

교통상황 및 인적요소를 고려한 도로전광표지 판독소요시간 추정

An Estimation for VMS Message Reading Time Considering Traffic Condition and Human Factor

현 문 국* 김 승 지** 김 병 종*** 김 원 규****
(Moon-Kook Hyun) (Seung-Ji Kim) (Byoung-Jong Kim) (Won-Kyu Kim)

요 약

ITS 기술의 발달에 따라 평균적으로 고속도로 8km마다 도로전광표지가 설치되어 운영중이다. 하지만 도로의 교통상황을 적절히 반영하지 못한 채, 기 설정된 정보를 일방적으로 표출하고 있는 실정이다. 이로 인해 한정된 시간 동안 운전자는 표출되는 정보를 모두 인지하지 못하거나, 자신이 원하는 정보가 표출되기 전에 도로전광표지를 지나감으로써 도로전광표지의 기능을 떨어뜨리고 신뢰성 저하를 가져오고 있다. 본 연구에서는 교통류속도 등의 교통상황 및 인적요소를 고려한 도로전광표지 판독소요시간 및 거리 추정을 위한 실험을 수행하였다. 실제 주행환경을 모사할 수 있는 Winroad 패키지를 이용하여 실험환경을 구현하였으며 113명의 피실험자군을 대상으로 실험을 수행하였다. 실험결과에 대하여 회귀분석을 수행하였으며, 도로전광표지 메시지 판독소요시간 추정 모형을 도출하였다. 본 연구에서 도출된 도로전광표지 판독소요시간 추정 모형을 이용하여 교통류 속도와 표출 메시지 정보량 등 교통상황과 인적요소를 반영한 메시지셋을 개발하는데 활용 될 수 있도록 한다.

Abstract

According to the development of Intelligent Transportation System technology, VMS(Variable Message Signs) are operating on highway. But, VMS display information which don't reflect traffic condition and driver's human factor. So driver can't read VMS message during limited time, it makes to reduce VMS's reliability. This paper presents a model for VMS message reading time and distance considering traffic condition and human factor. We built driving simulator by Winroad package which is able to copy real driving condition. Subjects were comprised of 20 people who reflect domestic driver's condition such as sex. We did regression analysis with experiment results and draw the model. The model could be possible to develop message- set considering traffic condition and human factor.

Key words : VMS, Variable Message Sign, ITS, driving simulator, regression analysis

† 본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업 “지능형 다기능 도로전광표지 개발” 과제(10PTSI-B056303-01) 지원으로 수행하였습니다.

* 주저자 및 교신저자 : 한국항공대학교 항공교통물류학과 석사과정

** 공저자 : 한국항공대학교 항공교통물류학과 석사과정

*** 공저자 : 한국항공대학교 항공교통물류학과 교수

**** 공저자 : 한국항공대학교 항공교통물류학과 교수

† 논문접수일 : 2011년 8월 2일

† 논문심사일 : 2011년 12월 7일

† 게재확정일 : 2011년 12월 9일

I. 서 론

1. 배경 및 목적

도로전광표지(VMS : Variable Message Sign)은 지능형 교통체계(Intelligent Transportation System : ITS)를 구성하는 시스템의 한 부분으로 도로 이용자에게 실시간으로 교통정보를 제공한다. 2009년 기준 VMS는 전체 고속도로 3,425.6km에 663대, ITS가 구축된 일반국도 1,911.9km에 432대가 구축될 정도로 널리 활용되고 있다. VMS는 경로 변경이 가능한 도로상의 주요지점에 설치되어 운전자의 경로변경에 대한 의사결정을 지원하는 매체로 그 역할이 매우 중요하며 제공되는 메시지의 인지정도 및 적절성이 중요하다.

현재 운영중인 VMS는 교통상황을 적절히 반영하지 못하고, 운전자의 메시지 판독거리나 주행 속도에 따른 메시지 판독가용시간과 관계없이 현시 및 주기가 설정되어 운영되고 있는 실정이다. 이로 인해 한정된 시간 동안 운전자는 표출되는 정보를 모두 인지하지 못하거나 원하는 교통정보를 습득하지 못하는 경우가 빈번히 발생한다. 이는 VMS의 본래 기능을 떨어뜨리고 신뢰성이 저하되고 있다. 이는 인간공학적 실험 및 연구 등이 부족하여 판독가용시간을 고려하지 못하고 VMS 메시지를 제공하는데 그 원인이 있다고 할 수 있다. 따라서 교통 환경 조건 및 인적요소를 반영하여 VMS 메시지 표출기준을 확립할 필요가 있다.

본 연구의 목적은 도로주행환경에서 VMS를 통하여 운전자에게 메시지가 제공되었을 때, 운전자는 그 메시지를 얼마나 정확히, 그리고 얼마나 빨리 판독하는가를 밝히는 데 있다.

2. 연구의 범위 및 방법

VMS 메시지를 판독하는데 영향을 미치는 요소

에는 문자 색상, 문자 높이, 문자 밝기 등 다수 존재한다. 하지만 본 연구에서는 메시지 판독정확도와 판독소요시간에 영향을 미치는 요소로 메시지 줄수, 정보단위수 및 주행속도만 고려하여 해당 요소들이 메시지를 판독하는데 미치는 영향을 살펴보고 있다.

가상 주행 시뮬레이터를 이용하여 인간공학적 인 요소와 실험변수 사이의 관계를 측정할 실험은 반복 수행되어 왔다. 가상 주행 시뮬레이터를 이용하여 실험을 수행할 경우, 독립변수를 조정하기 간편하고 실내에서 실험을 수행할 수 있어 안전하다는 장점이 있다. 하지만 기 수행된 실험들의 경우 실제주행환경을 충분히 모사하지 못하거나 충분한 수의 피실험자군에 대해 실험을 수행하지 못하는 등의 한계가 있었다. 따라서 가상 시뮬레이터를 등을 활용한 VMS 메시지 판독소요시간 측정을 위한 실험 수행시 다음 요소를 고려할 필요가 있다.

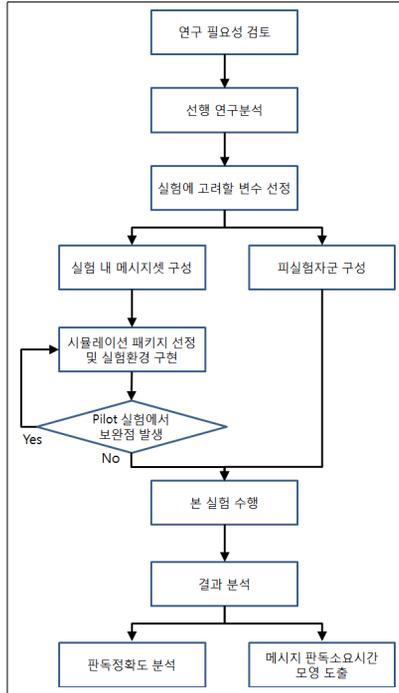
첫째, 시뮬레이터는 실제 주행환경과 유사하게 구성되어야 하며 실험 변수로 고려된 변수 외에는 각 시나리오마다 모두 동일한 조건을 유지하여야 한다.

