집하고자 한다. 또한 이를 토대로 운전자 인적요인변수를 이용하여 유출지점으로부터 도로전광표지의 적정 설치지점을 판단할 수 있는 판별식(DMV 식)을 개발하고, 민감도분석(Sensitivity Analysis)을 통해 현장적용 가능성을 확인하고자 한다.

2. 연구의 내용 및 방법

본 연구의 내용은 차량시뮬레이터 실험을 바탕으로 운전자의 인적요인자료를 수집하여 운전자가 도로전광표지의 우회정보를 판독한 후 안전하게 우회할 수 있는 적정이격거리를 산정할 수 있는 판별모형을 개발하는 것으로 연구의 방법은 다음과 같다.

VMS 설치위치에 따른 우회율 모형개발 기본방향



(첫째) 도로전광표지 설치지점에 관한 국·내외 문헌고찰을 통하여 국내 기준의 한계와 기준 개선을 위한 판별모형개발 방법론을 정립한다.

(둘째) 피실험자를 대상으로 운전자 인적자료 및



도로전광표지 설치위치에 따른 시나리오를 작성하여 시나리오별로 우회가능 여부 자료를 수집·정리한다.

(셋째) 도로전광표지와 유출시설간의 적정이격거리를 판단할 수 있는 판별식을 개발·검증한다.

(넷째) 설치지점과 우회가능성에 대한 민감도분석을 수행하여 지방부 고속도로 상 도로전광표지 설치 시 필요한 적정 이격거리를 산출 및 민감도분석을 통하여 모형의 현장적용가능성을 확인한다.

2. 문헌고찰

1. 국내 연구사례

국내연구는 운전자가 도로전광표지를 인지하고 판단하는 시간을 고려하여 도로전광표지의 위치, 높이, 메시지 표현방법 등에 대한 연구가 수행되었다. 이와 관련하여 정준화(2001)는 도로전광표지의 메시지 설계에서 운전자의 인지특성에 대한 운전자의 인지거리와 판독거리, 인지 정보량과 정보인지율 등의 실험 연구를 통하여 판독거리를 산출하였다.

최기주(2001)는 도로상에서 도로이용자가 원하는 목적지까지 쉽게 도착할 수 있도록 안내해 주는 기능을 갖는 도로부속물로 꼭 필요한 곳에, 눈에 잘 띄도록, 간단 명료하게 의미가 전달될 수 있도록 설치되어야 하며, 표지판을 보고 필요한 행동을 취하는데 있어서 안전과 시인성이 확보되도록 여유있게 설치되어야 한다고 하였다. 또한 기존 규정에서는 판독거리의 중요한 변수인 표지판 정보수가 고려되지 않았지만, 정보수에 초점을 맞추어 속도와 정보수, 주행차로 등의 변수를 고려한 표지판 시인거리 측정실험을 수행하였다.

금기정(2005)은 정보를 인지하고 판단하는 운전자 관점에서 실용적이고 효과적인 정보 전달을 위한 방안 마련에 활용하고자 인지반응 특성요소를 효과척도로 적용하여 표출방식간 유의성 검증을 실시하였으며, 각 표출방식에 대한 인지반응 특성

요소의 효과정도를 검토하였다.

오철외(2008)는 경로전환 정보제공 시 다양한 도로전광표지 이격거리에 따라 안전하게 유출연결로로 진입할 수 있는 지를 판단하기위해 Driving Simulator를 통해 피실험자의 인적자료를 이용하여 이항로짓과 요인분석기법을 적용하여 운전자특성변수(성별, 고속도로운전경험, 운전면허종류)와 Spacing(VMS와 유출연결로간의 이격거리)을 독립변수로 하는 진입성공율(종속변수)을 산출하는 모형을 개발하였다. 또한 민감도분석을 통하여 2종 운전면허를 소지한 고속도로운전경험이 없는 여성운전자를 설계대상으로 약 2.9Km의 이격거리를 확보해야만 전체 운전자의 85%가 경로전환에 성공할 수 있는 것으로 분석하였다.

그러나 아직까지 운전자가 도로전광표지를 판독하고 유출·입시설로 안전하게 우회할 수 있도록 도로전광표지와 유출·입시설 간의 이격거리를 산출하는 연구는 금기정(2005), 오철(2008)외의 연구를 제외하고는 전무한 실정이고, 국내의 현장에서는 <표 1>과 같이 『도로안전시설 설치 및 관리 지침(도로전광표지)』에 도로기능별로 교통특성을 고려하여 설치지점을 선정하고 있다.

표 1. 국내 VMS 설치관련 지침(2000)

도로기능 및 교통특성	VMS 설치지침
지방부 고속도로	출구 3km 전방
도시부 고속도로	출구 1~2km 전방
지방부 일반도로	4차로 도로의 경우 500~1,000m 전방
도시부 일반가로	교차로와 교차로의 중간

2. 국외 연구사례

국외연구로는 Dudek(1997)은 NCHRP(미연방도로연구프로그램)-237 보고서를 통해 각 도로유형에 맞는 도로전광표지의 유형, 특성, 운영방안, 표출방안 등에 대한 가이드라인을 제시하였다. 이 외에도 미국 각주의 도로전광표지 매뉴얼에서는 도로환경



적요인과 시인성을 비교분석하였고, 도로이용자의 시인성 및 소실거리, 교통운영 및 충돌안전을 고려하였으며, 교통사고 발생 및 공사 시의 교통관리, 환경적 요인과 도로선형, 이격거리, 설치각도 등을 제시하였다. Harder(2003)는 운전자가 실제로 도로전광표지를 얼마나 인지하고 행동하는지에 대해 STISIM Driving Simulator를 이용하여 다양한 연령대의 120명을 표본으로 실험하였다. Harder는 두 가지 실험을 실시하였는데, 한 실험은 운전자에게 도로 하류부의 돌발상황에 대한 메시지를 전하고 이에 대한 운전자의 반응을 점수화하여 정량화하였는데, 피실험자 중 여자가 남자보다 우수한 점수를 받은 것으로 분석하였다. 다른 실험은 운전자에게 도로전광표지 메시지를 통해 다음 램프에서 우회해서 가도록 유도하였는데 120명 중 53명이 우회하지 못한 것으로 밝혀졌다. 53명 중 41.6%는 VMS 메시지를 무시하였고, 35.9%는 도로전광표지를 이해하지 못한 것을 이유로, 22.5%는 메시지를 판독하지 못해 우회하지 못한 것으로 나타났다. 그러나 국외에서도 아직까지 운전자가 도로전광표지를 판독하고 안전하게 유출지점으로 우회할 수 있는 도로전광표지와 유출지점의 적정이격거리에 관한 연구 및 실험은 없었으며, 다만 미국에서도 운전자가 우회결정을 선택해야 하는 지점에서부터 최소 전방 1.6km에 도로전광표지를 설치하도록 권고하고 있는 실정인 것으로 나타났다.

