

# VMS에 대한 운전자 반응특성 분석

(DGPS를 이용한 가속도 자료 분석을 중심으로)

## Analysis of Driver's Responsive Characteristics to Variable Message Signs(VMS) Using In-vehicle DGPS Data

<b>홍 승 표</b> (한양대학교 교통시스템공학과 석사과정)	<b>박 준 형</b> (한양대학교 교통시스템공학과 학사과정)	<b>오 철</b> (한양대학교 교통시스템공학과 교수)	<b>장 명 순</b> (한양대학교 교통시스템공학과 교수)
---	---	---	---

### 목 차

I. 서론	IV. 분석결과
II. 관련문헌 검토	V. 결론 및 향후 연구 과제
III. 자료 수집 및 분석방법	참고문헌

## I. 서론

도로가변전광표지(VMS: Variable Message Signs)는 첨단교통체계(ITS: Intelligent Transportation Systems)를 구성하는 주요 서브시스템 중의 하나로써, 운전자에게 도로 및 교통상황이나 교통사고, 돌발상황, 통행시간 정보, 공사정보 등의 다양한 교통정보를 제공하여 도로 이용자의 안전을 제고하고 교통혼잡을 완화시키기 위한 시설이다.

기존의 교통분야에서 접근하는 VMS에 대한 연구는 VMS 교통제어방법, 정보제공, 표출방식 등 운영에 주로 초점이 맞추어져 왔다. 본 연구에서의 초점은 기존 연구들과는 달리 VMS영향권에서 운전자의 반응특성을 분석하는 것이다. VMS에서 제공되는 정보를 인식하는 동안 운전자는 작업부하(Workload)를 체험하게 되고 이러한 작업부하량이 증가하게 되면 작업의 수행도(Driving Performance)가 떨어지고, 안전운전의 저해요인으로도 작용할 수 있다.

본 연구에서는 VMS로 인한 차량 운전자들의 반응특성을 잘 나타낼 수 있는 교통변수인 가속도와 속도를 이용하여 운전자의 반응특성을 분석하였다. 이를 위해 서울도시고속도로(올림픽대로)구간에서 DGPS 장착 차량을 이용하여 개별차량의 연속

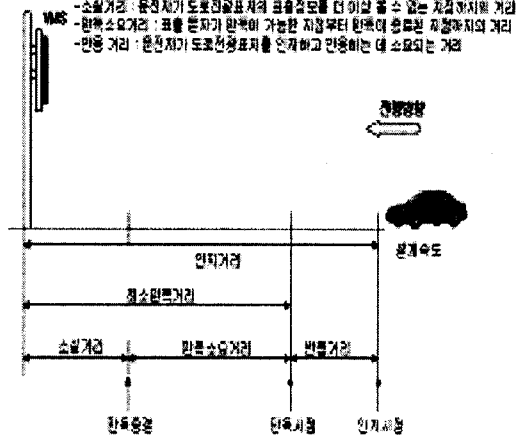
적인 속도자료를 수집하였다. 수집된 자료로부터 메시지 판독거리를 고려하여 VMS 영향권을 설정하고 가속도와 속도의 구간별 변화에 대하여 관측하였으며, 가속도의 VMS 영향권에 대한 분포 모형을 도출하였다. 본 연구의 분석결과는 VMS 설치로 인해 운전자가 체험하는 작업부하가 교통류흐름에 미치는 영향을 도출하는데 활용 될 수 있다. 나아가 이러한 운전자의 반응특성분석은 보다 현실적인 미시적 교통류모의실험을 위한 기초자료로도 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

본 연구는 크게 5장으로 구분된다. 2장에서는 기존의 관련연구에 대한 문헌 고찰을 한다. 3장에서는 자료수집 및 분석방법론을, 4장에서는 각각의 교통변수에 대한 분석을 실시한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후연구에 관하여 언급한다.