둘째, 운전자가 VMS 메시지를 확인한 시점부터 내용을 판독하는데 걸린 시점을 조사하여 메시지 판독소요시간을 측정할 수 있어야 한다.

셋째, 운전자가 실제로 메시지를 판독하지 않았음에도 판독했다고 하는 경우를 방지하기 위하여 메시지 판독정확도를 측정하여야 한다.

위의 시사점을 반영할 수 있는 가상 차량 주행 시뮬레이터인 UC-Winroad 패키지를 이용하여 실험환경을 구현하고 실험을 수행하였다. 실험 결과를 분석하여 VMS 메시지 판독정확도를 살펴보고, 판독소요시간 모형을 도출하였다.

본 연구의 전체 연구흐름도는 아래 <그림 1>과 같다.



〈그림 1〉 연구흐름도
(Fig. 1) Research Flow Chart

3. 문헌고찰

Michalis Stavrou Kilaras(1996)는 VMS의 메시지 길이에 따른 운전자 반응시간을 측정하였다. 실험을 표출화면 유형에 따라 3가지로 분류하고, 그중 실제 운전행위를 대신할 수 있는 업무를 부과한 시나리오도 포함하였다. 업무행위를 부과하였을 때 메시지에 대한 반응시간이 증가하고, 메시지 글자수가 임계치를 넘을 경우 메시지와 반응시간 사이에 선형 상관관계가 존재하는 것으로 나타났다[1].

Wang 외 (2002)는 운전자의 인적요소와 메시지 속성에 따른 운전자의 판독소요시간 및 판독정확도에 영향을 주는 요인을 분석하기 위하여 실제 주행 영상에 VMS를 합성하는 방법을 이용하였다. 실험을 2단계로 분류하여 1단계에서는 글자 크기와 색상, 2단계에서는 메시지 전환방법과 날씨 및 주행 차선 등 주행환경을 고려하였다. 표출되는 메시지에는 운전자의 판독정확도를 측정하기 위하여 의미

없는 메시지를 포함하였다[2].

Lai 등 (2004)은 운전자의 인지반응시간 및 판독 정확도에 영향을 미치는 메시지 속성을 분석하였다. 피실험자는 차량 내에서 핸들 등을 조작하면서 프로젝터에서 표출되는 주행화면 영상을 시연하는 실험환경을 구현하였다. 하지만 실제로 핸들과 페달이 화면과 연계되어 조작할 수는 없고, 분산분석을 통해 메시지속성에 미치는 영향만을 분석하였다는 한계가 있다[3].

한국건설기술연구원(1999)은 VMS 설계기준수립을 위하여 실험용 VMS를 제작하여 표출 문자와 메시지에 대한 실내외 특성 실험을 수행하였다. 고려된 변수로 문자체, 문자 두께, 글자 및 줄간 간격 등이 있으며, 속도별 적정 문자 높이를 도출하였다[4].

김태형 외(2007)는 차량 시뮬레이터를 이용하여 VMS 메시지에 대한 운전자 행태를 분석하였다. 메시지 판독시간 모형을 도출하기 위하여 시뮬레이션 시나리오에서 주행속도, 도로기하구조 및 메시지 정보단위수를 고려하였다. 피실험자에게 판독시점과 판독중점에 버튼을 누르게 하거나 Eye Tracker를 이용하여 판독시간을 측정하였다. 정보단위와 판독소요시간 사이에 상관관계가 나타난 모형을 개발하였으나 주행속도는 유의한 변수로 나타나지 않았다. 또한 피실험자가 30명으로 전체 운전자를 대표하는 집단으로 보기 힘들다는 한계점이 있다[5].

오철 외(2008)는 운전자에게 유출연결로 전방에서 경로전환정보를 제공하는 VMS 설치위치 결정 방법론을 제시하였다. Driving Simulator를 이용하여 VMS와 유출연결로간의 이격거리에 따른 유출연결로 진입의 성공여부를 조사하였다. 이항 로지스틱 회귀분석과 요인분석을 사용하여 이격거리와 운전자의 특성에 따른 유출연결로 진입 성공확률 모형을 도출하였다. 그러나 제한된 교통조건 및 피실험자를 대상으로 실험을 수행하였다는 한계가 있다[6].

김태진 외(2010)는 실시간 경고정보를 제공하기 위하여 최적의 경고정보 메시지를 선정하였다. 상황정보 메시지와 행동정보 메시지로 구분하고 표출 방식은 텍스트와 픽토그램을 조합하여 경고정보 메

시지를 설계하여 현장실험을 수행하였다. 메시지의 평가 항목으로 인지도, 선호도, 판독시간을 측정하여 다기준 의사결정기법 및 AHP기법을 이용하여 가치함수를 정립하고 가중치를 산출하였다. 이를 통해 메시지별 가치를 산출하여 경고정보 메시지의 우선순위를 선정하였다. 하지만 피실험자수를 충분히 모집하지 못하고 PVMS를 이용해서 실험하였기 때문에 실제 환경을 완벽히 반영하지 못한 한계점이 있다[7].

문헌고찰을 통해 정리한 판독정확도 및 판독소요시간에 영향을 줄 수 있는 요소들은 <표 1>과 같다.

<표 1> 판독정확도 및 판독소요시간 영향요소
(Table 1) Influence factor of accuracy and reading time

선행연구	판독 정확도	판독소요시간
Michalis Stavrou Kilaras(1996)	N/A	글자수
한국건설기술연구원 (1999)	N/A	글자두께, 글자 높이
Wang 외 (2002)		글자크기, 글자색상, 메시지 전환방법, 날씨, 주행차선
Lai 등 (2004)		글자 색상, 메시지 줄수
김태형 외 (2007)	N/A	도로기하구조, 정보단위수, 주행속도

본 연구에서는 판독에 영향을 미치는 요소 중 주행속도와 정보단위수, 그리고 메시지 줄수만을 고려하여 실험을 수행하였다. 기존 시뮬레이터 실험과의 가장 큰 차이점은 주행속도에 대한 영향을 좀 더 정확하게 측정하기 위하여 변수의 값을 다양하게 설정하였으며, 판독정확도를 측정한 것이다. 또한 피실험자군을 실제 운전자 분포와 유사하게 성별, 나이를 고려하여 113명을 모집하였다.