3. 자료의 수집 및 분석

1. 자료의 수집

1) 차량시뮬레이터 개요

본 연구에서는 고속도로 상에서 도로전광표지를 이동하면서 운전자가 반복적으로 주행하는 것이 불가능하기 때문에 가상현실 도구인 차량시뮬레이터를 이용하여 도로전광판의 위치를 변화시키면서 반복 주행토록 하는 방식으로 운전자의 인적자료를 수집하였다. 여기서 차량시뮬레이터는 운전자가

자동차를 운전하는 동안 수행하는 조향 휠 조작, 가·감속 페달 조작 등을 통해 야기되는 차량의 운동을 실시간 시뮬레이션을 수행해 예측하고 그 결과를 운동, 시각, 음향을 통해 운전자에게 피드백하여, 차량시뮬레이터에 탑승한 운전자가 실제로 자동차를 운전하고 있다는 느낌을 갖게 하는 가상현실 장비이다. 이러한 차량시뮬레이터는 안전한 실험실 공간 내에서 위급 상황까지 포함하는 자동차의 다양한 주행 상황 및 조건을 충실하게 재현함으로써 지능형 차량 개발 및 평가, 지능형교통시스템 개발 및 사용성 평가, 교통안전 연구, 운전자요인 연구 등의 다양한 분야에서 활발하게 응용되고 있다. 본 연구에서는 <그림 2>와 같이 시각 및 음향 컴퓨터는 주행 상황에 맞는 환경을 재현하는 컴퓨터 그래픽 이미지와 소음을 생성하고, 이를 프로젝터 및 스피커를 통하여 재현하는 방식으로 차량시뮬레이터를 개발하였다. 또한 차량시뮬레이터에 탑승한 운전자는 전방의 스크린을 통하여 <그림 3>과 같이 도로주행환경을 묘사한 화면을 보면서 주행하게 된다. 이때 운전자는 이상적인 도로구간을 대상으로 차량시뮬레이터 주행환경에 대하여 충분한 적응연습을 실시 한 후 운전자에게 주행가능 여부를 확인 후 실험을 실시한다.