## II. 관련 문헌 검토

도로 상에서 운전자가 VMS 문자정보를 인식하고 판독하는 구간이 다르며, VMS가 운전자의 시야범위 밖에 위치하여 더 이상 VMS의 영향을 받지 않는 구간이 다르다. 따라서 각 구간

별로 운전자의 반응특성이 달라지므로 분석 시 이를 고려하여야 한다. 결국, VMS를 인지하고 표출내용을 운전자가 완전히 이해하기 위해서는 적절한 거리확보가 중요하다. 다음 <그림 1>과 <표 1>은 [도로안전시설 설치 및 관리 지침 : 도로전광표지 편]에서 제시된 판독거리 산정방법을 정리한 것이다.



<그림 1> 인지거리와 최소판독거리 개념도

<표 1> 판독거리 산정식

<p>인지거리 = 반응거리+판독소요거리+소실거리  반응거리 = 평균 주행속도 또는 설계속도(m/s)  × 운전자 반응시간(보통 2초)  최소판독거리 = 판독소요거리 + 소실거리  판독소요거리 = 평균 주행속도 또는  설계속도(m/s) ×  총 정보 단위수(단위) ×  정보단위당 판독시간(보통1초)  소실거리 = 표지중심높이(7m) / tanθ  (θ = 표지면 설치각, 연직면에서 운전자  방향으로 기울게 설치하는 각, 보통 6°)</p>
--

또한, VMS에 표출되는 정보에 따라서 운전자의 행태의 변화가 나타날 수 있다. VMS의 정보는 정성적 정보와 정량적 정보로 나눌 수 있다. 정성적 정보가 경로전환에 미치는 영향은 전달하는 표현방식이나 매체의 신뢰도, 운전자의 경험에 따라 달라진다. (이경순 2004, 연세대학교 공학대학원) 정량적 정보는 지체시간이나 구간 통과시간으로 제시되는데, 해당경로에 대

하여 충분한 통행 경험이 없는 운전자는 이 정보를 제대로 해석할 수 없을 뿐 아니라, 혼잡정보를 정량적 지표로 제시할 경우에 정성적 지표로 제시할 때보다 운전자의 인지능력이 더 많이 요구되는 것으로 분석하였다. (Hato. et al, 1999) (이종민, 2001)

### III. 자료 수집 및 분석방법

본 연구에서는 VMS영향권 내에서의 운전자 반응특성을 분석하기 위해 도로의 기하구조(직선부, 곡선부 등), VMS형태(문형식, 측주식 등)에 따른 운전자의 반응특성을 배제하기 위하여 직선부 도로의 문형식 VMS를 대상으로 DGPS 장착차량을 이용하여 개별차량의 가속도 및 속도 자료를 수집하였다.

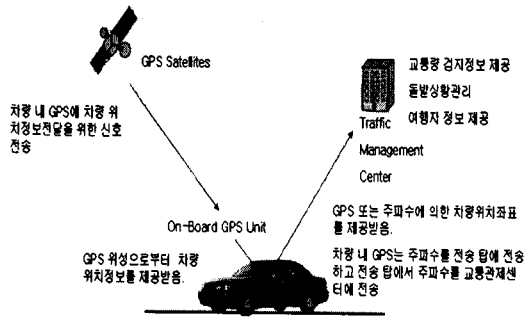
#### 1. 조사장비

- 1) DGPS(정밀 위성 위치 확인 시스템)

DGPS(Differential Global Positioning System)는 100m 가량의 2차원 측위오차를 가지고 있는 일반 GPS 수신기를 보완하기 위해 나온 기술로써 정확히 측정된 기지국에서 사용자에게 오차항(RTCM SC-104)을 전송하여 오차를 제거함으로써 사용자 위치의 정확도를 향상시키는 기술이다.

