

도로곡선반경에 따른 가변전광표지의 교통안전효과 분석

An Analysis of Safety Impacts of Variable Message Signage as Functions of Road Curve Radius

이 상 혁 Lee, Sang Hyuk | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원 (E-mail : sanghyuklee8612@gmail.com)
조 혜 진 Cho, Hye-Jin | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 연구위원 · 교신저자 (E-mail : hjcho@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The purpose of this study is to estimate the impact of variable message signage (VMS) on traffic safety as a function of road curve radius using statistical methods.

METHODS : In order to analyze the impact of VMS installations on traffic safety, travel speed, lateral distance, and geometric data relating to road curvature in each study area was acquired and analyzed for the impact of providing VMS information on driver performance and traffic safety using statistical methods including student t-test, Mann-Whitney test, and the Anderson-Darling test for estimating traffic safety hazard zone in each lane.

RESULTS : As a result of analyzing driver performance characteristics before and after providing VMS information, it was determined that by providing VMS information, mean travel speed is decreased and vehicles are driven with increased precision, following the centerline in the first and second lanes. Also the results of analyzing traffic safety impacts of VMS indicate that traffic safety performance factors in the first lane of the Gapyeong section can, on average, increase in the left and right side of the lane by 19.22% and 68.98%, respectively, and in the case of the second lane, safety impacts, on average, can increase in both sides by 100%. For the Hongcheon section, traffic safety impacts in the first lane, on average, can increase along the left and right sides of the lane by 32.31% and 47.18%, and within the second lane, traffic safety can be increased along the left and right side of the lane by 10.97% and -0.01%, respectively.

CONCLUSIONS : Based on the results of this study, the impact on traffic safety obtained by providing VMS information for road sections with smaller curve radii is greater than can be obtained for road sections with larger curve radii.

Keywords

Variable message signs, traffic safety impacts, road curve radius, traffic safety hazard zone, Anderson-Darling test

Corresponding Author : Cho, Hye Jin, Research Fellow
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 283,
Goyangdae-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 10223, Korea
Tel : +82.31.910.0169 Fax : +82.31.910.0749
E-mail : hjcho@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Mar. 31, 2015 Revised Apr. 01, 2015 Accepted Sep. 25, 2015

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

지속적인 차량이용 증가로 인하여 발생하는 교통혼잡, 교통사고, 환경오염 등은 이미 심각한 사회적 문제로 인식되어지고 있다. 이러한 교통문제를 해결하기 위

한 대규모 사회간접자본(SOC: Social Overhead Capital) 건설예산은 꾸준히 감소하고 있는 실정에서 문제를 해결할 수 있는 대안으로 ITS(Intelligent Transportation Systems)가 주목받고 있다. ITS는 기존의 교통시설을 효율적으로 이용하기 위하여 교통분

야에 적용하는 첨단기술로 본래의 목적 외에도 교통안전을 증진시키기 위한 목적으로 활용되고 있다.

ITS 기술 중 가변전광표지(VMS: Variable Message Sign)는 소통상황정보, 돌발상황정보, 부가정보, 경고정보 등의 다양한 정보를 제공하여 도로 이용자의 안전을 제고하고 교통혼잡을 완화시키기 위한 기술이다(Hong et al., 2007). 이러한 이유로 고속도로, 일반국도 및 자동차전용도로에 많은 VMS가 설치되어 운영 중에 있다.

기존의 연구에서는 VMS 교통제어방법, 정보제공, 정보표출방식 등 VMS 운영에 대한 연구, VMS 정보제공으로 인한 차량경로선택의 변화에 대한 연구 그리고 VMS에서 제공하는 정보에 대한 운전자 선호도나 디자인 등의 효과를 시뮬레이션을 통해 분석하는 연구가 주를 이루고 있다. 또한, VMS를 통한 기상악화나 돌발상황정보 제공이 차량속도에 미치는 영향에 관한 연구가 국내·외에서 많이 진행되고 있다(Rama and Kulmala, 2000; Song and Lee, 2005). 하지만, 기존연구들은 운영적 측면에서 진행되어져 왔으며, VMS 정보제공이 특정도로구간에 대한 통행속도나 차량운행패턴의 변화 등 교통안전에 대한 연구는 많이 진행되고 있지 않은 것이 현실이다. 특히, 도로전방 기하구조변화에 대한 VMS 정보가 교통안전에 미치는 영향에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

이에 본 연구에서는 이동식 VMS의 교통정보제공으로 인한 도로곡선반경별 차량주행특성의 변화를 차량통행속도 및 차선 내 차량운행패턴에 대한 현장조사와 통계적 검증을 통해 분석하여 도로곡선반경별 VMS의 교통안전 효과를 비교·분석하고자 한다.

1.2. 연구의 범위 및 내용

본 연구에서는 강원도 홍천군 국도44호선과 경기도 가평군 국도46호선의 직선구간과 곡선구간이 연속으로 구성되어 있으며 곡선반경이 다른 두 구간을 대상으로 하였다. 각 직선구간에 이동식 VMS를 설치하고 전방 곡선구간에 대한 정보(경고자막)를 제공한 후 현장조사를 실시하여 VMS 교통정보제공 전·후의 차량통행속도 및 차량의 차선 내 통행패턴에 대한 데이터를 수집하였다. 수집된 데이터는 기계적 오류로 인한 이상치(Outlier)를 제거한 후, 이를 통계적 검증방법인 t-검증, Mann-Whitney Test 그리고 Anderson-Darling test를 이용하여 VMS 정보제공이 도로곡선반경별 차량운행패턴에 미치는 영향을 분석하여 도로곡선구간에 대한 VMS 교통정보제공의 교통안전 효과를 비교·분석하였다.

