

論 文

## 고속도로의 합류구간내 속도변화 추정모형 구축에 관한 연구<sup>+</sup>

신 광 식\* · 김 태 곤\*\*

### Constructing the Models Estimated for Speed Variation on the Merge Section in the Freeway

*K. S. Shin · T. G. Kim*

**Key Words** : Freeway(고속도로), Traffic Flow Characteristics(교통류 특성), Traffic Volume(교통량), Speed(속도), Occupancy(점유율), Detector(검지기), Delay(지체), Speed Variation(속도변화), Upstream Volume(상향류 교통량), Upstream Speed(상향류 속도), Upstream Occupancy(상향류 점유율), Merge Section(합류구간), Mainline Section(본선구간), On-ramp(진입램프)

#### Abstract

Congestion and traffic accidents occur on the merge and diverge sections in the interchange of the freeway. Studies have been conducted to reduce the traffic delay and accidents on the merge section in the freeway since 1960s, but a study was not conducted to estimate the speed variation on the merge section, construct models estimated for the speed variation, and suggest the appropriate measures.

The purpose of this study was to identify the traffic flow characteristics on the merge section in the freeway, construct the models estimated for the speed variation on the merge section in the freeway, and finally establish the appropriate measures for reduction of traffic delay and accidents on the merge section in the freeway. The following results were obtained :

i) Speed variations in the urban freeway appeared to be about 3.2mph, 6.5mph and 7.4mph based on the morning peak period, afternoon peak period and 24-hours period, but those in the suburban freeway appeared to be about 8.0mph, 11.1mph and 10.1mph based on

<sup>+</sup> 본 연구는 1997년도 한국학술진흥재단의 대학교수 해외파견 연구지원에 따른 자료구축에 의해서 연구되었음.

\* 정희원, 한국해양대학교 대학원 토목환경공학과

\*\* 정희원, 한국해양대학교 공과대학 토목환경공학과 교수

the same periods, respectively. So, different speed reduction signs need be installed to reduce delay and accidents on the merge section in the freeway based on the areas and periods as the freeway traffic management system(FTMS).

ii) These models estimated for speed variation need to be studied with the changeable message sign(CMS) technique based on the real-time data so that the traffic flow could be maximized and the traffic delay and accidents be minimized on the merge section in the freeway as more efficient freeway traffic management system(FTMS) in the near future.

## 1. 서 론

### 1.1 연구 배경

오늘날 급격한 경제성장과 생활수준의 향상으로 지역간 또는 지역내 통행수요가 날로 급증하고 있는 상황에서 고속도로(Expressways)나 도시고속도로(Urban Freeway)는 중요한 역할을 담당하고 있다. 기존의 고속도로나 도시고속도로는 그 특성상 차량의 자유로운 흐름을 유지하도록 계획되었고, 한정된 진·출입램프(ramps)와 연결되도록 설계되었으며, 특별히 고속도로 교통관리체계(Freeway Traffic Management System : FTMS)의 적용이 배제된 교통시설이었다. 그러나, 급격한 차량증가와 그로 인한 통행수요의 폭발적인 증가는 새로운 고속도로망 수립과 함께 지속적으로 고속도로를 확충하게 되었고, 더구나 고속도로의 지속적인 확충으로 투자재원의 고갈상태에 직면하게 되었으며, 궁극적으로는 고속도로가 제 기능을 제대로 발휘할 수 없는 심각한 정체상황에 도달하게 되었다. 따라서, 투자재원의 허용범위 내에서 고속도로의 확충과 확장도 중요하지만, 기존 고속도로의 효율적인 관리체계를 수립하는 것이 더욱 중요한 과제로 대두되고 있다.

### 1.2 연구 목적 및 필요성

일반적으로 고속도로나 도시고속도로상에서 차량은 자유로운 흐름상태가 유지되어야 하지만, 주

변의 우회도로의 부족과 이용차량의 집중으로 인해 고속도로나 도시고속도로가 제 기능을 발휘한다는 것은 결코 쉬운 일이 아니다. 특히, 차량의 집중정도가 과도한 출퇴근시간대에는 고속도로나 도시고속도로가 본래의 기능을 유지한다는 것이 거의 불가능하고, 출퇴근시간대가 아니라 해도 주변 우회도로의 부족과 비효율적인 고속도로 관리체제로 인하여 교통체증은 한층 가중되고 있다. 이러한 교통체증은 고속도로나 도시고속도로의 본선구간(Mainline Section)보다는 진·출입램프와 본선구간과의 합류구간(Merge Section)에서 주로 발생하고 있으며, 합류구간에서의 교통체증이 본선구간으로 파급됨으로써 고속도로나 도시고속도로의 합류구간에서의 효율적인 관리체계가 더욱 절실히 요구되고 있다.