DGPS에서는 2개의 GPS수신기를 필요로 한다. 하나의 수신기는 정지해 있고 다른 하나는 이동을 하면서 위치 측정을 시행한다. 정지한 수신기가 바로 DGPS개념의 핵심이 되는 것으로서 이 정지된 수신기는 실제위성을 이용한 측정값과 이미 정밀하게 결정된 실제값의 차이를 계산한다. 이러한 체계는 기본 GPS에 수반하는 여러 가지 오차요인 등을 제거함으로써 움직이는 물체에 있어서는 1m이내의 위치추적을 가능하게 한다.(박순재, 1999)

따라서 본 연구에서는 DGPS장비를 활용함으로써 오차요인을 최소화하여 연구의 정확성을 높였으며, DGPS를 통해 VMS 설치 및 판독지점, 위치, 차량속도 자료를 수집하였다.



<그림 2-1> Vehicle Tracking using GPS

## 2) Video Camera

Video Camera는 영상을 통해서 교통현장을 보다 정확히 관측할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서 DGPS를 이용하여 위치 및 속도자료를 수집하였지만, 터널구간 또는 높은 건물 등으로 인한 DGPS 송수신의 어려움으로 인해 오차가 발생할 가능성과, 정보가 원활히 제공되지 않을 수 있다는 가능성을 고려하여 Video Camera를 사용하였다.

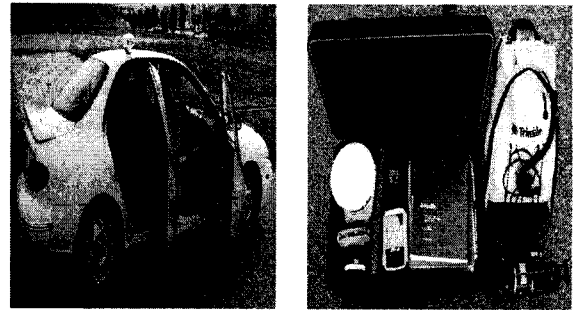
또한, Video Camera를 이용하여 VMS의 표출정보와 운전자의 반응특성을 알아보기 위해 VMS의 문자내용, 개수, 주기 및 현시, 형태 및 설치위치를 촬영하였고, 도로와 운전자의 반응특성을 고려하기 위해 주행도로의 차로수, 차량이 주행한 차로, 도로형태를 조사하였다.

## 2. 자료수집

본 연구에서는 실제 도로교통 환경에서 운전자(피실험자)와 2명의 보조원으로 구성된 조사팀을 구성하여 각 VMS에 대한 판독거리, 도로 기하구조 특성, 교통특성(속도, 가속도)을 조사하였다. 판독거리는 DGPS 장비를 통해 수집된 운전자의 판독시점을 이용하여 산정하였다. 또한 매초 간격으로 수집되는 데이터를 통해 차량의 주행속도 및 가속도를 산출하여 교통특성 변수로 활용하였다.

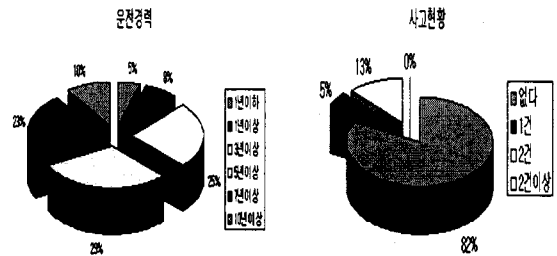
현장조사는 서울도시고속도로(올림픽대로)구간의 VMS(14개)구간에 총 25(20대 : 12명, 30대 : 13명)명의 피실험자를 대상으로 실시하였다. 실험에 앞서 피실험자에게 본 실험의 목적과 절차를 간략하게 설명하고, 실험과 관련된 주의사

항을 설명하였다. 아울러 피실험자의 특성분석을 위해 운전경력, 연령, 사고유무현황 및 면허 취득일등에 조사를 병행하였다. 피실험자는 색맹, 색약 등 시각기능에 이상이 없는 사람을 대상으로 하였다. 본 실험에 사용한 장비는<그림 2-2>, 피실험자 25명의 특성자료는<그림2-3>, VMS 위치도는 <그림2-4>와 같다.