2. 기존연구

Erke et al.(2007)는 Norway Oslo외곽 도로를 대상으로 도로차단정보와 우회경로정보를 VMS를 통해 제공한 후 해당도로 운행차량의 우회경로이용, 차량통행속도 그리고 차량 브레이크 활용행태 등을 분석하였다. 분석결과, 약 20%의 차량이 VMS에서 추천한 우회경로를 이용한 것으로 분석되었으며, 차량통행속도는 평균 4.7km/h~6.0km/h 감소하는 것으로 분석하였다. 또한 거의 모든 차량이 VMS 설치구역을 통과할 때 제공된 정보를 수집하기 위하여 브레이크를 사용하는 것으로 분석하였다. Rama and Kulmala(2000)는 Finland의 도로에서 노면결빙상태 정보를 VMS를 통하여 제공하였을 경우 통행차량의 평균통행속도와 차두간격(headway)에 미치는 영향을 분석하였는데, 도로 노면결빙으로 인한 차량통행속도는 약 5.0km/h가 감소하지만 VMS로 인한 추가적인 통행속도감소는 약 1.2km/h로 분석하였으며 차두간격은 1.5초 감소하는 것으로 분석하였다. Jamson and Merat(2007)은 VMS를 통한 캠페인 정보제공이 교통안전에 미치는 영향에 대하여 82명의 운전자를 대상으로 운전 시뮬레이터(driving simulator)를 이용하여 분석하였다. 캠페인 정보는 “Watch Your Speed”와 “Keep Your Distance”를 제공하였는데 정보를 제공받은 운전자 집단이 그렇지 않은 집단에 비해 구간의 평균통행속도가 감소하고 차간거리는 늘어나는 결과를 도출하였다. Ulfarsson et al.(2005)는 Washington주에 설치되어 있는 가변제한속도정보를 제공하는 VMS를 대상으로 VMS 작동여부에 따른 통행차량 평균속도 및 속도편차를 산출하였다. 통행차량의 평균통행속도 산출은 VMS 이외의 다른 영향을 배제하기 위하여 3단계 최소제곱추정법(three-stage least squares)을 이용하였으며, 그 결과 VMS 정보제공이 통행속도 감소에 영향을 미치는 것으로 분석하였다. 또한, Hong et al.(2007)은 서울 도시고속화도로(올림픽대로)를 대상으로 VMS 영향권에서의 운전자 반응특성 중 가속도와 통행속도를 DGPS와 비디오카메라를 장착한 차량을 이용하여 현장조사를 실시하고 취득한 GPS 데이터와 영상을 ANOVA Test와 분포모형을 이용하여 분석하였다. 분석결과, 차량의 가속도와 통행속도는 VMS 접근거리에 따라 차이가 있는 것으로 분석되었는데 차량이 VMS에 가까워지면 속도를 감소하는 경향이 있으며 VMS를 통과하는 시점에서 속도를 회복하는 것으로 분석하였다.

Yan and Wu(2014)는 VMS의 설치위치와 정보제공

이 운전자의 경로선택(route choice)에 미치는 영향을 시뮬레이션을 이용하여 분석하였다. 시뮬레이션은 52명의 실험참가자를 대상으로 경로교차점에서 3군데의 VMS에 3종류의 다른 VMS 정보(text-only format, graphics-only format, combination of text and graphics)를 제공하여 실험하였다. 시뮬레이션 결과, 교차점 전방 150m에서 200m 사이에 설치된 VMS가 교통안전과 VMS운영에 가장 적합한 것으로 결론을 내렸다. Boyle and Mannering(2004)은 미국 Seattle의 I-90의 20km구간을 실험대상으로 선정하고 안개와 같은 기상정보(fog or no fog)와 도로작업정보(presence of snowplows or no snowplows)를 4가지 다른 정보제공방법(in-vehicle messages, out-of-vehicle messages, both types of messages, and no messages)으로 구분하여 통행차량의 속도변화를 51명의 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 각 시뮬레이션 결과를 ANOVA Test와 3단계 최소제곱추정법을 이용하여 평균통행속도를 분석하였는데, 분석결과 VMS 정보 제공으로 인한 차량주행속도가 통계적으로 감소하는 것으로 나타났으며, 특히 경고구간을 통과하고 난 뒤 속도 감소의 보상심리로 인해 차량통행속도가 증가하는 현상이 나타나는 것으로 분석되었다. 또한, Kim et al.(2014)은 VMS 정보제공이 운전자의 운전행태에 미치는 영향을 진화적 게임이론(evolutionary game theory)을 통하여 예측하였다. 예측을 위하여 서울시 고속도로(올림픽대로)의 VMS 정보제공 데이터와 교통량 자료(올림픽대로와 노들로의 소통정보)를 이용하여 VMS 정보에 따른 운전자의 경로선택행태를 모형화하였다. VMS 정보는 대상지역의 단순 소통정보, 지체정보, 정체정보, 사고 및 유고상황 발생으로 구분하였는데, 그 결과 단순소통정보를 제공하였을 때, 53.6%가 올림픽대로를 이용할 때 진화적으로 안정적인 것으로 분석하였으며, 올림픽대로에 대한 지체정보를 제공하였을 경우, 올림픽대로의 선택비율이 43.4% 수준으로 낮아지는 것으로 예측하였다. 또한 정체정보 제공 시 올림픽대로 이용률이 36.1% 수준으로 교통사고정보 제공 시 28.8% 수준으로 낮아질 때 진화적으로 안정적이라는 결론을 도출하였다.

3. 분석방법론

3.1. 현장 데이터 수집방법

VMS 교통정보제공으로 인한 도로곡선반경별 차량운행특성의 변화와 교통안전 효과를 비교·분석하기 위하여 직선구간과 곡선구간으로 구성된 도로를 대상으로

정보를 수집하였다. 도로곡선반경이 다른 두 구간을 대상으로 VMS 정보를 제공하지 않는 직선구간과 VMS 정보를 제공하는 곡선구간을 통과하는 차량의 통행속도와 측방거리(길어깨 경계에 설치되어 있는 거리측정 장비에서부터 해당구간 통과차량 옆면까지의 거리)를 측정하여 데이터를 수집하였다.