II. 실험 및 Data 수집

1. 변수 정의

연구목적에 맞추어 사용되는 용어의 정의는 <표 2>와 같다.

<표 2> 용어 정의
(Table 2) Terminology definition

용어	정의
판독정확도	VMS에 표출된 메시지에 포함된 정보단위들을 정확히 판독하는 비율을 의미함
판독소요시간	VMS에 표출된 글자를 인식하는 순간부터 메시지에 대한 이해가 완료되는 순간까지의 시간차
판독가능거리	운전자가 VMS에 표출된 글자를 판독할 수 있는 지점부터 소실지점까지의 거리
정보단위수 ¹⁾	정보의 수량개념으로 정보량을 사용하며, 각 정보단위는 독립적인 정보 1단위를 의미함
주행속도	운전자가 VMS 메시지 판독가능거리 내에서 주행한 평균속도

판독가능거리가 포함된 운전자의 VMS 메시지를 판독하는 과정을 나타낸 개념도는 다음 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 메시지 판독과정 개념도
(Fig. 2) Message reading process diagram

2. 시뮬레이션 구성 및 특징

실험 환경은 가상주행 시뮬레이션인 UC-Winroad 패키지를 이용하여 구현하였다. UC-Winroad 패키지는 구성이 간편하면서도, 영상의 질이 타 가상 주행 시뮬레이션 패키지와 비교하여도 떨어지지 않는다는 장점이 있다.

시뮬레이션은 고성능 데스크탑에서 구동되고, 50인치 고해상도(1920×1080) 디스플레이에서 표출된다. 피실험자는 핸들과 엑셀레이터를 모사한 컨트롤러를 이용하여 시뮬레이터를 조작하게 된다.

1) “도로 가변정보 안내시설 설치 및 관리 지침 : 도로 전광표지판”, 건설교통부, 1999

시물레이션 내 주행구간은 서울시 도시고속도로 강변북로를 모사하여 왕복 6차선 직선구간 1.5km를 생성하였다. VMS는 생성된 주행구간의 상류부로부터 1km 지점에 위치하며, 운전자는 1km 주행 후 VMS를 지나친다.

예비 실험에서는 피실험자가 VMS 메시지를 최초로 판독한 시점에 버튼을 누르고 판독을 완료한 시점에 버튼을 누르도록 하였다. 하지만 연령이 많은 피실험자들이 해당 실험 방법에 적응하는데 지나치게 많은 연습 주행이 필요하여 본 주행시 Data에 영향을 주는 것으로 나타났다. 이에 본 실험에서는 운전자와 VMS와의 도로가변정보 안내시설 설치 및 관리 지침 : 도로전광표지편(건설교통부, 1999)을 참조하여 일정지점에 다다르면 VMS 메시지를 판독할 수 있도록 설정하였다. 시물레이션은 주행 상황에 적합한 소음을 생성하여 스피커를 통해 재생되며 구현된 실내 시물레이션 환경은 다음 <그림 3>과 같다.



<그림 3> 구현된 시물레이션 환경
<Fig. 3> Simulation Environment

피실험자가 실제 운전환경과 동일하게 느끼는 시점에 맞춰서 디스플레이와 의자의 높이를 조정하고 실험에 방해되는 요소를 최대한 제거하였으며 상세한 시물레이션 구성은 부록 B에 수록하였다.

3. 실험 및 변수의 측정

본 연구의 목적은 주행시물레이터를 통하여 메시지 내 정보단위수, 줄수와 주행속도가 판독정확도와 판독소요시간에 미치는 영향을 밝히는 데 있으며, 기타 영향요소는 <표 3>과 같이 고정하였다.

<표 3> 시물레이션 내 고정 요소
(Table 3) Fixed attribute in simulation

문자 속성	시물레이션 내 적용
주행차선	편도 3차로 중 2차로
주야 구분	주간
글자 높이	60cm
문자체	고딕체
문자두께	7
장평(가로:세로비)	1:1
단어간 간격	22.5cm
글자간 간격	15cm
줄 간격	22.5cm

정보량이 미치는 영향을 조사하기 위하여 3~9단 위 사이의 정보단위수와 2~4줄 사이의 메시지 줄수를 조합하여 현재 서울시에서 활용되는 VMS 메시지 위주로 총 26개의 VMS 메시지 이미지를 준비하였으며 1회 실험마다 준비된 메시지 중 임의로 피실험자에게 제공하였다. 실험에 사용된 VMS 메시지는 부록 A에 수록하였다.

주행속도의 영향을 조사하기 위하여 피실험자에게 30km~90km 사이의 임의의 속도를 권고하면서 시물레이션 화면에 나타난 속도계를 보면서 가능한 권고속도를 지킬 것을 주문하였다. 실제 운전환경과 시물레이션 환경을 유사하게 만들기 위하여 권고된 속도에 맞추어 주변 교통량을 생성하다. 도로용량편람(건설교통부, 2001)과 Underwood 모형(1)을

이용하여 시뮬레이터 내 교통량을 산출하였으며 그 값은 다음 <표 4>와 같다.

$$q = uk = uk_m \ln\left(\frac{u_f}{u}\right) \quad (1)$$

<표 4> 시뮬레이션 내 교통량
<Table 4> Traffic volume in simulation

밀도	속도						
	30	40	50	60	70	80	90
6	749	791	788	749	679	584	466

※ 단위 : 밀도(pc/kmpl), 속도(km/h), 교통량(대/시)

피실험자는 차량을 주행하는 동시에 VMS 메시지판을 판독완료한 시점에 컨트롤러의 버튼을 눌러 해당 시점을 기록하게 된다. 피실험자가 최초로 메시지를 판독가능한 시점인 VMS 전방 277m를 지나쳐 간 시점과 버튼을 누른 시점과의 시간차이를 이용하여 판독소요시간을 측정하였다. 주행속도는 시뮬레이터 내에서 역시 로그 파일로 기록되며 판독을 시작한 시점과 완료한 시점 사이의 평균속도를 산출하여 이용하였다.

한 개 시나리오의 주행을 마친 피실험자는 판독한 메시지를 설문지에 적게 된다. 판독정확도는 피실험자가 기록한 메시지 중 의미가 맞은 정보단위수를 원래 메시지의 정보단위수로 나누어 측정하였다.

시뮬레이션은 메시지와 속도의 조합에 따라 총 182개로 구성된다. 피실험자는 시뮬레이션 환경 및 실험 방법에 적응하기 위하여 182개의 시나리오 중 임의로 선정된 시나리오 2개에 대하여 수행하였다. 그 후 추가로 선정된 시나리오 10개에 대하여 수행한 결과만 분석하였다.