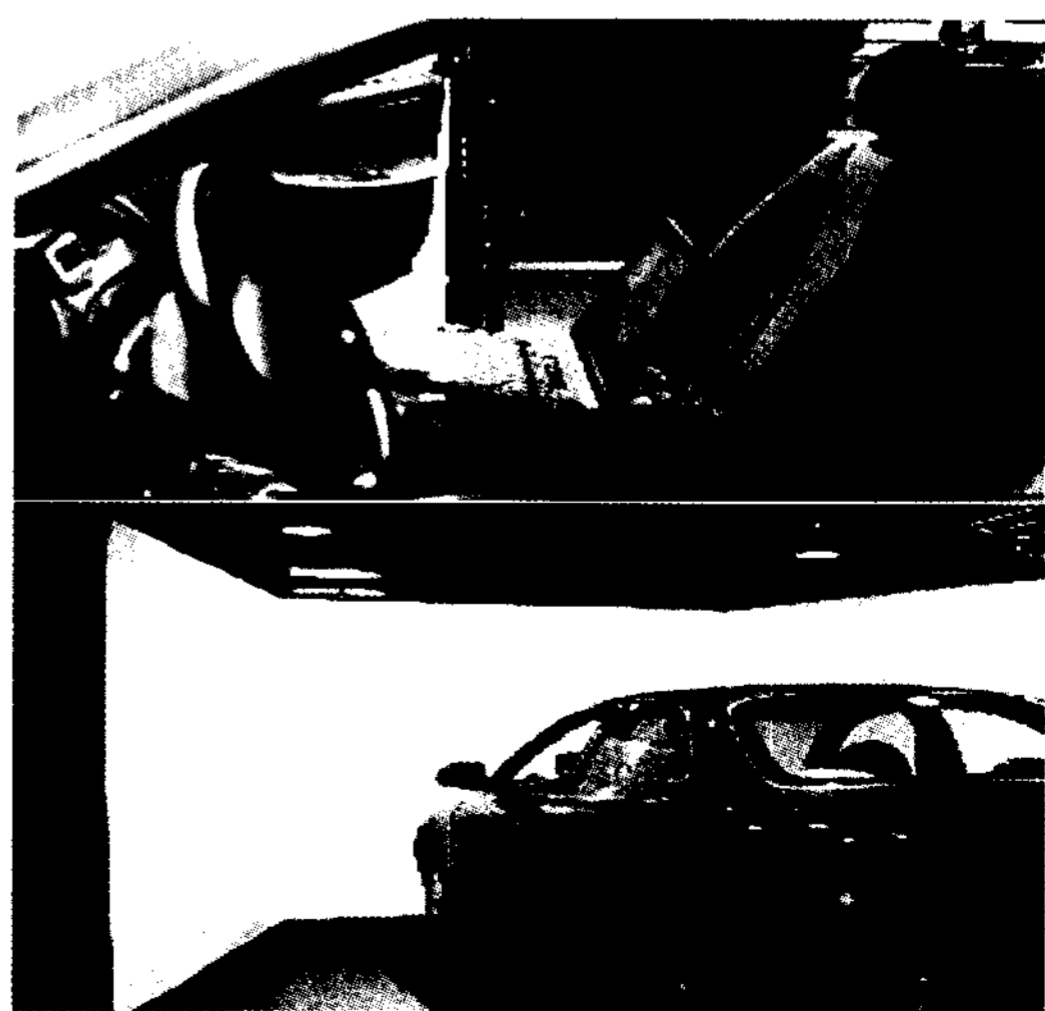


그림 2. 차량시뮬레이터 및 실험상황



그림 3. 차량 시뮬레이터 실제 실험 화면

2) 피실험 대상자 선정

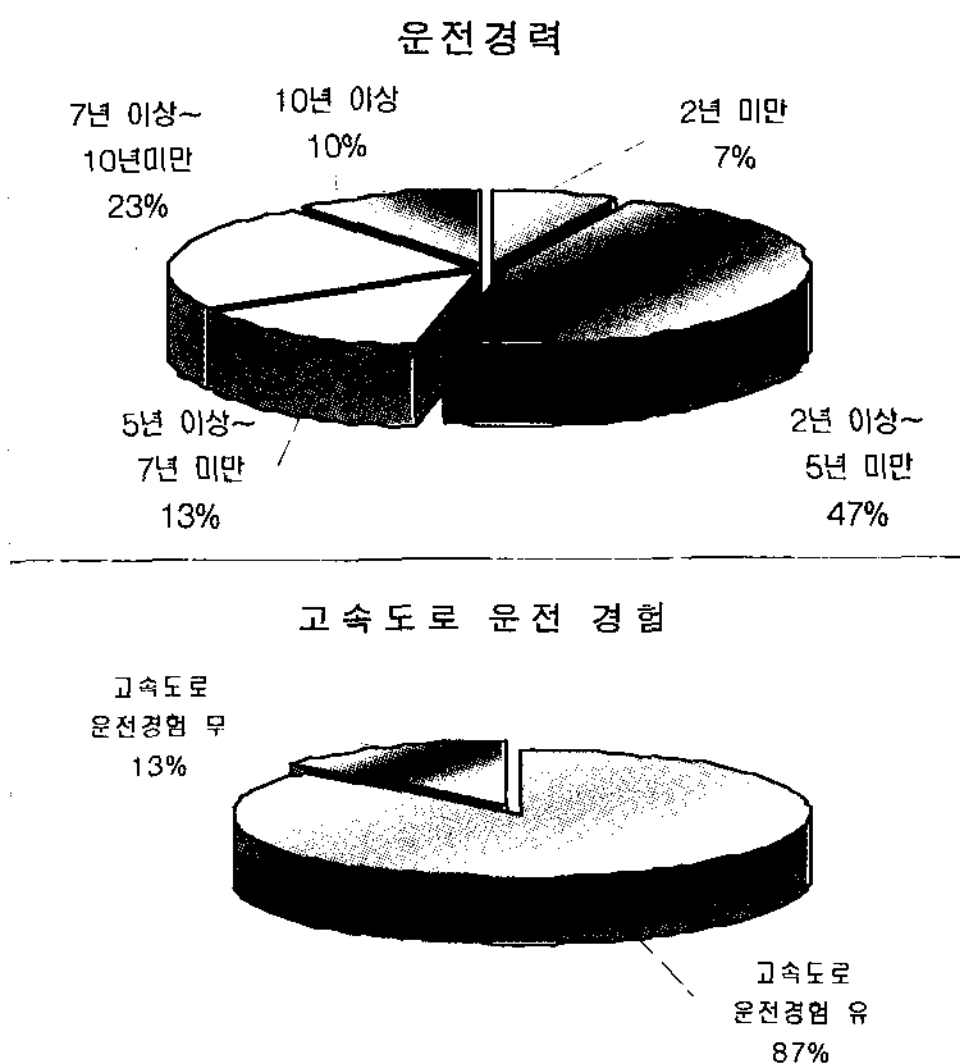


그림 4. 피실험자 주요 운전경력

차량시뮬레이터를 이용하여 가상현실의 도로환경에서 도로전광표지의 우회정보를 판독하고 고속도로의 유출지점으로 안전하게 우회할 수 있는지를 실험하기 위하여 운전이 가능한 피실험자 30명을 선정하였다. 피실험자의 구성은 남성 20명, 여성

10명으로 연령대는 20, 30대로 20대가 18명, 30대가 12명으로 구성하였다. 실험에 앞서 피실험자에게 본 실험의 목적과 주의사항을 설명하고 차량시뮬레이터 작동에 대하여 충분히 숙지토록 하였다. 아울러 피실험자의 특성분석을 위해 운전경력, 연령, 사고유무 현황, 면허취득일, 고속도로주행 경험 등 운전자의 인적요인을 조사하였다. 피실험자는 색맹, 색약 등 시각기능에 이상이 없는 신체 건강한 정상인을 대상으로 실시하였으며, 실험 실시 전에는 피로가 누적되지 않는 상태에서 실험에 참여토록 하였다. 본 연구에 참여한 30명의 피실험자(운전자)의 운전경력은 2년이상 5년미만이 47%로 가장 많았으며 고속도로 운전경험이 있는 운전자가 87%로 운전에 대한 숙련도가 높은 것으로 나타났다.

3) 실험용 시나리오 설정

<표 2>와 같이 고속도로 상에서 유출시설로 부터 상류부(Upstream) 3km, 2.5km, 2km, 1.5km, 1km에 도로전광표지를 각각 설치하는 5개 시나리오를 구성하여 실험을 실시하였다. 도로전광표지 이후에 나타나는 안내표지판 설치위치는 건설교통부의 도로표지규칙을 바탕으로 실험상황에 적합하게 설정하였다. 또한 차량시뮬레이터실험의 도로여건은 <그림 5>와 같은 선형을 가진 8차로의 지방부 고속도로이며, 교통여건은 <표 3>과 같이 고속도로 서비스수준 D, E(LOS D, E)의 밀도와 속도를 유지토록 설정하였다. 운전자의 차량은 실험 시 1차로에서 출발하도록 하였으며 가급적 과속, 추월 등을 하지 않고 안전 운행하도록 하였다. 또한 동일한 피실험자 30명을 대상으로 유출지점으로부터 도로전광표지가 3km, 2.5km, 2km, 1.5km, 1km에 설치되어있는 5가지의 실험시나리오를 무작위로 선정하여, 운전자가 도로전광표지에서 표출된 우회정보를 판독하고 차로변경을 통해 유출시설로 운전할 수 있는지를 실험하였다. 위 피실험자 30명을 대상으로 5개 시나리오를 실험하여 합계 150개의 분석용 자료를 수집하였다.



표 2. 실험 시나리오

시나리오	시나리오 개념도
시나리오① (도로전광표지 설치지점- 3km)	
시나리오② (도로전광표지 설치지점- 2.5km)	
시나리오③ (도로전광표지 설치지점- 2km)	
시나리오④ 도로전광표지 설치지점- 1.5km)	
시나리오⑤ (도로전광표지 설치지점- 1km)	

표 3. 시나리오 도로·교통 조건

구분		조건 내용
도로 조건	도로등급	지방부 고속도로
	차로수, 총연장	왕복 8차로, 4Km
교통운 영조건	도로서비스수준	서비스 수준 D, E
	차량 속도	58 km/h ~ 92 km/h
	도로전광표지 메세지	00→00구간 화재로 차로차단, 00으로 우회바람 등