따라서, 고속도로나 도시고속도로의 합류구간에서 유입차량으로 인한 본선구간의 지체와 사고가 증가하고 있다는 사실에 근거를 두고 i) 합류구간에서의 교통류(Traffic Flow) 특성을 파악하고, ii) 교통류의 특성을 중심으로 합류구간에서의 속도변화모형을 구축하며, iii) 구축된 속도변화모형에 근거하여 고속도로 합류구간에서 지체와 사고를 감축시킬 수 있는 고속도로 관리체계 방안을 제시하고자 한다.

### 1.3 문헌 조사

본 연구와 관련된 문헌에 있어서 미국의 Nick Thompson<sup>1)</sup>은 Minnesota지역의 고속도로를 대상

으로 수행한 연구에서 첨단교통체계(Intelligent Transportation System : ITS)를 이용하여 진입램프와 합류구간을 적절히 통제·관리하면 고속도로의 용량(Capacity)이 2,400veh/h까지 증가되었고, 경우에 따라서는 2,700veh/h까지도 증가하였으며, 출퇴근시간대의 평균속도가 48km/h에서 77km/h로 약 60%정도 향상되었다고 보고함으로써 고속도로의 효율적인 관리체계를 강조하였다.

미국의 Adolf D. May<sup>2)</sup>는 고속도로의 교통축을 중심으로 한 연구에서 고속도로를 상향류(Upstream) 유입단과 하향류(Downstream) 유출단 그리고 합류구간을 포함하는 본선구간으로 나누어 수요-공급분석(Demand-Supply Analysis)을 수행한 결과 고속도로 본선구간의 속도가 40km/h~48km/h에서 병목현상이 발생하고, 진입램프의 적절한 통제와 합류구간의 관리가 이루어지면 지체와 통행시간이 각각 10.9%와 12.2% 감소됨으로써 고속도로의 합류구간에 대한 관리체계를 역시 강조하였다.

James Robinson 과 Mark Doctor<sup>3)</sup>는 1980년대 북미지역 Portland (Oregon), Minneapolis/St. Paul (Minnesota), Seattle (Washington), Denver (Colorado), Detroit (Michigan), Austin (Texas), Long Island (New York), San Diego (California) 지역에서 실시되고 있는 램프 미터링과 고속도로 관리체계를 비교·분석한 결과 통행속도는 약 7%~57%증가하였고, 통행량은 약 8%~17%증가하였으며, 사고율은 약 24%~50% 감소하는 것으로 나타남으로써 고속도로 관리체계의 중요성을 역설하였다.

Nicholas J. Garber과 Surbhi T. Pater<sup>4)</sup>는 가변정보 신호표지(Changeable message sign : CMS)가 고속도로 작업구간(Work Zones)에 미치는 효과 분석에서 가변정보 신호표지가 설치되었을 때 5mph~16mph의 속도감소효과가 나타났으며, 보다 효율적인 고속도로 관리체계를 위해 가변정보 신호표지에 다양한 속도제한정보(Reduced speed limit)를 포함하여 도로의 형태, 차선수, 시간대별

통행량, 작업구간의 길이 등에 따라 연구되어져야 한다고 보고함으로써 가변정보 신호표지의 효율성을 역설하였다.

또한, 국내의 조영주<sup>5)</sup>는 고속도로 합류구간에서의 지체최소화의 기법에 관한 연구를 수행하였고, 김상구<sup>6)</sup>는 고속도로 합류구간에서의 교통특성에 관한 연구를 수행함으로써 고속도로 합류구간에서 지체를 최소화시키고 차량의 흐름이 원활하게 유지되도록 하기 위해서 고속도로 관리체계의 필요성을 강조하였다.

따라서, 고속도로에서 차량소통을 원활하게 하고, 용량을 증대시키며, 합류구간에서 추돌사고(Rear-end Accidents)나 접촉사고(Side-swipe Accidents)를 감소시키기 위해 속도변화에 대한 연구가 요구되었다.

#### 1.4 연구 내용 및 방법

본 연구에서는 미국 Michigan주 Detroit지역을 동서방향으로 가로지르는 I-94(Interstate Freeway)상에서 1997년 1월에서 8월까지 실시간으로 관측된 10개 지점(Station) 중에서 도심지역내 4개 지점과 부도심지역상의 6개 지점을 중심으로 고속도로의 합류구간에 대해 교통류의 특성분석과 속도변화모형을 구축하였고, 구축된 모형을 적절한 신뢰수준에서 실측자료와 비교·분석을 통해 검증을 실시하였다.