4. 피실험자군 구성

피실험자군은 운전면허를 소지한 1년 이상의 운전경력자를 대상으로 현재 운전자 성비 및 연령비율을 고려하여 113명을 모집하였으며 모집한 피실

험자군은 다음 <표 5>와 같다.

<표 5> 피실험자군 구성
<Table 5> Attributes of researchers

인적 요소	남성	여성
20대	14명	10명
30대	16명	13명
40대	16명	14명
50대	9명	6명
60대 이상	11명	7명
합계	54명	49명

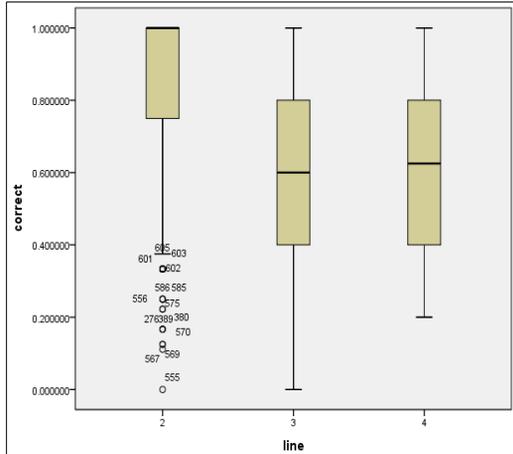
최소한 필요한 피실험자수를 100명으로 보고 각 그룹별로 필요한 피실험자수는 통계청에서 제공하는 각 연령대별 인구를 성별에 따른 운전면허소지자 비율에 맞춰 분배하여 도출하였다.

III. Data 분석

113명의 피실험자들에 대하여 실험을 수행하여 피실험자가 버튼을 지나치게 늦게 누르거나 버튼을 누르지 못해 적합한 판독소요시간이 기록되지 못한 경우를 제외하고 총 956개의 Data가 수집되었다. 수집된 Data에 대하여 통계분석패키지인 SPSS 패키지를 이용하여 회귀분석 및 분산분석 등을 수행하였다. 다만 본 연구에서는 도로전광표지 메시지 변수와 주행속도에 대해서만 Data를 분석하였다. 이는 실제 도로전광표지 메시지 표출 기준을 수립하고 운영 프로세스를 개발함에 있어 개별 운전자의 성별과 연령을 고려할 수 없기 때문이다.

1. 판독정확도 분석

메시지 줄수와 정보단위수에 따라 피실험자들이 판독한 메시지들의 정확도 간의 관계를 분석해보았다. 줄수와 정확도 사이의 관계를 상자도표를 통해 분석해 본 결과는 다음 <그림 4>와 같다.



〈그림 4〉 메시지 줄수와 판독정확도 사이의 상자도표
(Fig. 4) Boxplot for reading accuracy with message line

메시지 줄수가 2줄인 경우 3, 4줄에 비하여 정확도가 높은 것으로 나타났으며, 메시지 줄수가 3, 4 줄인 경우 두 집단 사이에 정확도 평균값에 차이가 없다고 판단되었다. 이에 메시지 줄수가 3, 4줄로 나뉘어진 그룹에 대해서만 분산분석을 수행하였으며 그 결과는 다음 <표 6>과 같다.

〈표 6〉 메시지 줄수에 따른 판독정확도 분산분석 결과 (메시지 줄수 3줄 vs 4줄)
(Table 6) Analysis of Variance result for reading accuracy with message line (3 lines vs 4 lines)

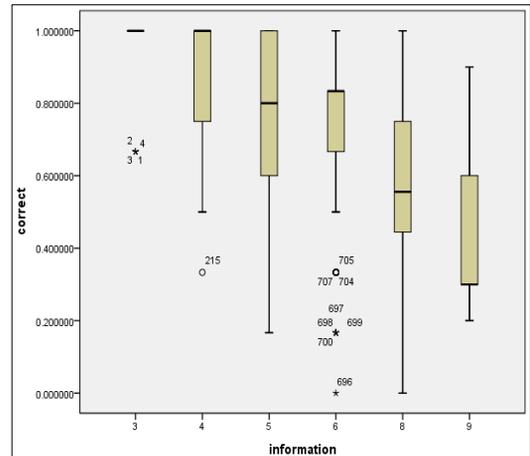
변수	제공합	자유도	평균제공	F-value	유의확률
집단-간	0.016	1	0.016	0.302	0.583
집단-내	16.534	310	0.053		
합계	16.550	311			

<표 6>의 분산분석 결과를 볼 때, 메시지 줄수가 3줄과 4줄인 그룹의 정확도 평균은 서로 다르다고 할 수 없다. 이에 메시지 줄수가 3줄과 4줄인 Data를 한 그룹으로 보고 메시지 줄수가 2인 그룹과 분산분석을 다시 수행하였으며 그 결과는 다음 <표 7>과 같다.

〈표 7〉 메시지 줄수에 따른 판독정확도 분산분석 결과 (메시지 줄수 2줄 vs 3, 4줄)
(Table 7) Analysis of Variance result for reading accuracy with message line (2 lines vs 3, 4 lines)

변수	제공합	자유도	평균제공	F-value	유의확률
집단-간	12.563	1	12.563	267.019	0.000
집단-내	44.886	954	0.047		
합계	57.450	955			

위 <표 7>을 볼 때, 메시지 줄수가 2인 그룹과 메시지 줄수가 3, 4줄인 그룹 사이에 평균이 다르게 나타났다. 메시지 줄수 외에도 정보단위수에 따라 분류된 그룹에 대하여 메시지 판독정확도를 분석해 보았으며 그 결과는 <그림 5>와 같다.



〈그림 5〉 정보단위수와 판독정확도 사이의 상자도표
(Fig. 5) Boxplot for reading accuracy with Information units

전반적으로 정보단위수가 적을수록 정확도가 높은 경향을 나타냈다. 이에 분산분석을 수행하여 정보단위수가 정확도에 미치는 영향을 살펴보았으며, 그 결과는 다음 <표 8>과 같다.

〈표 8〉 정보단위수에 대한 분산분석 결과
(Table 8) Analysis of Variance result for reading accuracy with information units

변수	제공합	자유도	평균제공	F-value	유의확률	
정보 단위수	집단-간	25.084	5	5.017	147.248	0.000
	집단-내	32.366	950	0.034		
	합계	57.450	955			

분산분석 결과, 정보단위수에 따라 구분된 집단 사이에는 정확도 사이에 차이를 나타내는 것으로 나타났다. 좀 더 정확한 분석을 위하여 정보단위수와 속도에 따른 판독정확도 평균값을 계산하였으며 그 결과는 <표 9>와 같다.