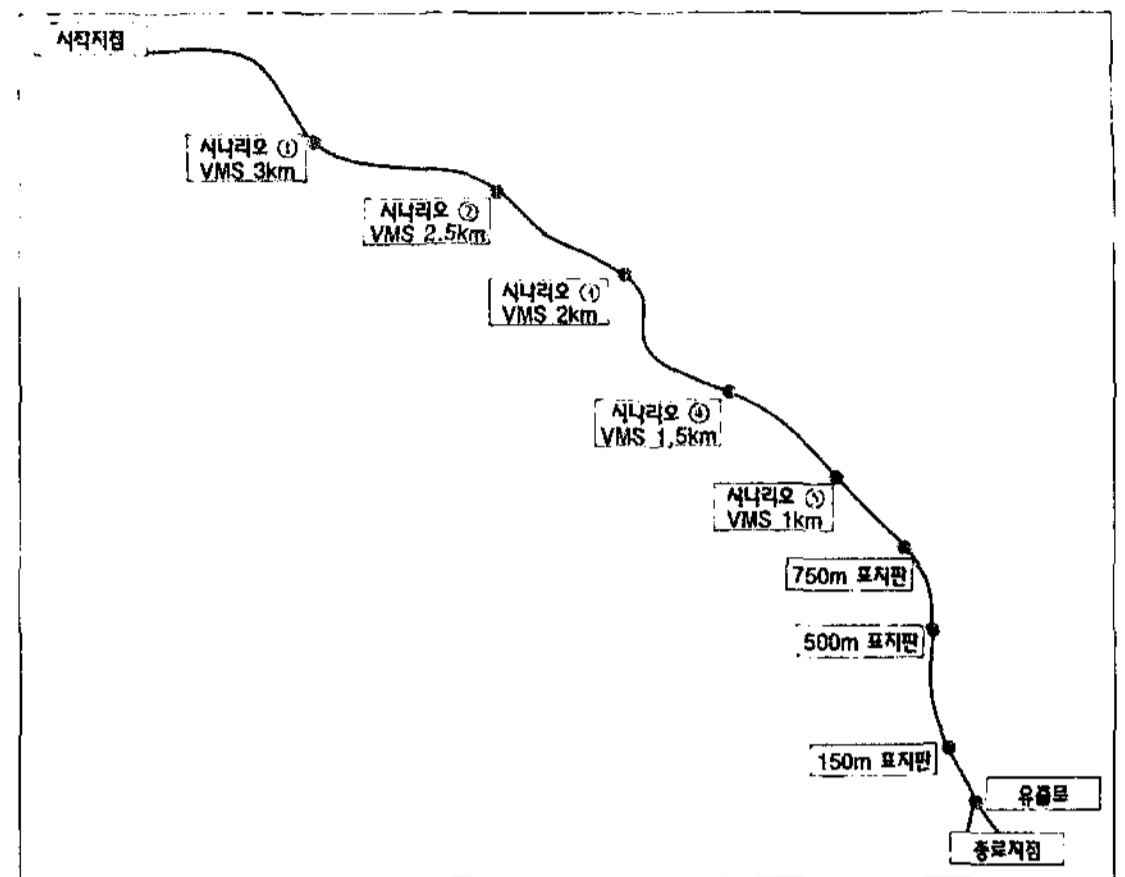


그림 5. 실험 시나리오 지점도

1. 자료의 분석

1) 우회성공율 분석

차량시뮬레이터를 이용하여 도로전광표지의 우회정보를 판독한 후 운전자가 안전하게 차로변경을 하여 유출지점으로 진입하는지를 실험하였는데, 이때 편도 4차로 고속도로에서 1차로로 주행 중인 차량이 도로전광표지를 판독한 후 4차로로 차로변경하여 유출지점까지 안전하게 진입하는 경우에 우회가능하다고 판정하였다. 평가결과 <표 4>와 같이 도로전광표지 설치지점이 3Km인 시나리오 1의 실험결과에서 86%의 우회율을 보여 가장 높았으며, 설치지점이 1.5~2.5Km사이에서는 우회율이 67~70%로 큰 변화가 없었으나 설치지점 1 Km에서는 우회율이 20%이하로 사실상 유출지점으로 진입이 어려운 것으로 나타났다.

3. 자료의 수집 및 분석

1. 자료의 수집

1) 차량시뮬레이터 개요

본 연구에서는 고속도로 상에서 도로전광표지를 이동하면서 운전자가 반복적으로 주행하는 것이 불가능하기 때문에 가상현실 도구인 차량시뮬레이터를 이용하여 도로전광판의 위치를 변화시키면서

반복 주행토록 하는 방식으로 운전자의 인적자료를 수집하였다. 여기서 차량시뮬레이터는 운전자가 자동차를 운전하는 동안 수행하는 조향 휠 조작, 가·감속 페달 조작 등을 통해 야기되는 차량의 운동을 실시간 시뮬레이션을 수행해 예측하고 그 결과를 운동, 시각, 음향을 통해 운전자에게 피드백하여, 차량시뮬레이터에 탑승한 운전자가 실제로 자동차를 운전하고 있다는 느낌을 갖게 하는 가상 현실 장비이다. 이러한 차량시뮬레이터는 안전한 실험실 공간 내에서 위급 상황까지 포함하는 자동차의 다양한 주행 상황 및 조건을 충실하게 재현함으로써 지능형 차량 개발 및 평가, 지능형교통시스템 개발 및 사용성 평가, 교통안전 연구, 운전자 요인 연구 등의 다양한 분야에서 활발하게 응용되고 있다. 본 연구에서는 <그림 2>와 같이 시각 및 음향 컴퓨터는 주행 상황에 맞는 환경을 재현하는 컴퓨터 그래픽 이미지와 소음을 생성하고, 이를 프로젝터 및 스피커를 통하여 재현하는 방식으로 차량시뮬레이터를 개발하였다. 또한 차량시뮬레이터에 탑승한 운전자는 전방의 스크린을 통하여 <그림 3>과 같이 도로주행환경을 묘사한 화면을 보면서 주행하게 된다. 이때 운전자는 이상적인 도로구간을 대상으로 차량시뮬레이터 주행환경에 대하여 충분한 적응연습을 실시 한 후 운전자에게 주행가능 여부를 확인 후 실험을 실시한다.