특히, 교통류 분석과 모형구축을 위해 Microsoft Office 97과 SPSS Ver 8.0이 실시간 자료와 함께 사용되었다.

## 2. 교통류 특성분석

본 연구에서는 Fig. 2.1에서 보여주듯이 고속도로 합류구간의 상향류 검지기(Upstream Detector)상에서 관측된 속도, 점유율 및 교통량 그리고 상·하향류 검지기로부터 산정된 진입램프 교통량

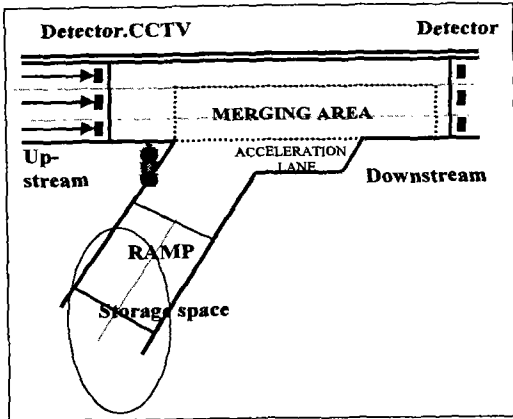


Fig. 2.1 Merging Section on the freeway

을 중심으로 24시간(00:00~24:00)의 실시간 자료를 중심으로 한 전일시간대(Period I), 오전 출근시간(06:30~09:00)의 실시간 자료를 중심으로 한 출근시간대(Period II), 그리고 오후 퇴근시간(15:30~18:00)의 실시간 자료를 중심으로 한 퇴근시간대(Period III)로 분류하여 분석을 실시하였다.

2.1 교통량

고속도로의 합류구간을 중심으로 실시간에 의해 관측된 상향류 교통량 특성을 살펴보면, 전일시간대를 기준으로 도심지역 고속도로의 교통량이 부도심지역 고속도로 교통량보다 약 27% 높게 나타났다. 특히, 오전 출근시간대에는 도심지역 고속도로보다 부도심지역 고속도로에 많은 교통량이 집중하고 있었고, 오후 퇴근시간대에는 도심지역 고속도로가 부도심지역 고속도로보다 상대적으로 많은 출·퇴근 교통량이 집중함으로써 출·퇴근시간대 정체를 가중시키고 있었다. (참조 Fig. 2.2, Table 2.1)

또한, 합류구간 진입램프의 실시간 교통량(Ramp Volume) 특성을 살펴보면, 전일시간대를 중심으로 도심지역 진입램프보다는 부도심지역 진입램프 교통량이 약 14% 높게 나타났다. 그러나, 출·퇴근시간대 진입램프 교통량 특성은 고속도로 상향류 교

Table 2.1 Traffic Volume Characteristics(vph)

Area	24 Hours Average Volume	Peak period volumes			
		Am Peak	Increase (%)	Pm Peak	Increase (%)
Upstream Volume					
Sub-urban	2,569	4,796	85.6	2,827	10.0
Urban	3,264	4,351	33.3	4,177	30.0
Ramp Volume					
Sub-urban	394	462	17.3	459	16.5
Urban	346	310	-10.4	549	58.7

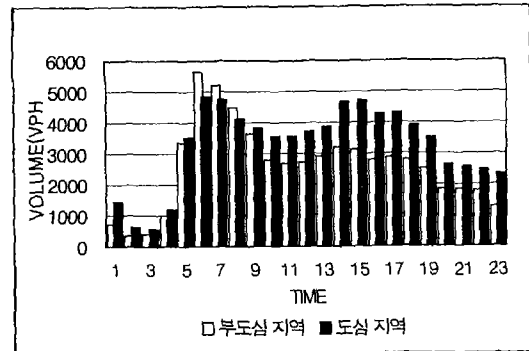


Fig. 2.2 Upstream Volume Dist.

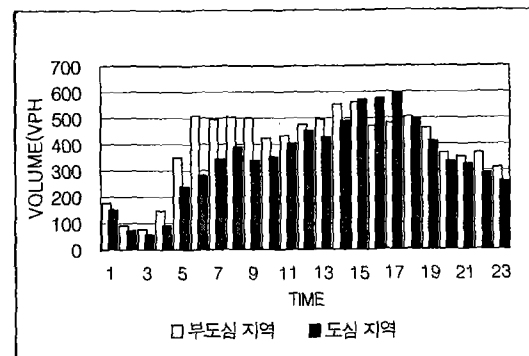


Fig. 2.3 Ramp Volume Dist.