〈표 9〉 정보단위수 및 속도에 따른 판독정확도
(Table 9) Reading accuracy with information units and speed

정보 단위수 \ 속도	3	4	5	6	8	9
30	0.9730	0.7857	0.8800	0.7733	0.6111	0.5364
40	1.0000	0.8000	0.7714	0.8160	0.6415	0.4500
50	1.0000	0.9063	0.8833	0.8216	0.6713	0.3200
60	0.9938	0.9375	0.7600	0.6728	0.5203	0.4273
70	1.0000	0.9231	0.8667	0.6822	0.5503	0.4087
80	1.0000	0.9375	0.8000	0.7184	0.5190	0.2000
90	1.0000	0.8500	0.7294	0.7014	0.4635	N/A
평균	0.9932	0.8816	0.7933	0.7406	0.5755	0.4475

비고 : 정보단위수가 7인 경우는 없어 해당 정보단위수에 대한 판독정확도는 도출하지 못함

위 <표 9>를 살펴볼 때 정보단위수가 증가할수록 판독정확도가 떨어지는 경향을 나타내고 있으며 정보단위수가 8단위일 경우 0.6미만으로 떨어지는 것으로 나타났다. 이에 정보단위수와 속도에 따른 판독정확도를 추정하기 위한 반응표면함수를 도출하였다. 일반적으로 사용하는 최소자승법(Ordinary Least Square)을 이용한 결과는 다음 <표 10>과 같다.

〈표 10〉 판독정확도 측정을 위한 반응표면함수 1
(Table 10) Response-surface Function 1 for reading accuracy

정보단위수와 속도에 따른 판독정확도 반응표면함수			
판독정확도 = 1.185699-0.046075*정보단위수 -0.00219997*정보단위수^2-0.0002437*정보단위*속도			
Adj. R ² =0.443			
잔차 표준오차=0.18306			
변수	계수	t 통계량	유의확률
상수	1.185699	22.155	0.000
정보단위수	-0.046075	-2.226	0.026
정보단위수^2	-0.00219997	-1.304	0.192
정보단위수*속도	-0.0002437	-4.587	0.000

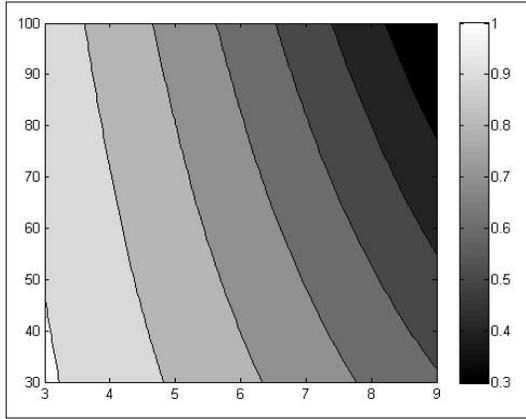
위 <표 10>에서 볼 수 있듯이 다수의 이상치로 인하여 R² 값이 낮게 나타났다. 따라서 이상치에 대한 영향을 완화시켜 회귀모형을 도출하는 로버스트 회귀분석(Robust Regression)을 이용하여 반응표면함수를 도출하였다. 해당 회귀분석방법으로 SPSS 패키지 내에서 동질성 회귀분석 모듈을 이용하였으며 그 결과는 다음 <표 11>과 같다.

〈표 11〉 판독정확도 측정을 위한 반응표면함수 2
(Table 11) Response-surface Function 2 for reading accuracy

정보단위수와 속도에 따른 판독정확도 반응표면함수			
판독정확도 = 1.21-0.04456*정보단위수 -0.0001011*정보단위수^2*속도+ 0.0003733*정보단위수*속도			
잔차 표준오차 = 0.13376			
변수	계수	t 통계량	유의확률
상수	1.116	27.885	0.000
정보단위수	-0.04456	2.775	0.000
정보단위수^2*속도	-0.0001011	-5.072	0.000
정보단위수*속도	0.0003733	-5.996	0.000

<표 11>의 반응표면함수의 잔차 표준오차는 0.13376로 나타났다. 이는 최소자승법을 이용하여 도출된 반응표면함수의 잔차 표준오차인 0.18306보다 낮은 값으로 보다 적합성이 높다고 할 수 있다. 또한 모형에서 사용된 변수 모두 t-통계량이 유의수준을 만족했다. 반응표면함수에서는 정보단위수가 판독정확도에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며 정보단위수가 증가할수록 판독정확도는 떨어지는 것으로 나타났다. 위 반응표면함수를 contour 그래프로

표현한 결과는 다음 <그림 6>과 같다.



<그림 6> 판독정확도 반응표면함수의 contour 그래프
(Fig. 6) contour graph of response-surface function for reading accuracy

위 <그림 6>의 가로축은 정보단위수, 세로축은 주행속도를 의미하며 등고선의 색이 연할수록 판독정확도가 높음을 의미한다. <그림 6>을 살펴보면 정보단위수가 적은 경우 주행속도가 판독정확도에 영향을 많이 주지 않지만 정보단위수가 많아지고 주행속도가 높아질수록 판독정확도가 떨어진다.

2. 메시지셋 판독소요시간 추정 모형 도출

메시지 줄수, 정보단위수와 주행속도가 판독소요시간에 미치는 영향을 밝히기 위한 회귀모형을 도출하는 과정에서 최소자승법을 이용하여 모형을 도출하였다. 모형을 도출하기에 앞서 각 변수들의 상관관계를 살펴본 결과는 다음 <표 12>와 같다.

<표 12> 상관계수
(Table 12) Correlation efficient

	메시지줄수	정보단위수	속도
메시지줄수	1	0.362 (0.000)	-0.065 (0.093)
정보단위수	0.362 (0.000)	1	-0.103 (0.668)
속도	-0.065 (0.093)	-0.103 (0.668)	1

※ ()는 유의수준을 나타냄

위 <표 12>에서 볼 수 있듯이 메시지 줄수와 정보단위수 사이에 상관관계는 0.362로 나타나고 유의수준 또한 0.005보다 낮아 상관관계가 존재하는 것으로 나타났다. 따라서 두 변수 모두 회귀모형에 그대로 사용하기에는 적합하지 않다. 이에 두 변수의 인자분석 후 도출된 인자를 독립변수로 고려하여 판독소요시간을 측정하는 회귀모형을 도출하였다. 하지만 이 모형은 정보단위수만 독립변수로 고려한 모형보다 R^2 값이 낮게 나타나 인자를 독립변수로 사용하는 것은 오히려 수집된 Data에 적합하지 않은 것으로 판단하였다.

따라서 주행속도와 메시지 정보단위수만 독립변수로 고려하여 판독소요시간 측정을 위한 회귀모형을 추정하였다. 회귀모형을 도출하기 위하여 반응표면 방법론을 이용하였으며 해당 방법론은 각 독립변수들의 조합효과를 추정하는 효과가 뛰어나다.