그림 2. 차량시뮬레이터 및 실험상황



그림 3. 차량 시뮬레이터 실제 실험 화면

2) 피실험 대상자 선정

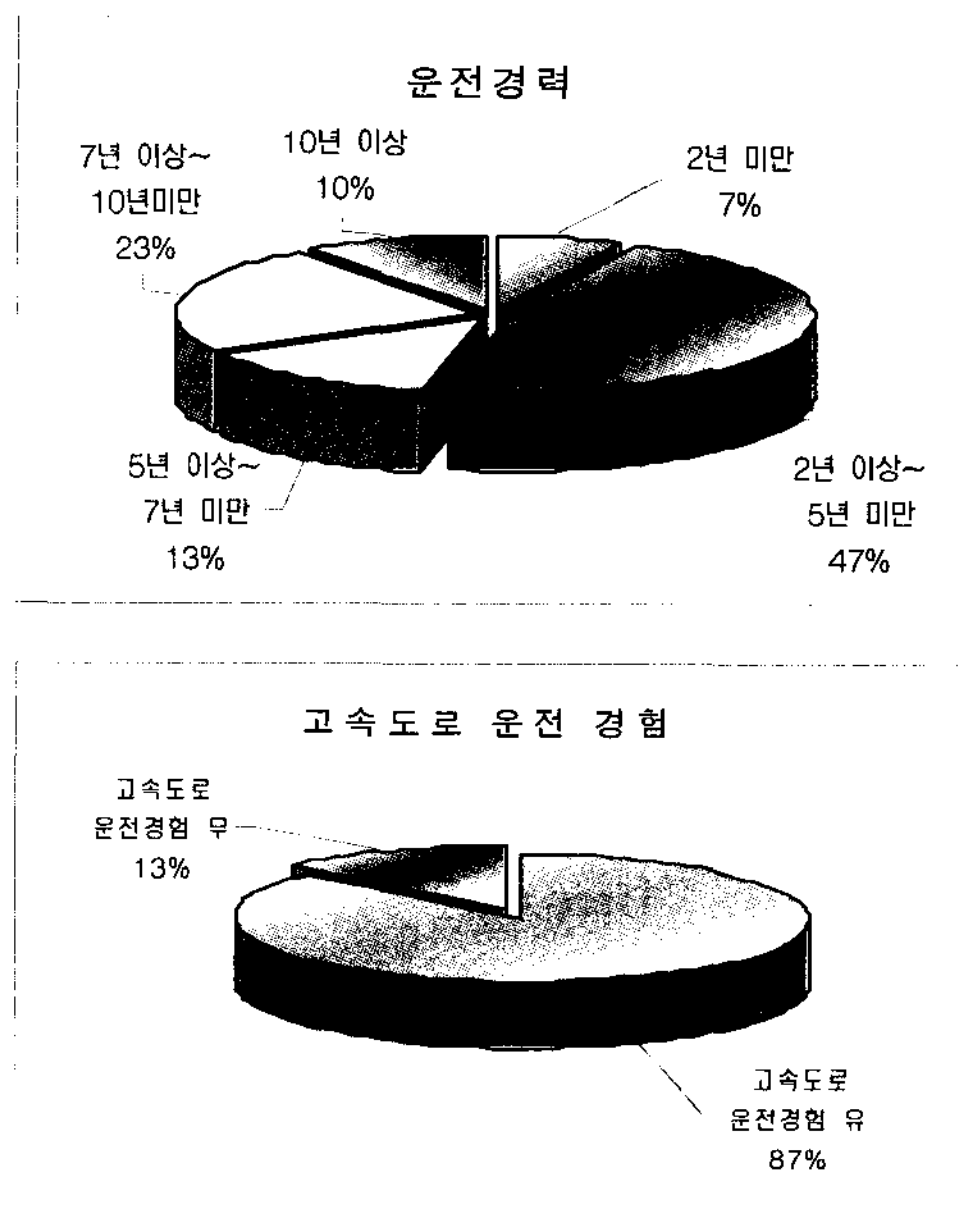


그림 4. 피실험자 주요 운전경력

차량시뮬레이터를 이용하여 가상현실의 도로환경에서 도로전광표지의 우회정보를 판독하고 고속도로의 유출지점으로 안전하게 우회할 수 있는 지를 실험하기위하여 운전이 가능한 피실험자 30명을 선정



하였다. 피실험자의 구성은 남성 20명, 여성 10명으로 연령대는 20, 30대로 20대가 18명, 30대가 12명으로 구성하였다. 실험에 앞서 피실험자에게 본 실험의 목적과 주의사항을 설명하고 차량시뮬레이터 작동에 대하여 충분히 숙지토록 하였다. 아울러 피실험자의 특성분석을 위해 운전경력, 연령, 사고유무 현황, 면허취득일, 고속도로주행 경험 등 운전자의 인적요인을 조사하였다. 피실험자는 색맹, 색약 등 시각기능에 이상이 없는 신체 건강한 정상인을 대상으로 실시하였으며, 실험 실시 전에는 피로가 누적되지 않는 상태에서 실험에 참여토록 하였다. 본 연구에 참여한 30명의 피실험자(운전자)의 운전 경력은 2년이상 5년미만이 47%로 가장 많았으며 고속도로 운전경험이 있는 운전자가 87%로 운전에 대한 숙련도가 높은 것으로 나타났다.

3) 실험용 시나리오 설정

<표 2>와 같이 고속도로 상에서 유출시설로부터 상류부(Upstream) 3km, 2.5km, 2km, 1.5km, 1km에 도로전광표지를 각각 설치하는 5개 시나리오를 구성하여 실험을 실시하였다. 도로전광표지 이후에 나타나는 안내표지판 설치위치는 건설교통부의 도로표지규칙을 바탕으로 실험상황에 적합하게 설정하였다. 또한 차량시뮬레이터실험의 도로여건은 <그림 5>와 같은 선형을 가진 8차로의 지방부 고속도로이며, 교통여건은 <표 3>과 같이 고속도로 서비스수준 D, E(LOS D, E)의 밀도와 속도를 유지토록 설정하였다. 운전자의 차량은 실험 시 1차로에서 출발하도록 하였으며 가급적 과속, 추월 등을 하지 않고 안전 운행하도록 하였다. 또한 동일한 피실험자 30명을 대상으로 유출지점으로부터 도로전광표지가 3km, 2.5km, 2km, 1.5km, 1km에 설치되어있는 5가지의 실험시나리오를 무작위로 선정하여, 운전자가 도로전광표지에서 표출된 우회정보를 판독하고 차로변경을 통해 유출시설로 운전할 수 있는지를 실험하였다. 위 피실험자 30명을 대상으로 5개 시나리오를 실험하여 합계 150개의 분석용 자료를 수집하였다.

표 2. 실험 시나리오

시나리오	시나리오 개념도
시나리오① (도로전광표지 설치지점-3km)	
시나리오② (도로전광표지 설치지점-2.5km)	
시나리오③ (도로전광표지 설치지점-2km)	
시나리오④ (도로전광표지 설치지점-1.5km)	
시나리오⑤ (도로전광표지 설치지점-1km)	

표 3. 시나리오 도로·교통 조건

구분		조건 내용
도로 조건	도로등급	지방부 고속도로
	차로수, 총연장	왕복 8차로, 4Km
교통운영조건	도로서비스수준	서비스 수준 D, E
	차량 속도	58 km/h ~ 92 km/h
	도로전광표지 메시지	00→00구간 화재로 차로차단, 00으로 우회바람 등