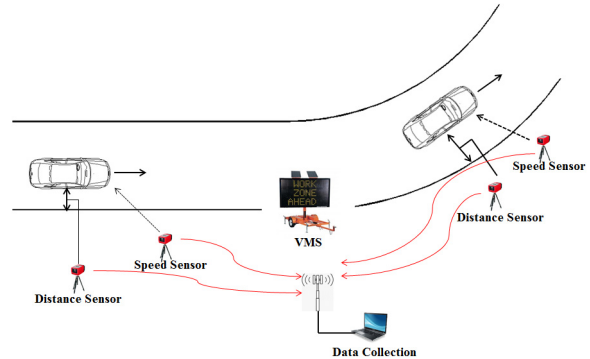



Fig. 1 The Method of Data Acquisition

연구대상구간은 국도46호선의 경기도 가평군 외서면 상천리 구간과 국도44호선의 강원도 홍천군 남면 유목정리 구간으로, 외부요인(토지이용 및 교통신호 등)으로 인한 차량운행의 영향이 없는 직선과 곡선구간이 연속으로 구성되어 있는 구간으로 선정하였다. 국도46호선 경기도 가평군 구간은 춘천에서 가평으로 진행하는 방향으로 직선부 연장이 약 300m, 곡선부의 곡선반경이

Table 1. Characteristics of Study Area

	National Highway Route 46	National Highway Route 44
Location	Sangchun-ri Cheongpyeong-myeon Gapyeong-gun Gyeonggi-do	Yumokjeong-ri Nam-myeon Hongcheon-gun Gangwon-do
AADT	28,346 veh/day	10,634 veh/day
Number of lanes	2 / each direction	2 / each direction
Length of straight section	300m	400m
Curve radius	300m	800m
Degree of steep hill	7.2%	3.5%
Study areas		
		

약 300m로 완만한 곡선으로 이루어진 편도 2차선 구간으로 구간내 진출입로는 직선부 시점에 1개 있으나 산지로 연결되는 비포장 도로로 교통량이 거의 없어 차량 운행에 영향을 끼치지 못하는 것으로 판단된다. 국도44호선 강원도 홍천국 구간은 직선부 연장이 약 400m, 곡선부의 곡선반경이 800m로 아주 완만한 곡선으로 이루어진 편도 2차선 구간으로 구간 시작점에 휴게소가 있으나 가속차로가 있으며 휴게소로의 진출입차량이 많지 않아 차량운행에 영향이 없는 것으로 나타났다.

VMS 정보는 이동형 VMS(Portable Variable Message Sign)을 이용하여 각 연구대상구간의 직선구간이 끝나기 직전 곡선구간이 시작하는 지점에 설치하여 운전자에게 정보를 제공하였다. VMS에서 제공한 정보는 '안전운행' 과 '절대감속' 을 번갈아가며 제공하였으며, 제공하는 방법은 운전자의 판독성과 이해성이 높은 점멸식과 고정식으로 번갈아가며 제공하였다(Kum et al., 2005).

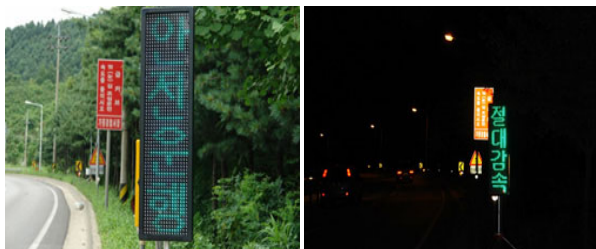


Fig. 2 Provided Warning Messages by VMS in Study Areas

데이터 수집시간은 평일 오후 4시부터 밤 11시까지 7시간에 걸쳐 진행하였으며 통행차량 속도와 측방거리를 측정 후 1차로 통행차량과 2차로 통행차량을 분류하여 분석에 활용하였다.

3.2. Traffic Safety Hazard Zone 산정

국도의 경우 직선구간에서 곡선구간으로 연결된 도로에서 발생하는 교통사고 유형 중 차량의 차선내 이동으로 인하여 차량간 측면 추돌이 발생하거나 과속차량인 경우 차량이 도로를 이탈하는 사고가 많이 발생하며 치사율이 높다. 차선내 차량의 횡적이동으로 인한 위험가능성은 차량이 1차로 주행 시 중앙선이나 중앙분리대 쪽을 붙여 운행하게 되면 중앙선을 넘거나 중앙분리대와 충돌발생위험이 증가하게 되거나, 2차로 쪽으로 붙여 운행하게 되면 2차로로 주행중인 차량과의 측면 추돌 발생 위험이 높아진다. 또한 차량이 2차로 주행 시 1차로 쪽으로 붙여서 운행하던지 길어깨 쪽으로 붙여서 운행하게

되면 1차로로 주행중인 차량과의 측면 충돌발생위험과 도로를 이탈하는 도로이탈사고의 위험이 있다.

VMS 교통정보제공이 교통안전효과에 미치는 영향을 분석하기 위하여 본 연구에서는 연구대상구간의 traffic safety hazard zone을 선정하고 확률적으로 차량이 traffic safety hazard zone을 통과하는 빈도를 VMS 정보제공 전·후를 비교하여 분석하고자 한다.

Fig. 3은 이와 같이 직선구간에서 곡선구간으로 연결된 경우 차로 내의 차량의 횡적이동으로 인해 교통사고 발생위험이 높은 구역을 traffic safety hazard zone으로 정의하였다.

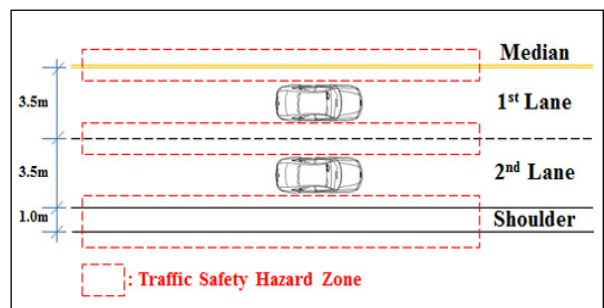


Fig. 3 The Concept of Traffic Safety Hazard Zone

Traffic safety hazard zone은 기존 연구에서는 정의된 바가 없으나, 최근 들어 연구가 많이 진행되고 있는 차선이탈경고시스템(LDWS: Lane Departure Warning System)에서 안전 천이 사고영역을 산정할 때 이용하는 안전영역의 한계점(Threshold)를 이용하여 산정할 수 있으며 기본식은 다음과 같다(Park et al., 2012).

$$Threshold = \frac{(d_r - d_v)}{2} - a + b \quad (1)$$

여기서,

d_r : 차로폭

d_v : 차량의 전폭

a : 0.3m(차선침범 후 경고가 이루어져야 하는 거리)

b : 0.05m(차량의 침범각도를 고려한 횡방향 여유 거리)

먼저, 본 연구의 연구대상구간(곡선반경 300m와 800m구간) 각 차로의 traffic safety hazard zone을 산정하였다. Traffic safety hazard zone은 Eq. (1)을 이용한 연구대상구간의 차로 내 안전영역의 한계점

(threshold)을 이용하여 산정하였다. 본 연구의 연구대상구간은 제한속도 80km/h인 국도46호선 가평구간과 국도44호선 홍천구간으로 1차로와 2차로의 차로폭 = 3.5m, 길어깨 = 1.0m, 차량의 전폭 = 1.7m(연구대상구간을 통과하는 량 중 승용차의 통행비율이 국도46호선과 국도44호선 각각 78%와 74%이므로 승용차를 기준으로 함)을 적용하였다. 그 결과, 본 연구대상 도로의 traffic safety hazard zone은 각 차로 양쪽의 0.65m로 산정되었다.