반응표면함수는 수집된 Data에 대하여 판독정확도가 50%, 70%, 90% 이상인 세 그룹으로 분류하여 3개의 함수를 도출하였다. 판독정확도에 따라 분류된 각 그룹의 개체수는 다음 <표 13>과 같다.

<표 13> 판독정확도에 따른 Data 수
(Table 13) Data size with reading accuracy

정확도	개체수
50% 이상	834
70% 이상	579
90% 이상	373

위 <표 13>에 따라 분류된 Data별로 반응표면함수를 도출한 결과는 각각 <표 14>, <표 15>, <표 16>과 같다.

도출된 세 모형의 R^2 값 모두 0.7을 넘었으며 세 함수를 구성하는 변수의 t-통계량 모두 유의수준을 만족하는 것으로 나타났다. 세 함수 모두 정보단위수의 제곱과 정보단위수와 속도의 곱으로 표현된 변수를 포함하였다.

〈표 14〉 판독소요시간 측정을 위한 반응표면함수 1
(Table 14) Response-surface Function 1 for reading time

정확도 50%이상인 자료만 사용한 회귀모형

$$\text{판독소요시간} = -1.604 + 1.173 * \text{정보단위수} + 0.05047 * \text{정보단위수}^2 - 0.0138 * \text{정보단위수} * \text{속도} + 0.000449 * \text{속도}^2$$

Adj. $R^2 = 0.739$

모형	제공합	자유도	평균제공	F-value
회귀모형	2631.840	4	655.460	591.927
잔차	917.979	829	1.107	
합계	3539.819	833		

변수	계수	t 통계량	유의확률
상수	-1.604	-4.098	0.000
정보단위수	1.173	7.713	0.000
정보단위수 ²	0.05047	4.394	0.000
정보단위수*속도	-0.0138	-14.287	0.000
속도 ²	0.000449	10.923	0.000

〈표 16〉 판독소요시간 측정을 위한 반응표면함수 3
(Table 16) Response-surface Function 3 for reading time

정확도 90%이상인 자료만 사용한 회귀모형

$$\text{판독소요시간} = -3.701 + 1.58235 * \text{정보단위수} - 0.01252 * \text{정보단위수} * \text{속도} + 0.04843 * \text{속도}$$

Adj. $R^2 = 0.709$

모형	제공합	자유도	평균제공	F-value
회귀모형	563.073	3	187.691	304.736
잔차	228.504	371	0.616	
합계	791.577	374		

변수	계수	t 통계량	유의확률
상수	-3.701	-9.157	0.000
정보단위수	1.58235	17.027	0.000
정보단위수*속도	-0.01252	-8.717	0.000
속도	0.04843	7.548	0.000

〈표 15〉 판독소요시간 측정을 위한 반응표면함수 2
(Table 15) Response-surface Function 2 for reading time

정확도 70%이상인 자료만 사용한 회귀모형

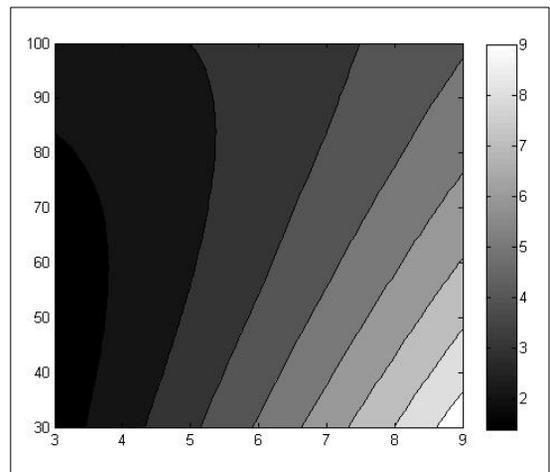
$$\text{판독소요시간} = -1.696 + 1.237 * \text{정보단위수} + 0.059 * \text{정보단위수}^2 - 0.016 * \text{정보단위수} * \text{속도} + 0.0005 * \text{속도}^2$$

Adj. $R^2 = 0.753$

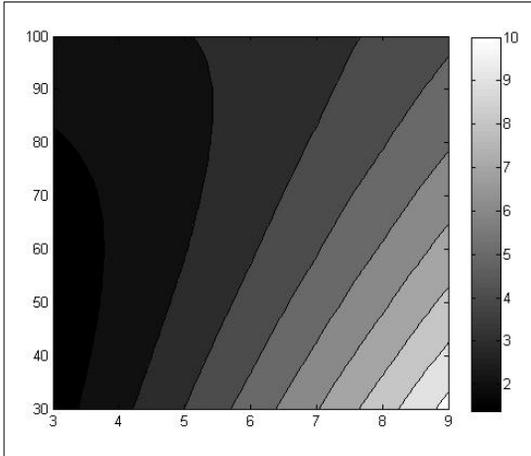
모형	제공합	자유도	평균제공	F-value
회귀모형	1787.510	4	446.877	445.671
잔차	579.564	578	1.003	
합계	2367.074	582		

변수	계수	t 통계량	유의확률
상수	-1.696	-3.855	0.000
정보단위수	1.237	6.826	0.000
정보단위수 ²	0.059	4.241	0.000
정보단위수*속도	-0.016	-13.524	0.000
속도 ²	0.0005	10.877	0.000

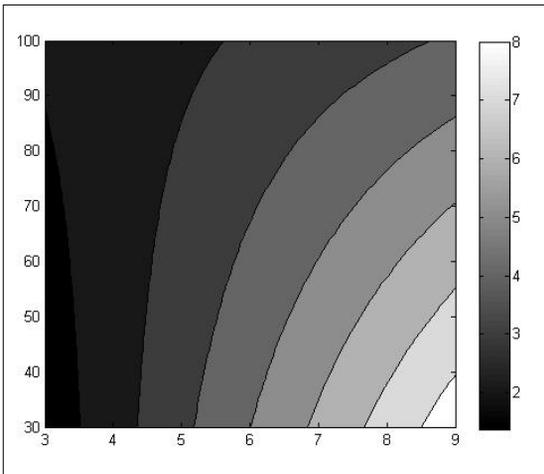
세 함수를 Matlab 패키지를 통해 반응표면을 contour 그래프로 표출해보았을 때 그 결과는 각각 <그림 7>, <그림 8>, <그림 9>와 같다.