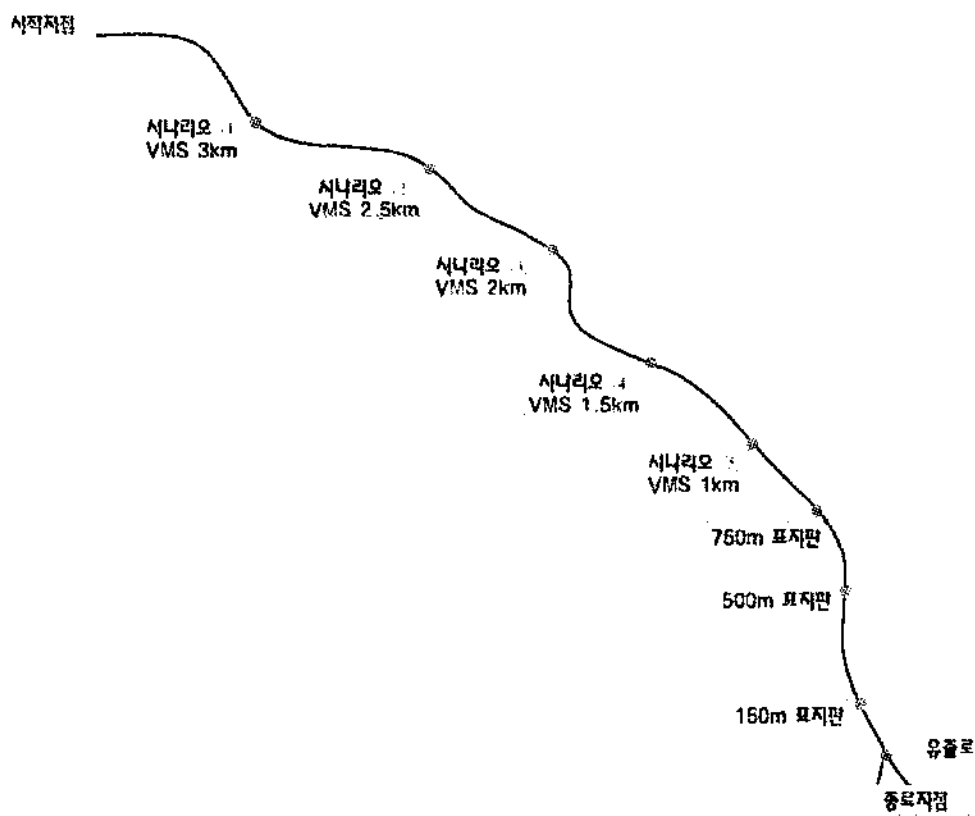


그림 5. 실험 시나리오 지점도

1. 자료의 분석

1) 우회성공을 분석

차량시뮬레이터를 이용하여 도로전광표지의 우회정보를 판독한 후 운전자가 안전하게 차로변경을 하여 유출지점으로 진입하는지를 실험하였는데, 이때 편도 4차로 고속도로에서 1차로로 주행 중인 차량이 도로전광표지를 판독한 후 4차로로 차로 변경하여 유출지점까지 안전하게 진입하는 경우에 우회가능하다고 판정하였다. 평가결과 <표 4>와 같이 도로전광표지 설치지점이 3Km인 시나리오 1의 실험결과에서 86%의 우회율을 보여 가장 높았으며, 설치지점이 1.5~2.5Km사이에서는 우회율이 67~70%로 큰 변화가 없었으나 설치지점 1 Km에서는 우회율이 20%이하로 사실상 유출지점으로 진입이 어려운 것으로 나타났다.

표 4. 차량시뮬레이터 실험결과

실험자	시나리오 ①-3km	시나리오 ②-2.5km	시나리오 ③-2km	시나리오 ④-1.5km	시나리오 ⑤-1km
1	Success	Failure	Failure	Success	Failure
2	Success	Success	Success	Success	Success
3	Success	Success	Success	Success	Failure
4	Success	Failure	Success	Success	Failure
5	Success	Success	Failure	Success	Failure
6	Success	Success	Success	Success	Success
7	Success	Failure	Failure	Failure	Success

8	Failure	Failure	Success	Failure	Failure
9	Success	Success	Success	Success	Success
10	Success	Success	Success	Failure	Failure
11	Success	Success	Success	Success	Success
12	Failure	Failure	Success	Failure	Failure
13	Success	Success	Success	Success	Failure
14	Success	Success	Failure	Failure	Failure
15	Success	Success	Success	Success	Failure
16	Success	Success	Success	Success	Success
17	Success	Failure	Success	Success	Failure
18	Success	Success	Success	Success	Failure
19	Success	Success	Success	Success	Failure
20	Success	Failure	Success	Success	Failure
21	Success	Success	Failure	Success	Failure
22	Success	Success	Failure	Failure	Failure
23	Failure	Success	Failure	Success	Failure
24	Success	Failure	Failure	Failure	Failure
25	Success	Success	Success	Failure	Failure
26	Success	Failure	Failure	Success	Failure
27	Failure	Success	Failure	Failure	Failure
28	Success	Success	Success	Success	Failure
29	Success	Success	Success	Success	Failure
30	Success	Success	Success	Success	Failure
성공회수	26	21	20	21	6
실패회수	4	9	10	9	24
우회율	86%	70%	67%	70%	20%

차량시뮬레이터 실험결과를 토대로 성공(Success)과 실패(Failure)집단으로 구분하여 설치지점과 우회 성공·실패 자료를 기준으로 두 집단 간의 차이를 t 검정을 이용하여 분석하였다. 분석결과, 신뢰수준 95%내에서 t값이 -22.67로 두 집단 간에는 분명한 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 자료를 활용하여 운전자가 우회정보를 취득하고 우회 성공·실패를 판단할 수 있는 판별식(DMV식)의 개발이 가능하다.

표 5. 집단간 차이검증

구분	t값	유의수준 신뢰수준 (95%)	유의수준
성공,실패그룹	-22.67	p < 0.05	0.000

2) 변수간 상관관계분석

운전자의 인적요인은 운전자행태에 직접적인



영향을 미치기 때문에 차량시뮬레이터 실험을 하기 전에 피실험자를 대상으로 인적요인을 조사하였으며, DMV식의 개발에 있어서도 인적요인을 독립변수로 반영하였다. 본 연구에서는 측정된 운전자행태와 인적요인의 관계를 파악하기 위하여 변수간 상관분석을 수행하였다. 분석결과, 유의확률 $p < 0.05$ 인 값을 나타내는 차량속도, 설치지점, 운전경력, 고속도로 운전경험을 독립변수로 선정하였다.

표 6. 상관관계 분석결과

구분	성공 여부 ¹⁾	설치 지점 ²⁾	운전 경력	고속도로 운전경험 ³⁾	차량 속도
성공 여부	1	0.000	0.000	0.000	0.032
설치 지점	0.000	1	0.888	0.617	0.000
운전 경력	0.000	0.888	1	0.005	0.966
고속도로 운전 경험	0.000	0.617	0.005	1	0.757
차량 속도	0.032	0.000	0.966	0.757	1

주1) 성공여부 (우회 성공 시 : 1, 우회 실패 시 : 0)

주2) 도로전광표지 설치지점 (1km, 1.5km, 2km, 2.5km, 3km)

주3) 고속도로운전경험 (유 : 1, 무 : 0)

4. 모형의 개발 및 검증

1. DMV식의 개발

지방부 고속도로 상에서 유출지점으로부터 도로전광표지의 적정 이격거리를 판단할 수 있는 DMV식을 개발하기 위해, 차량시뮬레이터 실험을 통하여 수집한 150개 자료 중 모형개발을 위해서 112개 자료를 사용하고, 모형의 예측력을 검증하기 위해 30개 자료를 사용하였다. 또한 모형의 종속변수로

는 우회가능 여부, 독립변수*로는 도로전광표지 설치지점, 차량속도, 운전경력, 고속도로 운전경험으로 설정하여 SPSS Version 15.0을 이용, 판별분석을 수행하였다. 산출된 DMV식은 도로전광표지판 설치지점이 멀수록, 운전자경력이 많을수록, 고속도로운전경험이 많을수록, 차량속도가 낮을수록 우회가능성이 높아지는 것으로 나타났다.

$$D = -3.431 + 1.221X_1 + 0.150X_2 + 1.807X_3 - 0.016X_4 \quad (1)$$

여기서, D : 우회성공 여부 (성공 : 1, 실패 : 0)

X_1 : 설치지점, X_2 : 운전경력

X_3 : 고속도로운전경험 X_4 : 차량속도

또한 DMV식에서 우회가능성에 큰 영향을 미치는 변수의 특성을 비교할 때에는 상수항의 효과를 제외한 표준화된 정준판별 모형계수값을 이용하는 것이 바람직하다. <표 7>과 같이 우회가능여부에 큰 영향을 미치는 변수는 도로전광표지 설치지점, 고속도로 경험, 운전경력, 차량속도 순으로 나타났다.