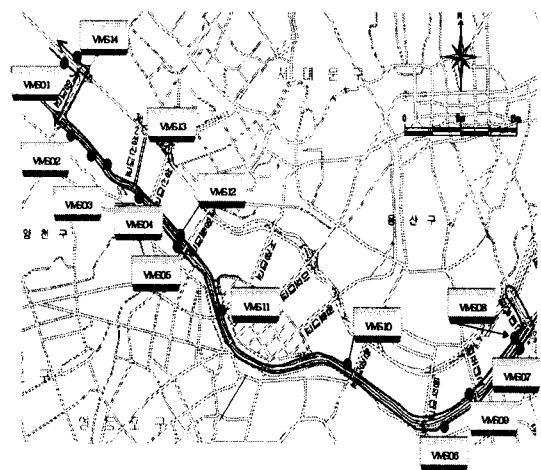
(a) 조사장비를 부착한 차량모습 (b) 실험조사장비(DGPS, Video-Camera)

<그림 2-2> 실험조사 장비



(a) 운전경력 (b) 사고현황

<그림 2-3> 피실험자(운전자) 특성



<그림2-4> VMS 설치 위치도

### 3. 분석방법

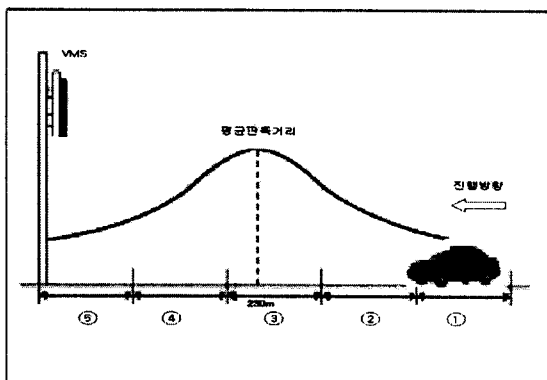
도로선형, VMS 형태, 주변차량의 영향에 따른 운전자의 반응특성을 배제하기 위하여 직선 부도로의 문형식 VMS를 대상으로 실험구간의 제한속도인 80kph 이상인 개별차량 주행궤적 자료를 수집하였다. 수집된 자료를 이용하여 운전자의 메시지 판독거리를 고려한 VMS 영향권을 설정하고 가속도와 속도에 대해 ANOVA TEST를 통해 영향권 내 구간별 반응특성을 분석하였다. 또한 ARENA를 이용하여 가속도의 VMS 영향권에 대한 분포모형을 도출하였다.

## IV. 분석결과

### 1. 현장조사자료 분석

운전자는 VMS 메시지의 판독이 가능한 지점부터 정보를 인지하고 처리하는 작업부하를 시작하게 될 것이라는 전제하에, 영향권 산정을 위해 판독거리를 분석하였다. 운전자의 평균판독거리는 약 230m인 것으로 나타났으며, 운전자의 반응이 시작되기 이전부터 변화 정도를 관찰하기 위해 평균판독거리의 약 2배인 500m를 본 연구에서는 VMS의 영향권으로 설정하였다. 영향권 내의 구간별 운전자 반응특성을 관측하기 위하여 VMS 영향권을 100m씩 나누었으며, <그림3-1>에 도식화하였다.

- ① = 500m ~ 400m 구간
- ② = 400m ~ 300m 구간
- ③ = 300m ~ 200m 구간
- ④ = 200m ~ 100m 구간
- ⑤ = 100m ~ 0m 구간