〈그림 7〉 반응표면함수1의 contour 그래프
(Fig. 7) contour graph of response-surface Function 1 for reading time



<그림 8> 반응표면함수2의 contour 그래프
(Fig. 8) contour graph of response-surface Function 2 for reading time



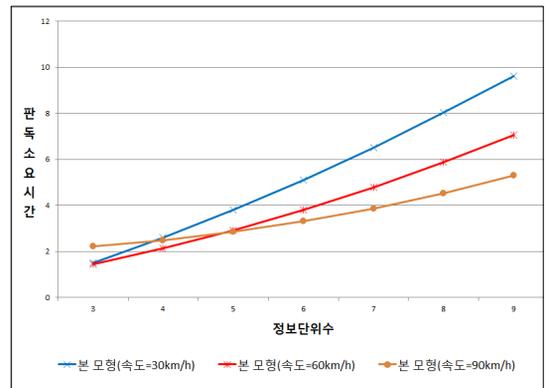
<그림 9> 반응표면함수3의 contour 그래프
(Fig. 9) contour graph of response-surface Function 3 for reading time

위 그래프의 가로축은 정보단위수, 세로축은 주행속도를 나타내며 등고선의 색이 연할수록 판독소요시간이 오래 걸리는 것을 의미한다.

도출된 위 3개의 반응표면함수 중 최종적으로 1개의 모형을 선택하는 과정에서 실험자들이 실제로 메시지를 판독하지 못하였음에도 불구하고 판독했다고 기록된 Data를 걸러낼 필요가 있었다. 해당 Data들을 이용할 경우 Data에 왜곡이 발생할 우려

가 있다. 이와 동시에 지나치게 높은 판독정확도 기준을 이용할 경우 속도가 높고 정보단위수가 높은 시나리오의 Data들이 지나치게 많이 유실되게 된다. 이 두가지 사항을 고려한 타협점으로 판독정확도를 50% 이상의 Data를 사용한 모형을 선택하였다.

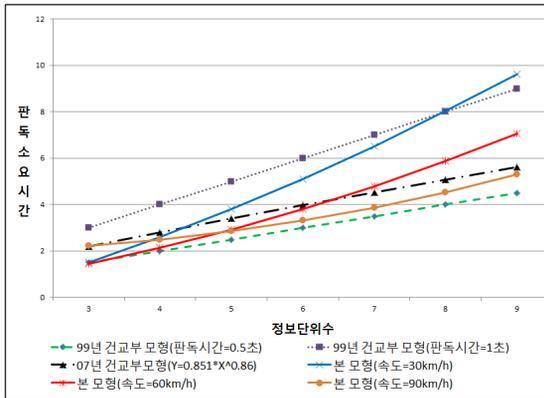
도출된 모형에서 주행속도를 30km/h, 60km/h, 90km/h로 가정하여 정보단위수에 따른 판독소요시간을 산출하였으며 그 관계를 보여주는 그래프는 다음 <그림 10>과 같다.



<그림 10> 본실험에서 도출한 메시지 판독소요시간 측정모형
(Fig. 10) An estimation Model for message reading time

<그림 10>에서 보여지듯이 어떤 주행속도에서도 정보단위수가 증가할수록 메시지 판독소요시간은 늘어나는 것으로 나타났으며, 이는 상식적으로 당연한 사실이 본 연구에서도 확인된 것이다. <그림 10>의 특이사항은 정보단위수가 5보다 클 경우에는 정보단위당 판독소요시간(총 판독소요시간 / 정보단위수)은 속도가 빠를수록 짧은 것으로 나타났다. 이는 속도가 빠를 경우 운전자는 메시지 판독가용시간이 짧음을 본능적으로 알게 되며, 가능한 빨리 메시지를 판독하려 노력하기 때문에 나타나는 현상으로 추론된다. 정보단위수가 적을 때는 이런 현상이 두드러지게 나타나지 않는데 이는 정보단위수가 적은 단순한 메시지인 경우에는 주행속도의 빠르고 느림이 큰 영향을 주지 않기 때문이라고 추론할 수 있다.

본 연구에서 도출한 모형과 기존에 수행된 모형의 가장 큰 차이점은 본 연구의 모형에서는 주행속도를 고려하고 있다는 점으로, 기존 연구에서 도출한 모형과 비교한 결과는 다음 <그림 11>과 같다.



<그림 11> 기존 모형과 본실험 내 모형과의 비교
(Fig. 11) Comparison between new model and conventional model

1999년에 건설교통부에서는 정보단위수당 판독소요시간을 0.5~1.0초로 제시하였으며, 2007년 건설교통부에서 제시한 모형은 정보단위가 증가할수록 정보단위수 당 판독소요시간이 줄어드는 경향이 있다. 본 연구에서 도출한 모형은 주행속도가 낮을 때 정보단위수가 증가할수록 판독소요시간에 대한 민감도가 높게 나타나고, 주행속도가 높을수록 정보단위수에 대해 덜 민감해지는 경향을 나타냈다.

IV. 요약 및 정책제언

본 연구는 교통상황과 인적요소를 고려한 운전자의 VMS 메시지 판독소요시간 모형을 개발하기 위하여 차량주행 시뮬레이터를 이용하여 실험환경을 구성하였다.

현재 운전자 구성비를 고려하여 피실험자를 모집하였으며 차량 주행 시뮬레이션 패키지인 UC-Winroad로 주행 환경을 구축하고 고해상도 50인치급 디스플레이와 모의 차량 컨트롤러 등으로 시뮬레이터를 구성하였다. 실제 주행시와 유사한 실험환

경을 구축하기 위하여, 실제와 동일한 거리에서 메시지를 판독할 수 있게 하고 실제 운영되는 메시지를 표출하였다. 또한 피실험자는 모의 컨트롤러를 통해 시뮬레이션 내 차량을 조작하여 실제 운전행위와 동일한 수준의 업무행위를 부과받게 된다.

본 연구에서는 메시지 정보량이 운전자의 메시지 판독정확도에 대해 미치는 영향을 분석해보았다. 메시지 줄수가 2줄일 때는 3, 4줄일 때보다 판독정확도가 높게 나타났으나 3줄과 4줄 사이에는 판독정확도에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한 정보단위수와 주행속도가 판독정확도에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 회귀분석을 수행하였다. 회귀분석 결과 정보단위수가 적을 때는 주행속도가 판독정확도에 큰 영향을 주지 않지만 정보단위수가 많아지고 주행속도가 높아질수록 판독정확도가 떨어지는 것으로 나타났다. 또한 메시지 정보단위수가 8단위를 넘을 경우 판독 정확도가 0.6 미만으로 떨어지는 것으로 나타났으며 이로 보아 실제 메시지를 제공할 때 8단위를 넘는 메시지는 제공하지 않는 것이 바람직하다고 판단된다.