표 7. 정준판별모형계수

구분	정준판별함수계수	표준화된 정준판별함수계수
설치지점	1.221	0.769
운전경력	0.150	0.488
고속도로경험	1.807	0.596
차량속도	-0.016	-0.106
상수	-3.431	-

* 본 연구에서는 오철 외(2008) 등 선행연구결과에서 이미 검증된 운전자성별, 고속도로운전경험, 설치지점(Spacing)외에도 교통운영변수(차량속도)를 독립변수로 채택하였다. 그러나 향후에는 추가적인 도로 및 교통운영변수, 운전자 인적변수를 수집하여 요인분석(Factor Analysis)을 수행하여 독립변수를 선별하여 더욱 일반화된 모형식(Generalized Model)을 개발할 필요가 있다.



2. 모형의 검증

1) 모형의 설명력 검증

개발한 판별함수식의 설명력을 검증하기 위해 정준상관계수와 Wilk's Lambda값에 대한 통계적 유의성을 검토하였다. 먼저 정준상관계수(Canonical Correlation) 판별점수와 집단들 간의 관련정도를 나타내는 것으로 이 값이 1에 가까울수록 판별함수의 판별능력이 높다는 것을 의미한다. 일반적으로 0.6이상이면 판별능력이 높은 것으로 판단하는데, 식(1)의 경우 정준상관계수가 0.614로 판별능력이 높은 것으로 나타났다.

Wilk's Lambda값은 집단내 분산을 집단내 분산과 집단간 분산의 합으로 나눈 값으로서 0에서 1 사이의 값을 가지며 이 값이 0에 가까울수록 판별식의 집단간 판별력이 높다고 할 수 있다. 식(1)의 경우 Wilk's Lambda값은 0.623으로 신뢰수준 95%(유의수준 0.05) 이내에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났는데, 이는 두 집단 간 판별점수의 차이가 있다는 것을 의미한다.

표 8. 판별모형의 통계적 검증결과

정준상 관계수	고유값	분산 %	누적 %	정준상관계수
	0.694	100.0	100.0	0.614
Wilk's Lambda값	Wilk's Lambda값	카이제곱	자유도	유의확률
	0.623	51.031	4	0.000

2) 모형의 예측(판별)력 검증

모형의 예측력을 검증하기 위하여 측정자료 중 30개의 자료를 검증용으로 사용하여 개발한 DMV 식에 입력하여 예측값이 실측값과 일치하는 지를 확인하였다. 이때 우회가능여부를 판단하는 기준은 <표 9>와 같이 집단의 판별점수가 판별함수의 중심값 0보다 크면 유출지점으로 안전하게 진입하는 집단에 속하고, 0보다 작으면 유출지점으로 진입하는데 어려운 집단에 속하는 것으로 나타났다.

표 9. 판별함수의 중심값

유형	함수값
성공 (집단 1)	0.770
실패 (집단 0)	-0.770

주 : 중심값 = $(0.770) + (-0.770) / 2 = 0$

모형의 예측력 검증결과, 총 30개의 자료 중 26개의 자료가 정확하게 고속도로 유출지점으로 우회가능성을 판별하여 86%의 높은 정확도를 나타냈다.

표 10. 모형 실측검증 결과

No	판단기준		예측값	실제값	정 : ○ 부 : x
	기준값	판별값			
1		-0.469	기준↓	실패	○
2		-0.087	기준↓	실패	○
3		0.533	기준↑	성공	○
4		1.066	기준↑	성공	○
5		1.610	기준↑	성공	○
6		2.312	기준↑	성공	○
7		-0.104	기준↓	실패	○
8		0.595	기준↑	성공	○
9		1.790	기준↑	실패	x
10		0.474	기준↑	실패	x
11		-1.442	기준↑	성공	x
12		0.488	기준↑	성공	○
13		1.111	기준↑	성공	○
14		-2.479	기준↓	실패	○
15		-1.886	기준↓	실패	○
16		-1.346	기준↓	실패	○
17		-2.612	기준↓	실패	○
18		-1.868	기준↓	실패	○
19		-0.816	기준↓	실패	○
20		-0.174	기준↓	실패	○
21		-0.023	기준↓	성공	x
22		0.631	기준↑	성공	○
23		1.118	기준↑	성공	○
24		1.810	기준↑	성공	○
25		-1.345	기준↓	실패	○
26		-0.624	기준↓	실패	○
27		0.681	기준↑	성공	○
28		0.444	기준↑	성공	○
29		1.167	기준↑	성공	○
30		1.757	기준↑	성공	○
			정확도	86%	



3. 민감도 분석

지방부 고속도로 상에 도로전광표지를 설치할 경우 유출지점으로부터 고속도로 본선상의 설치지점까지 필요한 적정 이격거리를 산출하고자 본 연구에서 개발한 식(1)의 DMV식을 이용하여 설치지점의 우회가능성에 대한 민감도분석을 수행하였다. 이를 위해 150개의 수집자료 중 입력자료(운전경력, 고속도로 운전경험, 차량속도)로 50%값(5년, 1, 78km/h)과 85%값(2년, 1, 84km/h)을 고정 값으로 하고, 도로전광표지의 설치지점을 100m씩 증가시켜 가면서 우회정보를 제공할 경우 우회가능성의 변화를 확인하였다. 분석결과 50%값에서는 2.7Km, 85%값에서는 3.2Km이상의 이격거리가 필요한 것으로 나타났다. 이는 본 연구의 피실험자가 20, 30대의 운전자로 대표성에 한계가 있음을 감안하더라도 지방부 고속도로에서 유출지점부터 3Km 전방에 도로전광표지를 설치하여야한다는 건설교통부 『도로안전시설 설치 및 관리 지침(도로전광표지)』의 기준을 3Km이상으로 조정할 필요성을 시사한다.