3.3. Traffic Safety Hazard Zone 통과확률 산정

가로구간의 교통사고위험정도는 차량이 다른 차선을 주행하는 차량과의 상충정도 및 중앙선이나 길어깨 쪽으로의 이탈정도를 추정하여 분석할 수 있다. 이와 같이 교통사고위험정도를 추정하기 위하여 가로구간 통과차량의 통행속도와 측방거리를 측정된 후, 차량이 차선중심을 기준으로 얼마나 많이 편향(biased)되어 통과 또는 traffic safety hazard zone을 통과하는지를 비교하여 분석할 수 있다. 이를 위해 각 통과차로별, 직선차로 및 곡선차로별로 나누어 수집된 데이터를 통계적 추론방법을 통하여 각 데이터가 어떠한 확률분포를 따르는지를 파악하고 각 확률분포에서 traffic safety hazard zone을 통과하는 차량의 확률을 확률밀도함수를 통하여 산정할 수 있다.

Traffic safety hazard zone을 통과하는 차량의 확률분포를 산정하기 위하여 수집된 데이터로부터 얻어지는 경험적 빈도분포와 가정한 확률분포가 얼마나 잘 부합되는지를 판단하는 적합도 검정방법을 이용할 수 있다(Shin et al., 2010). 적합도 검정 방법에는 Chi-Square test와 Kolmogorov-Smirnov test 등이 있으나 본 연구에서는 Anderson-Darling test(이하 A-D test)를 이용하여 각 통과차로별, 직선차로 및 곡선차로별 데이터에 적합한 확률분포를 산정하였다. A-D test는 Anderson and Darling(1952)에 의해 추계학적 과정에서의 오차를 감소시키기 위한 기준으로 처음 제시된 통계학적 적합도 검정 방법으로, 수집된 데이터가 특정분포와 얼마나 잘 부합되는지 검정하는 방법이다. A-D test의 기본식은 다음과 같다.

$$Q_n = n \int_{-\infty}^{\infty} [F_n(x) - F(x)]^2 \omega(x) dF(x) \quad (2)$$

여기서,

$F_n(x)$: 경험적 누적분포함수

$F(x)$: 분석을 위해 선택된 분포함수

$\omega(x)$: 가중치함수(Weighting Function)

A-D test의 기본식에서 $\omega(x) = [F(x)(1-F(x))]^{-1}$ 인 경우 A-D 통계량이라고 하며 일반적으로 Eq. (3)과 같이 A_n^2 으로 표시한다(Shin et al., 2010).

$$A_n^2 = n \int_{-\infty}^{\infty} \frac{[F_n(x) - F(x)]^2}{F(x)(1-F(x))} dF(x) \quad (3)$$

일반적으로 수치적인 계산의 편의를 위하여 Eq. (3)을 대신해 Eq. (4)를 사용할 수 있다.

$$A_n^2 \approx - \sum (2i-1) \left[\frac{\log(F(x_{(i)}))}{+\log(1-F(x_{(n+1-i)}))} \right]^{-n} \quad (4)$$

A-D test에서 데이터와 특정분포와의 적합도가 높을수록 A-D 통계량은 작아진다. 또한, 여러 가지 분포 중 데이터가 어느 분포와 적합한지를 결정하기 위하여 p-값을 사용하게 되는데 만일 p-값이 선택한 유의수준인 0.05보다 작을 경우 데이터는 특정분포와 적합도가 떨어지는 것으로 판단할 수 있다.

4. 교통안전효과분석 결과

4.1. 곡선구간 VMS 정보의 주행 영향분석

직선구간에서 전방의 곡선구간에 대한 경고정보('안전운행' 또는 '절대감속')를 VMS를 통해 제공하였을 경우 차량통행의 행태변화를 비교분석하기 위하여 차량통행속도와 길어깨로부터 통행차량까지의 측방거리를 측정하였다. VMS 교통정보제공 전·후(직선구간과 곡선구간)의 차량통행속도와 측방거리의 차이가 있는지도 도로곡선반경이 다른 두 구간을 대상으로 1차로와 2차로로 구분하여 비교하였다.

VMS 정보제공으로 인한 차량통행의 행태변화를 분석하기 위하여 직선구간과 곡선구간의 평균통행속도와 평균측방거리를 산출하고 이를 통계학적으로 차이가 있는지를 비교하였다. 각 도로곡선반경별, 구간별 그리고 차로별 평균통행속도와 평균측방거리를 비교하기 위하여 두 집단간의 평균을 비교하는 통계기법인 t검정과 Mann-Whitney검정을 시행하였다. t검정은 모든 데

이터의 분포가 정규분포를 따른다고 가정하였을 때 사용하는 모수적인 방법이고, Mann-Whitney검정은 모든 데이터의 분포가 정규분포를 따르지 않거나 샘플수가 30개 미만일 때 사용하는 비모수적인 검정방법이다. 각 검정에서 귀무가설(H_0)은 '직선구간의 평균값과 곡선구간의 평균값의 차이가 없다'로 가설을 수립하였으며, 유의수준(α , significance level)을 0.05라고 했을 때 p값이 α 보다 커야 귀무가설이 채택된다.

Table 2에서 보는 바와 같이, t검정에서 각 연구대상 구간인 국도46호선 가평구간과 국도44호선 홍천구간의 1차로와 2차로 모두에서 직선구간과 곡선구간의 평균통행속도와 평균측방거리의 차이가 있는 것으로 분석되었다 ($p < 0.05$).