주행속도와 메시지 정보량이 판독소요시간에 미치는 영향을 측정하기 위하여 회귀분석을 수행하였다. 피실험자의 무성의한 실험수행으로 인한 왜곡된 Data를 걸러내고, 지나치게 높은 판독정확도 기준으로 인해 많은 Data 유실을 방지하기 위해 판독정확도가 0.5를 넘는 Data를 사용하였다. 모형 도출 과정에서 메시지 줄수, 정보단위수, 주행속도를 독립변수로 고려하였다. 메시지 줄수는 모형에서 적합하지 않은 변수로 나타났으며, 속도가 낮을수록 정보단위에 따라 판독소요시간이 급격히 증가하고, 속도가 높을수록 정보단위에 덜 민감하게 판독소요시간이 증가하는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 가상주행 시뮬레이터만을 이용하여 도로전광표지 메시지 판독소요시간 모형을 도출하였다. 따라서 실제 운전환경과는 차이를 고려하지 못하였으며, 향후 현장실험을 통해 시뮬레이터와 현실 간의 차이를 보정하여 모형을 개선할 필요가 있다.

본 연구에서 도출된 모형은 기존 모형과는 달리

교통류 상황을 반영하고 있다. 이에 정보량뿐만 아니라 교통류 속도와 같은 교통상황에 대한 영향을 정밀하게 반영한 메시지셋 현시를 설계할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Michalis Stavrou Kilaras, "Simulation experiments on the design of highway variable message signs," Aerospace Engineering and Mechanics University of Minnesota, 1994.
- [2] Jyh-Hone Wang, Christopher Hunter and Yong Cao "A design of experiment approach to study the display of variable message signs," Department of Industrial and Manufacturing Engineering University of Rhode Island Kingston, 2002.
- [3] Chien-Jung Lai, "Effects of color scheme and message lines of variable message signs on driver performance," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 42, no. 4, pp.1003~1008, July 2010.
- [4] "도로 가변정보 안내시설 설치 및 관리 지침 제정 연구," 건설교통부, 1999.
- [5] 김태형, 김성민, 오철, 김정완, "Driving Simulator를 이용한 VMS 메시지 판독시간모형 개발," *한국 ITS 학회지*, vol. 6, no. 3, 2007.
- [6] 오철, 김태형, 이재준, 이수범, 이청원, "Driving Simulator를 이용한 유출지점 경로안내용 VMS 적정 설치 위치 결정에 관한 연구," *대한교통학회지*, vol. 26, no. 1, 2008.
- [7] 김태진, 오철 오주택, "AHP기반 다기준 가치함수를 이용한 교통안전 경고정보 메시지 선정기법," *한국ITS 학회지*, vol. 9, no. 2, 2010.

부록 A. VMS 표출메시지

구분		표출 메시지	
단	정보 단위수		
2	3	홍제 진출 어려움	
		월곡 진출 어려움	
		반포IC 진출 어려움	
	4	외곽순환 자유로IC → 송추IC 14분	
		노들길 성산 → 한강 9분	
		도로 폐인지점, 주의 안전운행 요망	
	5	강변북로 가양 → 반포 정체 34분	
		동부간선 복정 15분	
		자동차전용도로 안전띠 의무화	
		올림픽대로 한남 33분	
		교통정보제공 1577-2332	
		서울지역 호우주의보 발령 예상강우량 250mm 이상	
	6	강변북로 행주 6분	
		올림픽대로 행주 7분	
		올림픽대로 한남 29분	
		자동차전용도로 안전띠의무화 매월 넷째주 수요일(7/20) 서울시 대중교통 이용의 날	
	8	외곽순환 강일IC → 판교JC 18분	
		외곽순환 강일IC → 퇴계원IC 6분	
		외곽순환 의정부IC → 구리JC 8분	
		외곽순환 의정부IC → 통일로IC 8분 5/8(일) 07:40~11:00 마라톤대회 잠실, 방이, 수서일대 교통통제 예정	
	3	5	올림픽대로 63빌딩 → 청담 정체 37분
			동부간선 탄천IC → 수서IC 시설물보수 1차로차단
			강변북로 양화 → 마포 → 한남 13분 27분
		6	세종로 3색신호등 시범운영 적색화살표 신호시 정지
성산 → 한남 올림픽대로 28분			
강변북로 32분			

구분		표출 메시지	
단	정보 단위수		
2	8	양화 → 성산 공사로 우회도로 운영 제한속도 60km/h 절대감속 5/8(일) 07:40~11:00 마라톤대회 잠실, 방이, 수서일대 구간별 교통통제 예정	
		강변북로 동호 → 반포 정체 8분 소요	
	4	8	양화 → 성산 공사로 우회도로 운영 제한속도 60km/h 절대감속
		9	5/8(일) 07:40~11:00 마라톤대회 잠실, 방이, 수서일대 구간별 교통통제 예정

부록 B. 시뮬레이션 구성

〈표 17〉 시뮬레이션 구성
〈Table 17〉 Component of Simulation

구성	사양
Computer	-Intel i7 Ghz -GTX 460 Graphic Card -4GB Ram
Display	-50" PDP -해상도 1920×1080
Controller	-'Logitech Driving Force' Driving Controller

〈표 18〉 VMS 크기 및 높이
〈Table 18〉 VMS Size and Height

크기	9m × 3.3m × 4
높이	6m

주1 : 크기와 높이 모두 도로안전시설 설치 및 관리지침 : 도로전광표지편(건설교통부, 1999)을 참조하여 설정함

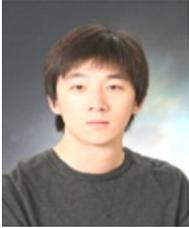
주2: 높이는 VMS의 가장 하단면이 지상에서의 높이를 의미함

저자소개



현 문 국 (Hyun, Moon-Kook)

2010년 8월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공교통물류학부 석사과정
2010년 8월 : 한국항공대학교 항공교통물류학부 교통시스템 전공



김 승 지 (Kim, Seung-Ji)

2010년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공교통물류학부 석사과정
2007년 2월 : 한국항공대학교 항공교통물류학부 교통시스템 전공



김 병 중 (Kim, Byung-Jong)

1994년 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공교통물류법학부 교수
1993년 : 국토개발연구원 교통연구실 책임연구원
1993년 : Virginia Tech 토목공학과 교통공학전공(공학박사)
1990년 : Virginia Tech 토목공학과 교통공학전공(공학석사)
1982년 : 고려대학교 산업공학과 졸업



김 원 규 (Kim, Won-Kyu)

1999년 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공교통물류법학부 교수
1997년 ~ 1999년 : 한국교통연구원 책임연구원
1996년 : Virginia Tech 토목공학과 교통공학전공(Ph.d)
1990년 : 연세대학교 대학원 건축공학과 도시계획전공(공학석사)
1988년 : 연세대학교 건축공학과 졸업