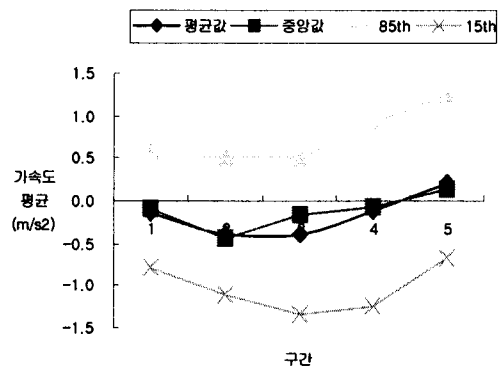


<그림 3-1> VMS 접근거리 분할

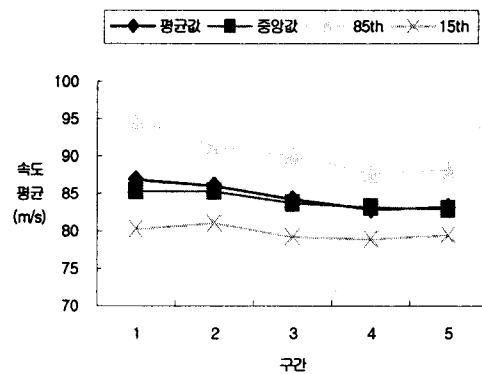
가속도 평균은 구간 ①에서 구간 ④의 지점까지 (-) 값의 가속도를 보이고 있고, 구간 ④에서 구간 ⑤을 지나면서 (+) 값의 가속도를 보이고 있음을 알 수 있다. 이를 통해, 구간 ①에서 구간 ③의 지점까지 VMS의 문자정보를 판독하기 위해 운전자들이 감속 하는 것으로 해석할 수 있고, 구간 ④에서 구간 ⑤를 지나면서 운전자들이 VMS 문자정보의 판독을 완료한 후 가속을 하는 것으로 해석할 수 있다. 또한 운전자가 VMS 판독거리까지 작업부하를 느끼고 판독거리부근에서 가장 큰 작업부하(Work Load)를 체험한다고 해석할 수 있다.

속도의 범위는 83~87kph 로 나타났으며 ①~④구간에서 속도는 감소하는 경향을 나타냈고, ⑤구간에서 속도가 증가하는 것으로 분석되었다. 이는 운전자가 VMS 정보를 판독하기 위해 속도를 줄인 것으로 해석할 수 있다.

영향권 내의 구간별 가속도와 속도 자료의 분석결과는 <그림3-2>에 도식화하였다.



(a) 가속도 평균



(b) 속도평균

<그림 3-2> 구간에 따른 변화

## 2. 접근거리에 따른 운전자 반응특성 분석

본 연구는 운전자의 반응특성을 분석하기 위해 VMS 접근거리에 따른 교통변수들을 ANOVA TEST를 이용하여 가설 검정을 수행하였다.

### 1) 가설설정

본 연구에서는 속도와 가속도의 평균 및 표준편차의 교통변수들을 종속변수로 두고, 접근거리별 구간을 독립변수로 두고 가설을 설정하였다.

가설 : VMS 영향권 내의 구간에 따른 운전자 반응특성(가속도와 속도)은 차이가 있는가?

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$$

### 2) 분석결과

#### (1) 가속도평균 - 접근거리별 구간

VMS 영향권 내의 구간에 따른 운전자 반응특성(가속도평균)에 대한 검정에서는,

$$\text{유의확률}(p) = 0.034 < \text{유의수준}(a) = 0.05$$

이므로 귀무가설  $H_0$ 를 Reject한다. 즉, 운전자 반응특성(가속도평균)은 접근거리별 구간에 따라 차이가 있는 것으로 분석되었다. <표3-5>에서 보듯이 가속도 평균은 구간 1에서 구간 4의 지점까지 (-) 값의 가속도를 보이고 있고, 구간 4에서 구간 5를 지나면서 (+) 값의 가속도를 보이고 있음을 알 수 있다. 이를 통해, 구간 1에서 구간 3의 지점까지 VMS의 문자정보를 판독하면서 작업부하를 느껴 운전자들이 감속 하는 것으로 해석할 수 있고, 구간 4에서 구간 5를 지나면서 운전자들이 VMS 문자정보의 판독을 완료한 후 가속을 하는 것으로 해석할 수 있다.

분석결과는 <표 3-1>, <표 3-2>에 제시하였다.