또한, 비모수적 방법인 Mann-Whitney검정에서도 각 연구대상구간 모두에서 직선구간과 곡선구간의 평균통행속도와 평균측방거리의 차이가 있는 것으로 분석되어 VMS 교통정보제공이 통행속도와 주행패턴과 같은 차량통행 행태에 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

연구대상구간의 1차로와 2차로 모두에서 곡선구간의 평균통행속도가 직선구간의 평균통행속도와 비교해 감소하는 것으로 나타났다. 직선구간을 통행하는 차량이 곡선구간을 진입할 때 감속하는 것이 일반적이나 도로 곡선반경이 300m와 800m인 연구대상구간에서는 차량통행속도 감소가 곡선구간 진입뿐만 아니라 VMS의 정보제공의 영향을 받은 것으로 판단할 수 있다.

평균측방거리의 경우, 연구대상구간의 1차로와 2차로 모두에서 직선구간으로 통행할 때와 비교하여 곡선구간에서 각 차로의 중앙부를 기준으로 차량통행이 이루어

지는 것으로 분석되었다. 이는 VMS 교통정보제공이 운전자의 주의를 환기시키고 또한 운전자가 VMS에서 제공하는 정보를 취득하기 위하여 차량속도를 감소시키면서 차로중심으로 주의운전을 했던 것으로 판단된다.

이와 같은 결과는 기존의 연구에서 VMS 정보제공이 차량통행속도를 감소시킨다는 결과와 동일한 결과를 얻었을 뿐만 아니라 통행패턴에도 영향을 미친다는 결과를 도출할 수 있다(Erke et al., 2007; Rama and Kulmala, 2000; Jamson and Merat, 2007; Ulfarsson et al., 2005).

4.2. VMS 정보의 차량 통행패턴 영향 분석

VMS 교통정보제공의 교통안전효과를 정량적으로 분석하기 위하여 각 연구대상구간 1차로와 2차로의 직선구간과 곡선구간의 차량통행패턴에 대한 확률분포를 산정하여야 한다. 차량통행에 대한 확률분포에서 traffic safety hazard zone을 통과하는 차량의 확률을 직선구간과 곡선구간(VMS 정보제공 전·후)을 비교하여 VMS 정보제공이 차량통행패턴에 미치는 영향을 분석하고, 각 도로곡선반경별 곡선구간에 대한 교통안전효과를 산출하여 도로곡선반경에 따른 VMS 정보제공이 교통안전효과에 미치는 영향을 분석할 수 있다.

본 연구에서는 각 차로별 차량통행패턴이 어떠한 확률분포를 따르는지 파악하기 위하여 적합도 검정방법 중 A-D test를 이용하여 각 차로별 데이터에 적합한 확률분포를 산정하였다. A-D test에서 주로 사용되고 있는 분포는 정규분포(normal distribution), 와이불 분포(Weibull distribution), 로그정규분포(log-

Table 2. Results of Traffic Characteristics Analysis in Each Study Area

Classification		National Highway Route 46 Gapyeong section (Curve radius=300m)				National Highway Route 44 Hongcheon section (Curve radius=800m)			
		1st lane		2nd lane		1st lane		2nd lane	
		Speed (km/h)	Lateral distance (m)	Speed (km/h)	Lateral distance (m)	Speed (km/h)	Lateral distance (m)	Speed (km/h)	Lateral distance (m)
Mean	Straight section	66.221	6.258	73.272	3.150	48.645	6.193	79.899	3.462
	Curved section	60.180	6.432	64.977	3.441	36.962	6.313	73.561	3.344
p-value	t-test	0.040	0.016	0.000	0.000	0.003	0.008	0.032	0.038
	Mann-Whitney test	0.043	0.007	0.000	0.000	0.008	0.015	0.019	0.026

* H_0 : Mean speeds and lateral distances between straight sections and curved sections are not different.
Significance level $\alpha = 5\%$

Table 3. Results of Anderson–Darling Test in Each Study Area

Classification		National Highway Route 46 Gapyeong section (Curve radius=300m)				National Highway Route 44 Hongcheon section (Curve radius=800m)			
		1st lane		2nd lane		1st lane		2nd lane	
		Straight section	Curved section	Straight section	Curved section	Straight section	Curved section	Straight section	Curved section
A-D statistics	Normal	1.080	1.054	0.326	0.876	0.834	0.564	1.183	1.115
	Weibull	2.379	0.728	1.366	0.451	0.594	0.379	4.395	0.711
	Log-normal	0.710	1.396	0.090	1.020	1.018	0.687	0.712	1.510
	Logistic	0.855	1.093	0.248	0.823	0.833	0.533	0.770	1.131
p-value		0.062	0.056	0.998	0.250	0.122	0.250	0.062	0.064

※ Bold Characteristics mean A-D statistics of accepted distributions for the driving patterns in the lanes.

normal distribution) 그리고 로지스틱분포(logistic distribution) 등이 있으며 A-D 통계량(A-D statistics)과 p-값을 기준으로 각 차선별 데이터에 적합한 확률분포를 산정할 수 있다.

A-D test 결과, Table 3에서 보는 것과 같이 국도46 호선 가평구간 1차로와 2차로의 직선구간은 A-D 통계량 각각 0.710과 0.090으로 로그정규분포를 따르는 것으로 나타났으며, 1차로와 2차로의 곡선구간은 A-D 통계량 각각 0.728과 0.451로 와이블 분포를 따르는 것으로 분석되었다.

또한, 국도44호선 홍천구간의 경우, 1차로 직선구간과 곡선구간은 A-D 통계량 각각 0.594와 0.379로 와이블 분포를 따르는 것으로 나타났으며, 2차로의 경우 직선구간은 A-D 통계량 0.712로 로그정규분포를 따르며, 곡선구간은 A-D 통계량 0.711로 와이블 분포가 가장 적합한 것으로 나타났다.