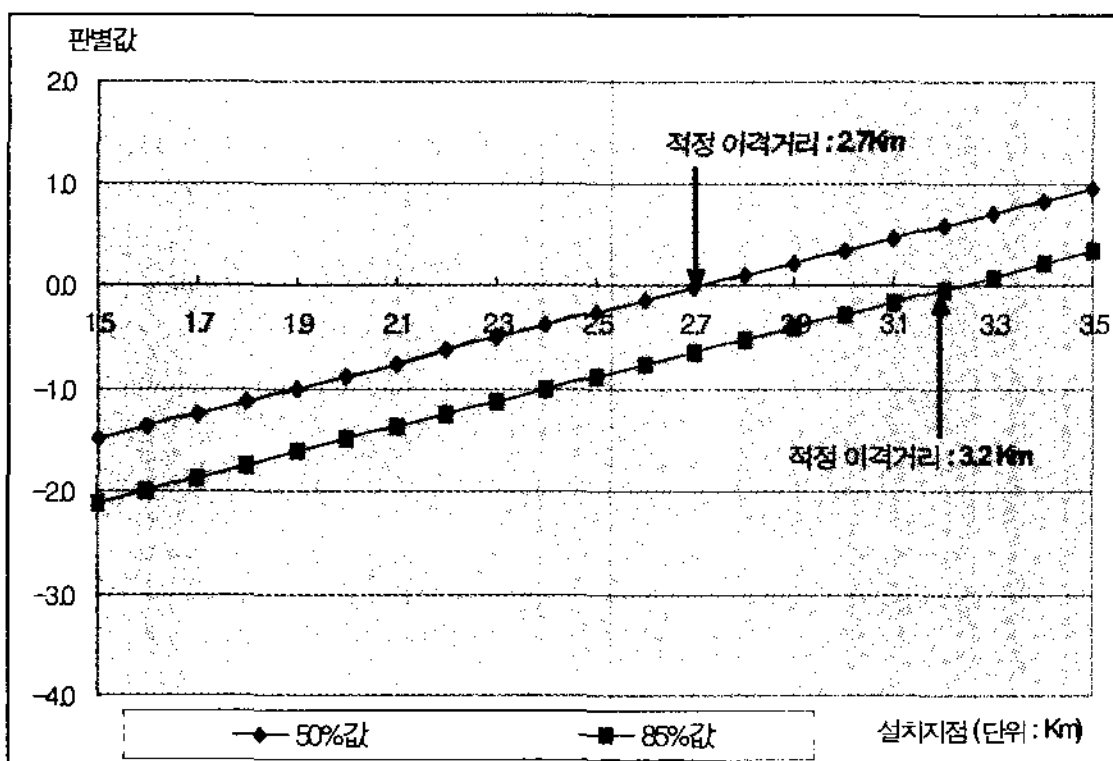


그림 6. 민감도분석결과

4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 도로전광표지의 적정 이격거리를 산정할 수 있도록 차량시뮬레이터 실험 자료를 변수로 DMV식을 개발하고 모형의 설명력과 예측력

을 검증하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 첫째, 현장에서 직접 수행할 수 없는 실험을 차량시뮬레이터 실험을 통하여 도로전광표지 설치지점을 변경시키면서 운전자의 인적, 행태적 자료를 수집하여 이를 근거로 도로전광표지 설치지점에 따라 우회가능성을 판단할 수 있는 판별식을 개발하였다. 둘째, DMV식에서 운전자의 우회가능성은 도로전광표지의 설치지점이 멀수록, 운전자경력이 많을수록 고속도로 운전경험이 많을수록, 차량속도가 낮을수록 높아지는 것으로 나타났다. 또한 우회성공가능성에 큰 영향을 미치는 변수는 도로전광표지 설치지점, 고속도로 운전경험, 운전경력, 차량속도 순으로 나타났다. 셋째, 개발된 DMV식의 예측력을 검증한 결과, 개별 운전자가 도로전광표지의 교통정보를 판독하고 이에 대응하여 우회가능성을 정확하게 예측하였다. 넷째, DMV식을 이용하여 설치지점에 대한 우회가능성의 민감도를 분석한 결과, 지방부 고속도로에서는 운전자의 85%이상이 도로전광표지로부터 교통정보를 판독하고 유출시설로 우회하기 위해서는 유출시설로부터 최소한 3.2Km의 이격거리가 필요한 것으로 분석되었다. 이는 본 연구의 피실험자가 20, 30대의 운전자로 대표성에 한계가 있음을 감안하더라도 지방부 고속도로에서 유출지점부터 3Km 전방에 도로전광표지를 설치하여야한다는 건설교통부 『도로안전시설 설치 및 관리 지침(도로전광표지)』의 기준을 3Km이상으로 조정할 필요성을 시사한다.

본 연구의 한계로는 차량시뮬레이터의 가상공간을 현실과 유사하게 구현하였으나, 현실과의 다른 실험오차가 발생하여 고속도로 현장과 동일한 자료를 수집하는 데는 한계가 있을 것으로 판단된다. 또한 피실험자를 20~30대 운전자로만 제한하여 차량시뮬레이터실험을 수행하여 고속도로를 주행하는 모든 운전자들의 특성을 대표한다고 말할 수 없다. 따라서 본 연구에서 지방부 고속도로 상에서 도로전광표지 설치할 때에 유출시설로부터의 적정이격거리를 3.2 Km로 분석한 결과는 60대 이상의 고령 운전자를 고려할 경우 추가적으로 증가될 수도 있을 것으로 판단된다. 또한 판별식도 선형회귀식 외에도 수집 자료의 비선형성을



고려할 수 있는 다양한 형태의 함수식 개발이 필요하다.

향후 연구과제로는 도로특성에 따라 도로 및 교통운영조건변수, 운전자 인적변수를 종합적으로 고려하여 DMV식을 개발·검증하여 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」 등에 반영하도록 해야 하겠다.

참고문헌

건설교통부 (2000), "도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙", 건설교통부.

금기정·손영태·배덕모·손승녀(2005), "도로상 VMS 표 출방식별 운전자 유의성 검증에 관한 연구", 한국도로학회논문집 제7권 4호, 한국도로학회.

오철·김태형·이재준·이수범·이청원 (2008), "Driving Simulator를 이용한 유출지점 경로안내용 VMS 적정 설치 위치 결정에 관한 연구", 대한교통학회논문집 제26권 제1호(통권100호), 대한교통학회.

이용택 (2001), "ITS 교통안전평가모형개발방향", 대한토목 학회지 제49권 제6호 통권 254호, 대한토목학회.

정준화 (2001), "도로전광표시 시인성 조사 연구", 도로교통 안전협회 교통과학연구원 교통안전연구논집 (제20권).

최기주 (2004), "VMS 우회정보 제공에 따른 우회율 분석 : 국도 3호선을 중심으로", 대한토목학회논문집 제24권 6호-D, 대한토목학회.

이태형 (2005), "고속도로상의 도로전광표지판(CMS)의 구조 및 효율적 개선방안, 월간교통 제 89호.

한양대학교(2001), "고속도로 안전표지, 도로표지 설치운영 개선방안 연구".

Harder, K A; Bloomfield, J; Chihak, B J (2003), "The Effectiveness and Safety of Traffic and Non-traffic Related Messages Presented on Changeable Message Sign (CMS)", Minnesota Department of Transportation,

TRB (1981), "Effectiveness of CMS Displays in

Advance of High-Speed Freeway Lane Closure", NCHRP Report No. 235.

FHWA (1991) "Guidelines on Use of CMS" FHWA Rpt No. FHWA-TS-90-043.

Dudek. CL (1997), TRB NCHRP Synthesis No. 61, FHWA (1986), "Manual on Real-Time Motorist Information Displays", FHWA Rpt No. FHA-1P-86-016.

FHWA (1986), "Assessment of CMS Technologies", FHWA Rpt No. FHWA-RD-87-025.

FHWA (1996), "Changeable Message Sign Visibility", FHWA Rpt No. FHWA-RD-94-077.

FHWA (1988), "A Driver Preference Survey", Ont. Ministry Transport Rpt No. FHWA-15F 88-03.

FHWA (1992) "Guidelines on the Use & Operation of CMS", TTI FHWA-TX-92-1232-9.

접 수 일: 2008. 2. 25
 심 사 일: 2008. 2. 26
 심사완료일: 2008. 5. 13