통량 특성과 유사하게 나타났다. (참조 Fig. 2.3, Table 2.1)

따라서, 고속도로는 상향류 교통량과 진입램프 교통량의 변화에 따라 지역별, 시간대별 고속도로의 관리체계가 수립되어야 할 것이다.

2.2 점유율

점유율이란 고속도로 검지기상을 통과하는 차량의 총 관측시간에 대한 검지기를 통과한 시간의 비율로서 고속도로상에서 서비스 수준(Level of Service : LOS)을 평가하는 중요한 효과척도(Measurement of Effectiveness : MOE)인 밀도(Density)와의 관계<sup>7)</sup>는 식(2. 1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{K} = \frac{\phi}{100} \frac{5,280}{l_e} \quad (2.1)$$

여기서,

$\hat{K}$  ; 밀도 추정치(veh/mile)

$\phi$  ; 점유율(%)

$l_e$  ; 차량의 유효길이(feet)

고속도로 합류구간을 중심으로 실시간에 관측된 상향류 점유율(Upstream Occupancy) 특성은 지역별, 시간대별로 차이가 많은 것으로 나타났다. 특히, 전일시간대를 중심으로 도심지역의 평균 점유율은 부도심지역과 비교하여 약 45% 높게 나타났으며, 출근시간대 도심지역과 부도심지역 고속도로에서는 100%이상의 높은 점유율 증가를 보였다. (참조 Fig. 2.4, Table 2.2)

따라서, 고속도로는 상향류 점유율의 변화에 따라 지역별, 시간대별 고속도로 관리체계(FITMS)가 수립되어야 할 것이다.

2.3 속도

고속도로의 합류구간을 중심으로 실시간에 관측된 상향류 속도특성을 살펴보면, 전일시간대를 중심으로 도심지역 고속도로의 속도가 부도심지역

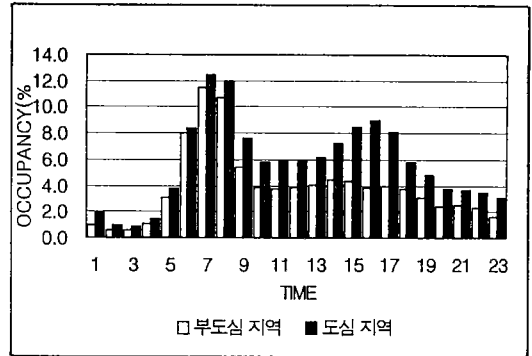


Fig. 2.4 Occupancy Dist.

고속도로의 속도보다 약 14%정도 낮게 나타났다. 특히, 부도심지역의 퇴근시간대를 제외하고는 전일 시간대와 비교하여 출퇴근시간대 속도가 낮게 나타났다. 또한 전일시간대 합류구간의 속도는 상향류속도에 비하여 대체적으로 낮게 나타났는데, 도심지역에서는 약 7mph의 감속을 보였고, 부도심지역에서는 약 10mph의 감속을 보였으며, 본 연구에서 적용한 Highway Capacity Manual(1998)<sup>8)</sup>에서의 합류구간 속도추정 모형식은 다음과 같다.(참조 Fig. 2.5, Fig. 2.6, Table 2.3)

Table 2.2 Occupancy Characteristics(%)

Area	24 Hours Average Occupancy	Peak period occupancy			
		Am Peak	Increase (%)	Pm Peak	Increase (%)
Upstream Occupancy					
Sub-urban	3.8	10.9	186.8	4.0	5.2
Urban	5.5	11.8	114.5	8.7	58.2

$$S_M = S_{FF} - (S_{FF} - 42)M_S \quad (2.2)$$

여기서,

$S_M$  : 합류구간의 평균통행속도(mile/h)

$S_{FF}$ : 고속도로의 자유흐름속도(mile/h)

$M_S$ : 합류강도계수

$$M_S = 0.321 + 0.0039e^{(v_{n2}/1,000)} - 0.002\left(\frac{L_A S_{FF}}{1,000}\right)$$

$L_A$ : 가속차선의 길이(ft)

$V_F$ : 합류구간에 접근하는 고속도로 본선 교통량 (veh/h)

$V_{12}$ : 본선구간에서 1,2차선으로 통행하는 교통량 (veh/h)

$V_R$ : 램프 교통량(veh/h)

$S_{FR}$ : 램프의 합류구간의 자유흐름 속도 (mile/h)

$V_{R12}$ : 합류구간의 교통량 ( $V_R + V_{12}$ )(veh/h)