A-D test를 통해 산정한 확률분포를 이용하여 VMS 교통정보제공의 교통안전효과를 분석하기 위해 각 확률분포에 대한 확률밀도함수(probability density function)를 산출하고 확률밀도함수에서 traffic safety hazard zone을 통과하는 차량의 확률을 산정하여 VMS 정보제공 전·후(직선구간·곡선구간)의 교통안전효과를 분석하였다. 각 연구대상 구간의 확률밀도함수를 살펴보면, 국도46호선 가평구간의 경우 교통정보를 제공하지 않은 직선구간의 1차로는 측방거리 4.69~7.87m 사이에서 차량이 구간을 통과하는 것으로 나타났으며, 교통정보를 제공한 곡선구간의 1차로의 경우 측방거리 4.91~7.35m 사이에서 차량이 분산하여 구간을 통과하는 것으로 나타났다.

또한 교통정보를 제공하지 않은 직선구간의 2차로는

측방거리 2.22~4.28m에서 차량이 구간을 통과하는 것으로 나타났으며, 교통정보를 제공한 곡선구간의 2차로의 경우 측방거리 3.17~3.65m 사이에서 차량이 통과하는 것으로 나타났다.

국도44호선 홍천구간의 경우, 1차로 직선구간의 측방거리는 4.93~7.16m, 곡선구간의 측방거리는 5.03~7.06m 사이에서 차량이 분산하여 구간을 통과하는 것으로 나타났으며, 2차로 직선구간의 측방거리는 2.83~4.35m, 곡선구간의 측방거리는 2.56~3.83m 사이에서 차량이 통과하는 것으로 나타났다.

이는 VMS 교통정보를 제공한 곡선구간과 제공하지 않은 직선구간의 확률분포를 비교하였을 때, 교통정보를 제공한 구간을 통과하는 차량분포의 분산이 교통정보를 제공하지 않은 구간을 통과하는 차량분포의 분산보다 작아 VMS 교통정보제공이 차량통행패턴에 영향을 준 것으로 해석할 수 있다.

4.3. VMS의 곡선구간 교통안전효과 비교분석

도로곡선반경별 VMS 교통정보제공이 교통안전효과에 미치는 영향을 분석하기 위하여 앞서 산출한 확률분포의 확률밀도함수를 이용하여 traffic safety hazard zone을 통과하는 차량의 확률을 산출하여 비교하였다. 분석결과, 국도46호선 가평구간의 경우 1차로 직선구간(VMS 정보제공이 없는 경우) 좌우로 3.59%와 10.25%의 차량이 traffic safety hazard zone을 통과하는 것으로 나타났으며, 곡선구간(VMS 정보제공이 있는 경우)은 좌우로 2.90%와 3.18%의 차량이 traffic safety hazard zone을 통과하는 것으로 나타나 교통안전효과가 차로좌우 각각 19.22%와 68.98% 증가하는 것으로 분석되었다.

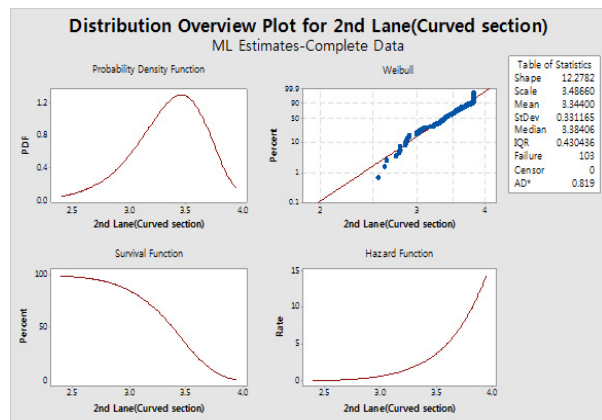
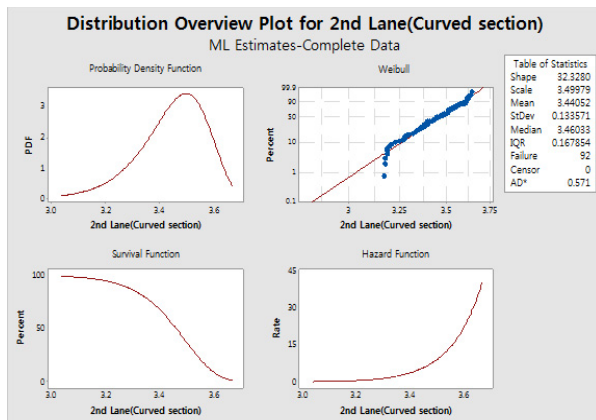
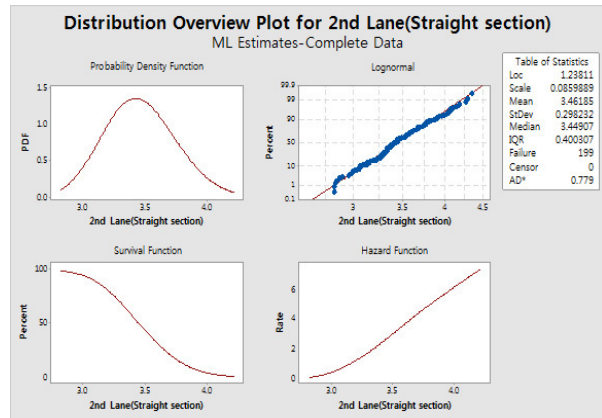
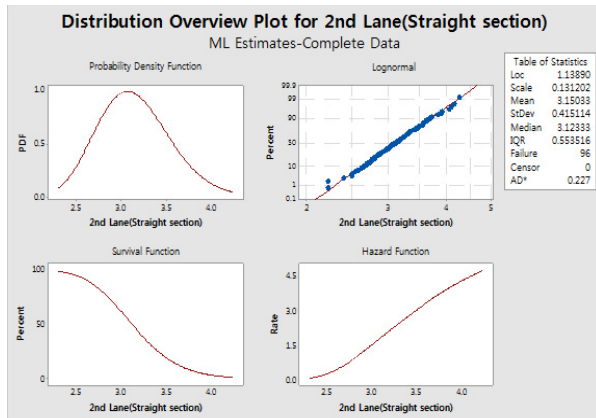
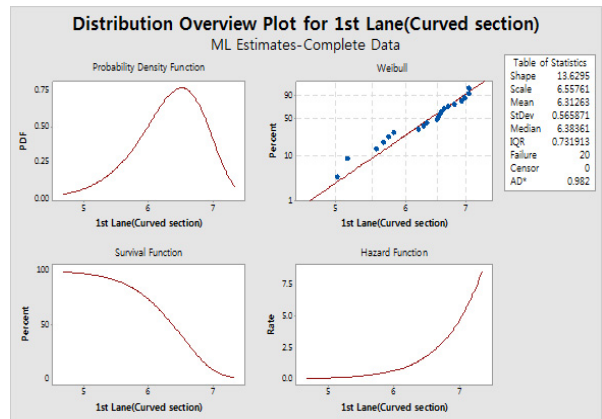
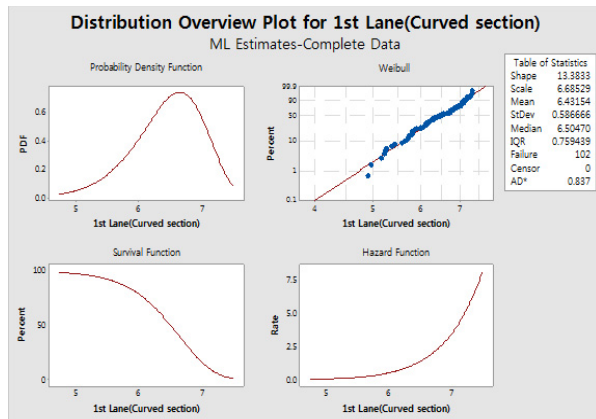
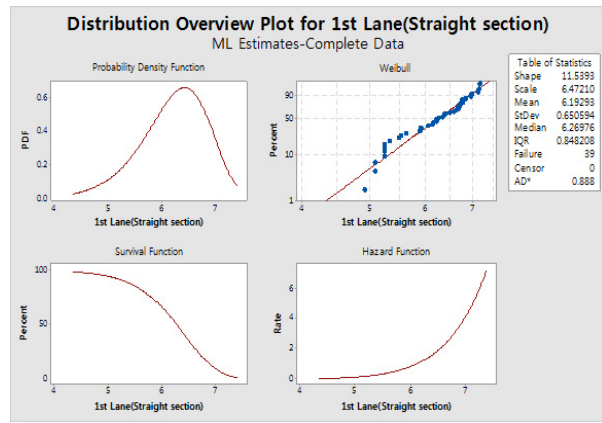
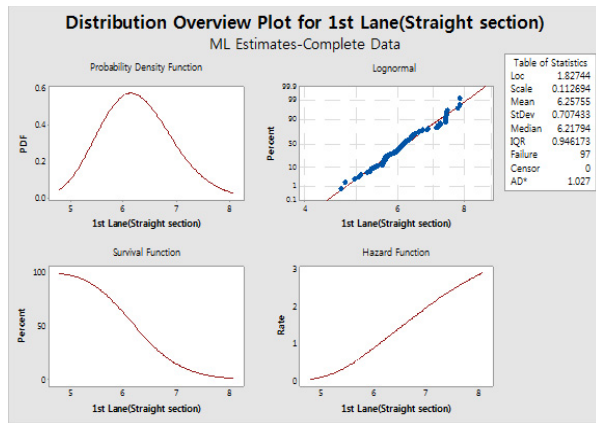