<표 3-1> 기술통계량

구간	Mean	Std. Deviation	N
1	-0.1500	0.81488	40
2	-0.3845	0.80069	40
3	-0.4013	1.27507	40
4	-0.1193	1.02656	40
5	0.2158	0.86576	40
Total	-0.1679	0.98911	200

<표 3-2> 개체 간 효과 검정

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
집단-간	10.050	4	2.512	2.653	0.034
집단-내	184.638	195	0.947		
합계	194.688	199			

#### (2) 속도평균 - 접근거리별 구간

VMS 영향권 내의 구간에 따른 운전자 반응특성(속도평균)에 대한 검정에서는,

$$\text{유의확률}(p) = 0.018 < \text{유의수준}(a) = 0.05$$

이므로 귀무가설  $H_0$ 를 Reject한다. 즉, 운전자 반응특성(속도평균)은 접근거리별 구간에 따라 차이가 있는 것으로 분석되었다. <표3-1>에서 보듯이 운전자는 구간1에서 구간 4의 지점까지 속도를 줄이고 구간4에서 구간5를 지나면서 속도가 회복되는 것을 볼 수 있다. 이는 VMS 정보를 판독하기 위해 속도를 줄인 것으로 볼 수 있으며 VMS가 운전자에게 작업부하를 준다고 해석할 수 있다.

분석결과는 <표 3-3>, <표 3-4>에 제시하였다.

<표 3-3> 기술통계량

구간	Mean	Std. Deviation	N
1	86.8173	7.71390	40
2	85.9313	6.52524	40
3	84.2925	5.64607	40
4	82.9405	5.33120	40
5	83.1085	5.43554	40
Total	84.6180	6.32280	200

<표 3-4> 개체 간 효과검정

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
집단-간	470.395	4	117.599	3.064	0.018
집단-내	7485.185	195	38.386		
합계	1955.580	199			

### 3. 접근거리별 가속도 평균에 대한 확률 분포모형 정립 및 적합성 검정

접근거리에 따른 가속도 평균 자료에 대한 확률분포를 적합(fit)하기 위해 Arena 소프트웨어를 사용하였다. 분포의 데이터에 대한 적합도의 척도는 평균 자승 오차와 K-S를 들 수 있다. 평균자승오차는 관측치의 상대도수와 확률분포의 상대도수 사이의 차이를 제공한 값으로 자승오차가 클수록 확률분포는 실제 데이터에서 멀리 떨어져 있다는 것을 의미한다. Kolmogorov-

Smirnov (K-S)는 이론 분포가 데이터에 잘 맞는가를 평가하기 위하여 사용되는 표준 통계적 가설 검증방법으로 적합도(Goodness-of-Fit) 가설검증에서 p-value가 0.1이상이면 데이터를 잘 표현하는 분포라고 할 수 있다.

구간1에서의 가속도 평균에 대한 분석에서 평균 자승 오차(mean square error) 면에서 0.0113으로 가장 낮고, K-S 적합도 가설 검증에서 p-value가 0.1보다 큰  $\mu = -0.15, \sigma = 0.805$  인 정규분포를 따르는 것으로 분석되었다.

구간2에서의 가속도 평균에 대한 분석에서 평균 자승 오차(mean square error) 면에서 0.0233으로 가장 낮고, K-S 적합도 가설 검증에서 p-value가 0.1보다 큰  $\mu = -0.385, \sigma = 0.791$  인 정규분포를 따르는 것으로 분석되었다.