한편, 합류구간에서 속도변화(Speed Variation)를 살펴보면, 도심지역 고속도로에서는 대체적으로 7.4mph의 변화가 있었고 부도심지역에서는 약 10.1mph의 속도변화가 있었다. 특히, 출근시간대에는 도심지역 고속도로에서는 3.2mph의 속도변화와 부도심지역에서는 8mph의 변화가 있었으며 퇴근 시간대에는 도심지역 고속도로에서 6.5mph의 속도 변화와 부도심지역에서는 11.1mph의 속도변화가 있었다. (Fig. 2.7, Table 2.3)

따라서, 고속도로상 합류구간에서 속도변화를 줄일 수 있는 방안이 지역별, 시간대별로 검토되어

Table 2.3 Speed Characteristics(mph)

Area	24 Hours Average Speed	Peak period speed			
		Am Peak	Increase (%)	Pm Peak	Increase (%)
Upstream Speed					
Sub-urban	74.0	61.5	-16.8	76.8	3.8
Urban	64.6	54.4	-15.8	59.9	-7.2
Merge Section Speed					
Sub-urban	64.0	54.5	-14.8	65.7	2.7
Urban	57.7	51.3	-11.1	53.6	-7.1
Speed Variation					
Sub-urban	10.1	8.0	-20.8	11.1	9.9
Urban	7.4	3.2	-56.7	6.5	-12.2

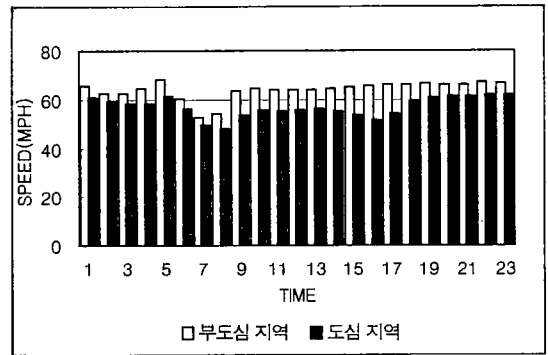


Fig. 2.6 Merge Section Speed Dist.

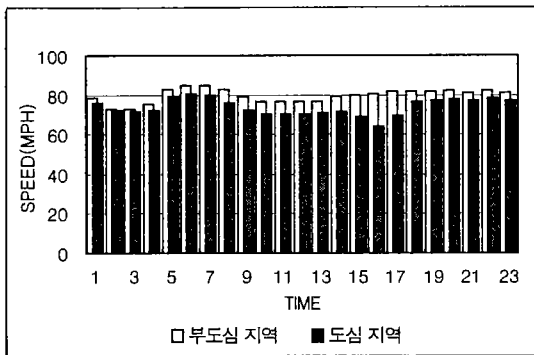


Fig. 2.5 Upstream Speed Dist.

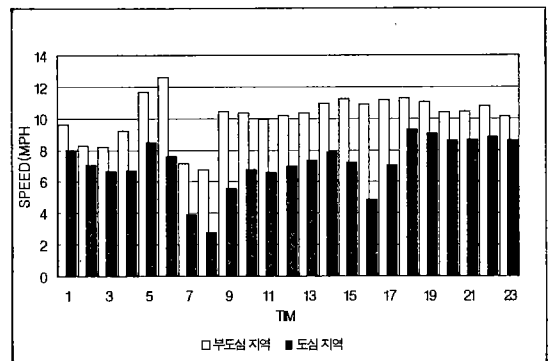


Fig. 2.7 Speed Variation Dist.

야 하고, 고속도로 본선상의 통행속도를 최대로 유지하며 진입 램프 교통량의 집중도를 적절히 통제할 수 있는 관리체계가 속도변화 분석과 함께 수립되어야 할 것이다.

### 3. 모형 구축 및 검증

본 연구대상 고속도로의 합류구간에서 교통류 특성분석을 바탕으로 전일 시간대(Period I), 오전 출근시간대(Period II), 그리고 오후 퇴근시간대(Period III)로 분류하여 지역별, 시간대별 속도변화 추정모형을 구축하고 검증하였다.

#### 3.1 구축 방법

본 연구대상 고속도로의 합류구간에서 교통류 흐름과 관련된 모형구축을 위해 사용된 변수들은 다음과 같다.