Fig. 4 Probability and Probability Density Function of Anderson–Darling Test for National Highway Route 46 Gapyeong Section

Fig. 5 Probability and Probability Density Function of Anderson–Darling Test for National Highway Route 44 Hongcheon Section

Table 4. Analysis Results of Traffic Safety Impacts of VMS Information

Classification		National Highway Route 46 Gapyeong section (Curve radius=300m)		National Highway Route 44 Hongcheon section (Curve radius=800m)	
		Area from probability density function		Area from probability density function	
		Left side of hazard Zone	Right side of hazard zone	Left side of hazard zone	Right side of hazard Zone
1st lane	Straight section	3.59%	10.25%	1.30%	6.91%
	Curved section	2.90%	3.18%	0.88%	3.65%
Improvement of safety impacts		+ 19.22%	+ 68.98%	+ 32.31%	+ 47.18%
2nd lane	Straight section	2.71%	0.02%	3.83%	0.00%
	Curved section	0.00%	0.00%	3.41%	0.01%
Improvement of safety impacts		+ 100.00%	+ 100.00%	+ 10.97%	- 0.01%

국도46호선 가평구간 2차로의 경우, 직선구간 좌우로 각각 2.71%와 0.02%의 차량이 traffic safety hazard zone을 통과하는 것으로 분석되었으며, 곡선구간의 경우 차로좌우 모두 0.00%의 차량이 traffic safety hazard zone을 통과하는 것으로 나타나 교통안전효과가 차로좌우 모두 100% 증가하는 것으로 분석되었다.

국도44호선 홍천구간의 경우 1차로 직선구간 좌우로 1.30%와 6.91% 차량이, 곡선구간 좌우로 0.88%와 3.65%의 차량이 traffic safety hazard zone을 통과하는 것으로 나타나 교통안전효과가 차로좌우 각각 32.31%와 47.18% 증가하는 것으로 나타났으며, 2차로의 경우 직선구간 좌우로 3.83%와 0%의 차량이, 곡선구간 좌우로 3.41%와 0.01%의 차량이 traffic safety hazard zone을 통과하는 것으로 나타나 교통안전효과가 차로좌우 각각 10.97%와 -0.01% 증가하는 것으로 분석되었다.

분석결과를 살펴보면, 차량이 직선구간을 지나 곡선구간을 주행함에도 불구하고 차량이 곡선구간 차선 내 traffic safety hazard zone을 통과할 확률이 더 낮아져 VMS 정보제공이 교통안전효과에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 국도44호선 홍천구간의 2차로를 통과하는 차량의 경우 직선구간의 오른쪽 traffic safety hazard zone을 통과할 확률은 0%지만 곡선구간은 0.01%로 분석되었고 이는 통계학적으로 다르지 않다고 할 수 없으므로 교통안전효과는 같다고 해석할 수 있다.

또한, 각 도로곡선반경별(연구대상구간별) VMS 교통정보제공의 교통안전효과를 비교해보면, 국도46호선 가평구간(도로곡선반경=300m)의 교통안전효과가 차로별, 좌우별로 19.22~100%로 국도44호선 홍천구간(도로곡선반경=800m)의 교통안전효과인 32.31~47.18%

보다 높은 것으로 나타났다. 이는 도로곡선반경이 작을수록 VMS 교통정보제공의 교통안전효과가 더 큰 것으로 판단할 수 있다.