구간3에서의 구간의 가속도 평균에 대한 분석에서 평균 자승 오차(mean square error) 면에서 0.0181으로 가장 낮고, K-S 적합도 가설 검증에서 p-value가 0.1보다 큰  $\beta = 6.02, \alpha = 5.31$

<표3-5> 적합도 검정 및 분포모형

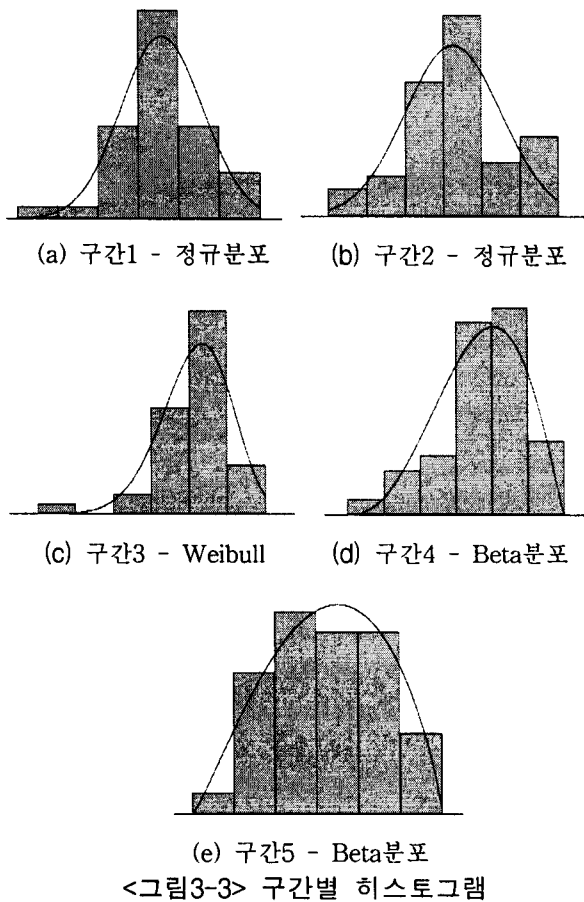
		구간1	구간2	구간3	구간4	구간5
Distribution Summary	Distribution	Normal	Normal	Weibull	Beta	Beta
	Expression	NORM (-0.15,0.805)	NORM (-0.385,0.791)	-6+WEIB (6.02, 5.31)	-3.48+5.48 * BETA(3.53, 2.23)	-1.91+3.91*B ETA(2.21, 1.85)
	Square Error	0.011320	0.023321	0.018115	0.012854	0.002618
Chi-Square Test	Number of intervals	3	4	3	4	4
	Degrees of freedom	0	1	0	1	1
	Test Statistic	1.37	2.72	2.03	1.38	0.244
	Corresponding p-value	< 0.005	0.0993	< 0.005	0.244	0.65
Kolmogorov-Smirnov Test	Test Statistic	0.0898	0.0843	0.145	0.0912	0.0642
	Corresponding p-value	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15
Data Summary	Number of Data Points	40	40	40	40	40
	Min Data Value	-2.86	-2.12	-5.47	-3.02	-1.55
	Max Data Value	1.34	1.03	1.82	1.54	1.99
	Sample Mean	-0.15	-0.385	-0.401	-0.119	0.216
	Sample Std Dev	0.815	0.801	1.28	1.03	0.866
Parameters		$\mu = -0.15$ $\sigma = 0.805$	$\mu = -0.385$ $\sigma = 0.791$	$\beta = 6.02$ $\alpha = 5.31$	$\beta = 3.53$ $\alpha = 2.23$	$\beta = 2.21$ $\alpha = 1.85$
확률밀도함수		$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)}$		$f(x) = \alpha\beta^{-\alpha} * x^{\alpha-1} e^{-(x/\beta)^\alpha}$ for $x > 0$ otherwise 0	$f(x) = \frac{x^{\beta-1}(1-x)^{\alpha-1}}{B(\beta,\alpha)}$ for $0 < x < 1$ otherwise 0	

인 Weibull 분포를 따르는 것으로 분석되었다.

구간4에서의 구간의 가속도 평균에 대한 분석에서 평균 자승 오차(mean square error) 면에서 0.0128으로 가장 낮고, K-S 적합도 가설 검증에서 p-value가 0.1보다 큰  $\beta = 3.53, \alpha = 2.23$ 인 Beta 분포를 따르는 것으로 분석되었다.