$Y$  : 상향류 지점과 합류구간사이의 속도변화 (mile/h)

$F_U$  : 상향류 지점에서 관측된 교통량(veh/h)

$O_U$  : 상향류 지점에서 관측된 점유율(%)

$S_U$  : 상향류 지점에서 관측된 속도(mile/h)

$F_M$  : 진입램프(Ramp) 교통량(veh/h)

$S_M$  : 합류구간에서 산정된 평균속도(mile/h)

$VR_{12}$  : 합류구간에서의 교통량( $V_{12} + F_M$ ) (veh/h)

$V_{12}$  : 상향류 중 1, 2차선의 교통량(veh/h)

본 연구에서는 위의 변수들과 함께 다중회귀모형의 구축에서 발생할 수 있는 다중공선성(Multicollinearity)의 문제를 해결하기 위해서 개개의 변수 중 설명력이 높은 변수를 단계적으로 선택하는 Stepwise Regression 기법을 사용하여 모수

를 선택하였으며, 변수 값이  $10^{-3}$  이하가 되는 것은 종속변수에 영향을 미치지 못하는 것으로 판단하여 변수선택에서 제외하였다. 또한, 구축된 모형으로부터 추정된 자료와 실측자료를  $\chi^2$ -test와 Paired t-test를 통해 모형의 적합도 검증을 실시하였다.

#### 3.2 모형 구축

본 연구대상 고속도로 합류구간의 지역별, 시간대별 속도변화 추정모형의 분산분석(ANOVA)결과 F-Sig.가 모든 지역에서 거의 0.000으로 모형의 종속변수와 독립변수사이의 유의한 차이가 있음을 보여주고, 모형의 결정계수( $R^2$ )의 값이 부도심지역과 도심지역에서 0.9이상으로 나타남으로써 선택된 독립변수들이 모형구축에 높은 설명력을 나타내고 있었으며, 모형구축에 기여도가 높은 변수는 상향류의 속도( $S_U$ )와 합류구간의 평균속도( $S_M$ )로 나타났다. 또한, Stepwise Regression기법에 의해 개별독립변수들간의 유의성을 검증한 결과 변수들간의 유의한 차이를 보여주고 있었다. 그리고 지역별, 시간대별로 구축된 모형에서 상향류의 속도( $S_U$ )는 양의 상관관계(Positive Correlation)로, 합류구간의 평균속도( $S_M$ )는 음의 상관관계(Negative Correlation)로 모형구축에 기여하고 있었으며, 그 외의 변수들도 속도변화의 정도에 따라 상관관계를 보이고 있었다. 지역별, 시간대별 속도변화모형은 Table 3.1과 같다.

#### 3.3 모형 검증

본 연구대상 고속도로의 합류구간에서 속도변화 추정모형의 검증을 위해  $\chi^2$ -test를 실시한 결과, 모든 지역에서 90%와 95%의 신뢰수준 하에 모형식에 의한 추정값과 실측값이 일치하는 것으로 나타났다. 또한, Paired t-test를 실시한 결과, 이들 두개의 대응값 사이에 상관계수는 0.95이상으로 높은

Table 3.1 Construction of Speed Variation Models

Period	Area	모형	R <sup>2</sup>	F-sig
24 Hour	Suburban	$-2.537+0.835 S_U-0.776 S_M+0.04384 F_U-0.0964 O_U+0.0393 V_{12}$	0.960	0.000
	Urban	$-5.622+0.738 S_U-0.617 S_M-0.0748 VR_{12}-0.071 O_U+0.124 F_M +0.0602 F_U$	0.936	0.000
Am Peak	Suburban	$-2.146+0.916 S_U-0.865 S_M$	0.996	0.000
	Urban	$-15.532+0.430 S_U+0.08861 VR_{12}-0.15 S_M$	0.959	0.000
Pm Peak	Suburban	$-17.734+0.255 S_U+0.09563 VR_{12}+0.08909 S_M$	0.944	0.000
	Urban	$-6.742+0.881 S_U-0.758 S_M+0.0785 O_U+0.0337 F_M$	0.979	0.000

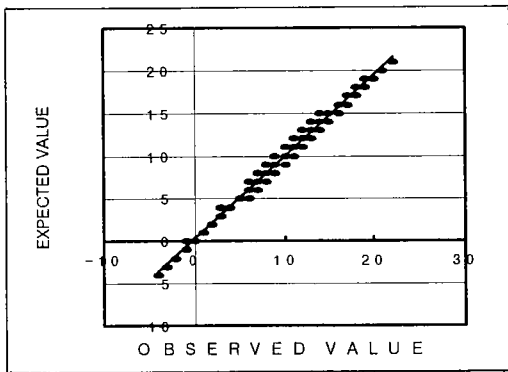


Fig. 3.1 Period I (Suburban)