5. 결론

본 연구는 도로곡선반경별 VMS 교통정보제공이 교통안전효과에 미치는 영향을 분석하기 위하여 도로곡선반경이 다른 국도46호선 가평구간(도로곡선반경=300m)과 국도44호선 홍천구간(도로곡선반경=800m)에 대한 현장조사를 실시하여 해당구간을 통행하는 차량의 통행속도와 측방거리에 대한 데이터를 수집하고 수집된 데이터에 대한 통계학적 검정인 t검정, Mann-Whitney검정 그리고 Anderson-Darling test를 시행·분석하였다.

VMS 교통정보제공 전·후의 차량주행특성을 분석해보면, 연구대상구간 1차로와 2차로 모두에서 VMS 정보를 제공한 곡선구간의 평균통행속도가 직선구간과 비교하여 감소하는 것으로 나타났으며, 차로 내 차량통행 패턴은 차로의 중앙부를 기준으로 통행하는 것으로 나타났다. 이는 VMS 정보제공이 운전자의 주의를 환기시켜 안전운전을 유도한 결과로 판단된다.

VMS 교통정보제공이 교통안전효과에 미치는 영향을 분석하기 위하여 연구대상구간의 각 차로별 traffic safety hazard zone을 선정하고 각 zone을 통과하는 차량에 대한 확률분포를 A-D test를 통해 산정하여 정보제공이 없는 직선구간과 정보제공이 있는 곡선구간에 대한 차량의 traffic safety hazard zone 통과확률을 산출하여 두 구간을 비교·분석하였다. 그 결과, 국도46호선 가평구간의 경우 교통안전효과가 VMS 정보제공이 있는 곡선구간에서 직선구간과 비교하여 1차로는 좌우로 각각 19.22%와 68.98%, 2차로는 좌우 모두

100% 증가하는 것으로 분석되었다. 또한 국도44호선 홍천구간의 경우 교통안전효과는 곡선구간에서 직선구간과 비교하여 1차로는 좌우로 각각 32.31%와 47.18%, 2차로는 좌우로 각각 10.97%와 -0.01% 증가하는 것으로 나타났다.

이는 차량이 직선구간을 지나 곡선구간을 주행함에도 불구하고 차량이 곡선구간 차선 내 traffic safety hazard zone을 통과할 확률이 더 낮아지므로 VMS 교통정보제공이 교통안전효과에 긍정적인 영향을 미친다고 판단할 수 있다. 또한, 도로곡선반경별 VMS 정보제공의 교통안전효과를 분석해보면, 국도46호선 가평구간의 교통안전효과가 차로 및 차로좌우별 19.22~100%로 국도44호선 홍천구간의 32.31~47.18%보다 높은 것으로 나타나 도로곡선반경이 작을수록 VMS 교통정보제공의 교통안전효과가 큰 것으로 분석되었다. 하지만, 다양한 도로곡선반경에 대한 현장조사 및 분석이 이루어지지 않았으며 데이터 수집기간이 짧아 도로곡선반경별 VMS 교통정보제공의 교통안전효과를 일반화하기 어려움이 있으므로 향후 다양한 도로곡선반경을 대상으로 장기간의 데이터 수집을 통한 분석이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

REFERENCE

- Anderson, T. W., and Darling, D. A., 1952. Asymptotic Theory of Certain 'Goodness of Fit' Criteria Based on Stochastic Processes, *The Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 23, No. 2. 193-212.
- Boyle, N. L., and Mannering, F., 2004. Impact of Traveler Advisory Systems on Driving Speed: Some New Evidence, *Transportation Research Part C*, Vol. 12. 57-72.
- Erke, A., Sagberg, F., and Hagman, R., 2007. Effects of Route Guidance Variable Message Signs (VMS) on Driver Behaviour, *Transportation Research Part F*, Vol. 10. 447-457.
- Hong, S. P., Park, J. H., Oh, C., and Chang, M. S., 2007. Analysis of Driver's Responsive Behavior to Variable Message Signs Using In-Vehicle DGPS Data, *Journal of the Korean Society of Transportation*, Vol. 25, No. 6. 111-120.
- Jamson, H. A., and Merat, N., 2007. The Effectiveness of Safety Campaign VMS Messages-A Driving Simulator Investigation, *Proceedings of the 4th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design*, 459-465.
- Kim, J. Y., Na, S. Y., Lee, S. J., and Kim, Y. H., 2014. A Study of Driver's Response to Variable Message Sign Using evolutionary Game Theory, *Journal of the Korean Society of Transportation*, Vol. 32, No. 5. 554-566.
- Kum, K. J., Son, Y. T., Bae, D. M., and Son, S. N., 2005. A Study on significance Testing of Driver's Visual Behavior due to the VMS Message Display Forms on the Road, *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 7, No. 4. 151-162.
- Park, H. S., Lee, H. G., Chang, K. J., and Yoo, S. M., 2012. LDWS Performance Study Based on the Vehicle Type, *Transactions of KSAE*, Vol 20, No. 6. 39-45.
- Rama, P., and Kulmala, R., 2000. Effects of Variable Message Signs for Slippery Road Conditions on Driving Speed and Headways, *Transportation Research Part F*, Vol. 3. 85-94.
- Shin, H. J., Sung, K. M., and Heo, J. H., 2010. Derivation of Modified Anderson-Darling Test Statistics and Power Test for the Gumbel Distribution, *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 43, No. 9. 813-822.
- Song, K. U., and Lee, E. E., 2005. An Evaluation of Speed Monitoring Display about Reducing Traffic Speed, *Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol. 4, No. 1. 97-106.
- Ulfarsson, F. G., Shankar, N. V., and Vu, P., 2005. The Effect of Variable Message and Speed Limit Signs on Mean Speeds and Speed Deviations, *International Journal of Vehicle Information and Communication Systems*, Vol. 1, No. 1/2. 69-87.
- Yan, X., and Wu, J., 2014. Effectiveness of Variable Message Signs on Driving Behavior Based on a Driving Simulation Experiment, *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 10.1155/2014/206805. 1-9.