구간5에서의 구간의 가속도 평균에 대한 분석에서 평균 자승 오차(mean square error) 면에서 0.0026으로 가장 낮고, K-S 적합도 가설 검증에서 p-value가 0.1보다 큰  $\beta = 2.21, \alpha = 1.85$ 인 Beta 분포를 따르는 것으로 분석되었다.

Arena를 이용한 VMS 구간별 가속도 평균 자료에 대한 분포 모형 및 분석결과를 <그림 3-3>과 <표3-5>에 제시하였다.



## V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 DGPS 장비를 장착한 개별 차량으로부터 얻어진 속도자료를 활용하여 VMS 영향권에서의 운전자 반응특성을 분석하는데 그 목적을 두었다. 이를 위해 서울도시고속도로(올림픽대로)상의 VMS를 대상으로 얻어진 교통변수

를 활용하였으며 VMS 영향권에서 접근거리와 교통변수와의 상관관계 및 분포모형을 분석하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 가속도와 속도는 VMS 접근거리에 따른 차이가 있는 것으로 분석되었다. 이를 통해 VMS 영향권에서 운전자는 노출시간을 증가시키기 위해서 감속하는 패턴을 보이며, 이는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

둘째, 가속도에 대한 접근거리별 분포모형은 구간1 정규분포, 구간2 정규분포, 구간3 Weibull 분포, 구간4 Beta 분포, 구간5 Beta 분포를 따르는 것으로 분석되었다.

비교적 충실한 현장조사를 통해 자료를 수집하고 분석하려 노력하였으나, 자료 수집의 한계로 인해 다음과 같은 향후 연구가 필요할 것으로 보인다.

첫째, 올림픽대로의 VMS에 한정된 연구를 시행하였기 때문에 고속도로, 일반국도, 그 외의 기타도로에 설치된 VMS에 대한 연구도 필요할 것으로 사료된다.

둘째, 본 연구에서는 20대와 30대의 피실험자를 대상으로 연구가 진행되어 도로를 운전하는 모든 운전자들의 특성을 대표한다고는 말할 수 없으므로 폭넓은 연령층을 대상으로 한 연구가 필요하다.

셋째, 주변차량의 영향을 배제하기 위하여 제한 속도 80kph 이상인 차량을 대상으로 연구를 시행하였지만 free flow 상태를 표현하기에는 한계가 있을 것으로 생각된다.

마지막으로 본 연구의 분석결과는 VMS 설치로 인해 운전자가 체험하는 작업부하가 교통류 패턴에 미치는 영향을 도출하는데 활용될 수 있다. 나아가 이러한 운전자의 반응행태분석은 보다 현실적인 미시적 교통류 모의실험을 위한 기초자료로도 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. 박순재(2000), DGPS를 활용한 도로교통 정체도 분석에 대한 연구 (A Study On Traffic Volume By The DGPS, 경기대학교 산업정보대학원.

2. 도철웅(2005), 교통공학원론, 청문각.
3. 건설교통부(1999), 도로안전시설 설치 및 관리지침 : 도로전광표지 편.
4. 권혁, 이승재(2004), 게임이론을 이용한 VMS 전략적 교통제어 방법에 관한 연구, ITS 학회
5. 김병관, 백남철, 이미영(2004), VMS를 통한 통행시간 정보제공 전략, ITS 학회
6. 금기정, 손영태, 배덕모, 손승녀(2005), 도로상 VMS 표출방식별 운전자 유의성 검증에 관한 연구, 한국도로학회 논문집, 한국도로학회, pp151-162
7. Drew, D. (1968). Traffic Flow Theory and Control, McGraw-Hill, Inc.
8. Drew, D., Dudek, C., and Keese, C. (1967). "Freeway Level of Service as Described by an Energy-Acceleration Noise Model." Highway Research Record 162, 30-85.
9. Herman, R., Montroll, E., Potts, R., and Rothery, R. (1959). "Traffic Dynamics: Analysis of Stability in Car Following." Operations Research, 7, pp86-106.
10. W.David.Kelton et,al , Simulation with Arena , Mc.Graw-Hill , 1999