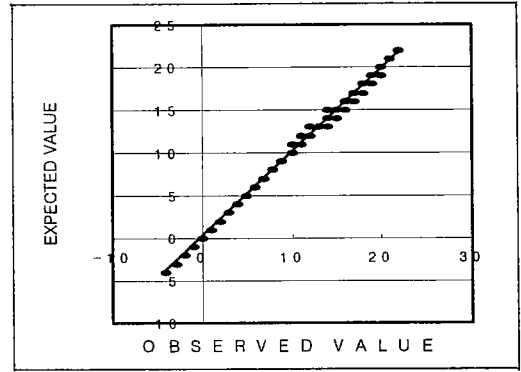


Fig. 3.3 Period II (Suburban)

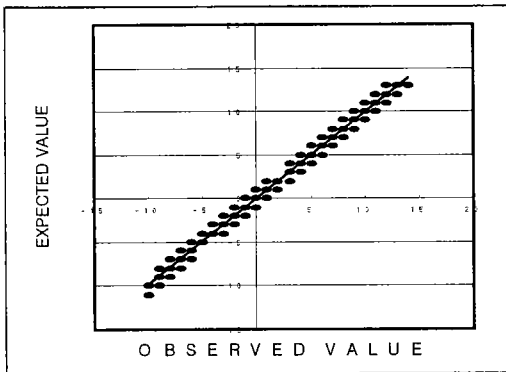


Fig. 3.2 Period I (Urban)

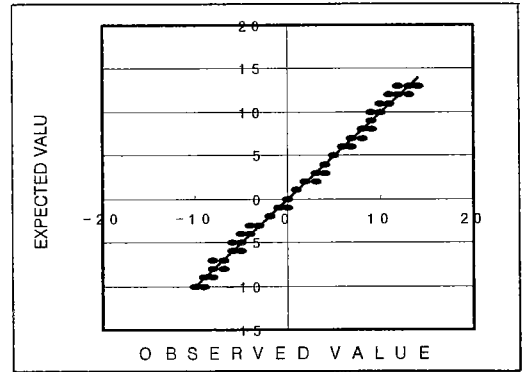


Fig. 3.4 Period II (Urban)



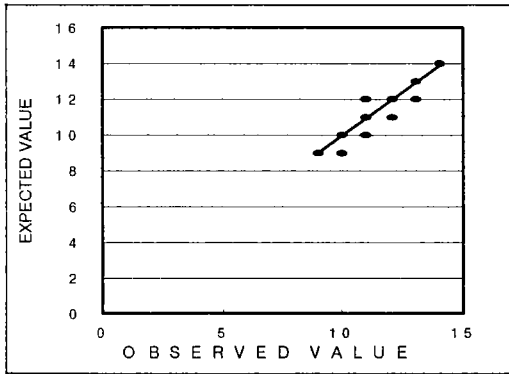


Fig. 3.5 Period III (Suburban)

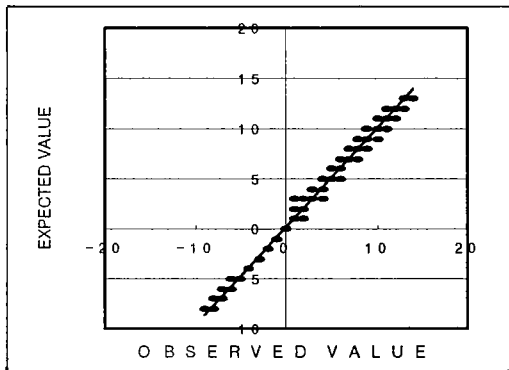


Fig. 3.6 Period III (Urban)

Table 3.2 Test of Models

Period	Area	$\chi^2$ -test			Paired $t$ - test		
		$\chi^2$ value	dof	C.F* (%)	상관 계수	$t$ - value	2-tail sig
24 Hour	Sub-Urban	23.9	20	90	0.998	3.9	0.000
	Urban	33.3	22	95	0.996	-3.0	0.003
Am Peak	Sub-urban	8.5	20	90	0.999	-5.1	0.000
	Urban	5.4	22	90	1	-0.9	0.387
Pm Pesk	Sub-urban	7.1	6	90	0.979	-9.0	0.000
	Urban	21.1	14	95	0.997	7.1	0.000

주) C.F\* = Level of Confidence

상관성을 보였으며, 유의수준은 지역별, 시간대별로 다양하게 분포되고 있는 것으로 분석되었다. 그리고, 도심지역에서의 검증결과가 부도심 지역에서의 검증결과보다 다소 높게 나타났고, 오전 출근 시간대에서의 검증결과가 그 외 시간대와 비교하여 설명력이 높은 것으로 분석되었다.(참조 Fig. 3.1, Fig. 3.2, Fig. 3.3, Fig. 3.4, Fig. 3.5, Fig. 3.6, Table 3.2)

#### 4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 고속도로 합류구간에서의 교통류 특성을 분석하고 이를 바탕으로 속도변화 추정모형을 구축하고 검증하고자 하였으며, 다음과 같은 연구결과를 얻을 수 있었다.

- i) 도심지역 고속도로상에서 속도변화는 오전 출근시간대, 오후 퇴근시간대 그리고 전일시간대에 약 3.2mph, 6.5mph, 7.4mph로 나타났으며, 부도심지역 고속도로에서는 각각 8.0mph, 11.1mph, 10.1mph로 나타났다.
- ii) 속도변화 추정모형에 있어서  $R^2$  값이 부도심 지역과 도심지역에서 0.9이상으로 나타남으로써 선택된 변수들이 모형구축에 높은 설명력을 나타내고 있었다. 특히, 상향류 속도( $S_U$ )와 합류구간 평균속도( $S_M$ )가 모형구축에 상대적으로 높게 기여하는 것으로 나타났고, 지역별, 시간대별로 구축된 모형에서 상향류 속도( $S_U$ )는 양의 상관관계로, 합류구간 평균속도( $S_M$ )는 음의 상관관계로 모형구축에 기여하고 있는 것으로 나타났다.
- iii) 고속도로 합류구간의 관리체계를 향상시키기 위해서는 고속도로의 교통류 특성을 지역별, 시간대별로 분류하여 속도변화에 대한 정보를 가변정보 신호표지판(CMS)에 제공하는 방안이

검토되어야 할 것이다.

- iv) 특히, 도심지역의 출·퇴근시간대와 부도심 지역의 출근시간대에 고속도로 본선 교통량과 진입램프 교통량의 집중으로 속도가 크게 감소하는 합류구간에서는 램프미터링시스템의 적용범위( $240\text{veh/h} \leq \text{램프교통량} \leq 900\text{veh/h}$ )내에서 램프교통량을 적절히 조절하는 램프미터링시스템의 설계시 속도변화에 대한 정보를 가변정보 신호표지판에 제공하여 지체와 사고를 감축시킬 수 있도록 고속도로 관리체계의 방안이 수립되어야 할 것이다.
- v) 반면에, 교통량의 집중정도가 상대적으로 낮은 도심지역의 비첨두시간대와 부도심지역의 출근시간대를 제외한 기타 시간대의 고속도로 합류구간에서는 램프미터링시스템 대신 가변정보 신호표지판에 지역별, 시간대별 속도변화에 대한 정보를 제공하여 고속도로의 차량들로 하여금 합류구간에서 최소한의 속도변화로 주행할 수 있도록 고속도로 관리체계의 방안이 검토되어야 할 것이다.
- vi) 향후, 보다 효과적인 고속도로 관리체계를 수립하기 위해서는 고속도로 합류구간에서 속도변화의 모형구축과 함께 실시간의 가변정보 신호표지(CMS)기법이나 램프미터링시스템이 연구되어질 필요가 있다.

끝으로, 본 연구는 미국 Michigan주의 Detroit지역을 대상으로 하여 모형을 구축하였기 때문에, 국

내 고속도로의 진입램프에 직접 적용하는 데에 모형의 수정이 요구될 수도 있겠으나, 국내 고속도로의 자료관측이 용이한 지역에 대해 모형을 구축하고자 할 때 필요한 변수선정과 모형의 형태를 미리 검토할 수 있다는 측면에서 의의가 있다고 할 수 있다.

## 참고문헌

- 1) Nick Thompson, ITS International, 1997.
- 2) Adolf D. May, Traffic Fundamentals, 1990, pp. 232~246.
- 3) James Robinson and Mark Doctor, Ramp Metering Status in North America, 1989.
- 4) Nicholas J. Garber and Surbhi T. Patel, Effectiveness of Changeable Message Signs in Controlling Speeds in Work zones, 1994.
- 5) 김상구, 고속도로 합류구간 교통특성 및 용량모형식 개발에 관한 연구, 1997.
- 6) 조영주, 동태적 교통정보를 이용한 고속도로 진입램프 제어계획에 관한 연구, 1994.
- 7) Daniel L. Gerlough and Mathew J. Huber, Traffic Flow Theory, 1975, pp. 49~66.
- 8) Highway Capacity Manual, Special Report 209, 1998, pp. 5-4~5-14.