

70mph 제한속도를 갖는 고속도로 연결로 접속부상에서의 속도추정모형에 관한 연구⁺

김 승 길* · 김 태 곤**

Construction of Speed Predictive Models on Freeway Ramp
Junctions with 70mph Speed Limit.

S. G. Kim · T. G. Kim

Key Words : Volume(교통량), Occupancy(점유율), Speed(속도), Freeway Ramp Junction(고속도로 연결로 접속부), Merge · Diverge Section(합류 · 분류구간), Stable Flow(안정류), Unstable Flow(불안정류), Speed Prediction Model(속도예측모형), Multiple Regression Model(다중회귀모형), Multicollinearity(다중공선성), Correlation Analysis(상관관계분석)

Abstract

From the traffic analyses, and model constructions and verifications for speed prediction on the freeway ramp junctions with 70mph speed limit, the following results were obtained:

i) The traffic flow distribution showed a big difference depending on the time periods. Especially, more traffic flows were concentrated on the freeway junctions in the morning peak period when compared with the afternoon peak period.

ii) The occupancy distribution was also shown to be varied by a big difference depending on the time periods. Especially, the occupancy in the morning peak period showed over 100% increase when compared with the 24hours average occupancy, and the occupancy in the

+ 본 연구는 1997년도 한국학술진흥재단의 대학교수 해외파견 연구지원에 따른 자료구축에 의해서 연구되었음.

* 정희원, 한국해양대학교 대학원 토목환경공학과

** 정희원, 한국해양대학교 공과대학 토목환경공학부 교수

afternoon peak period over 25% increase when compared with the same occupancy.

iii) The speed distribution was not shown to have a big difference depending on the time periods. Especially, the speed in the morning peak period showed 10mph decrease when compared with the 24hours' average speed, but the speed did not show a big difference in the afternoon peak period.

iv) The analyses of variance showed a high explanatory power between the speed predictive models(SPM) constructed and the variables used, especially the upstream speed.

v) The analysis of correlation for verifying the speed predictive models(SPM) constructed on the ramp junctions were shown to have a high correlation between observed data and predicted data. Especially, the correlation coefficients showed over 0.95 excluding the unstable condition on the diverge section.

vi) Speed predictive models constructed were shown to have the better results than the HCM models, even if the speed limits on the freeway were different between the HCM models and speed predictive models constructed.

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

오늘날 고도의 경제성장과 더불어 생활수준의 향상으로 인해 통행수요가 날로 증가하고 있는 상황에서 고속도로(Freeways)나 도시고속도로(Urban Freeway)는 지역간 또는 지역내 통행에 중추적인 역할을 담당하고 있고, 또한 화물수송에 있어서도 막대한 기여를 하고 있다. 특히 지역간 또는 지역내 상호연계체계를 구축함에 있어서 고속도로 연결로 접속부(Freeway Ramp Junction)는 매우 중요한 위치를 차지하고 있으나 우회도로와 서비스도로의 부족, 출퇴근시간대에 이용차량의 집중으로 인한 교통체증으로 고속도로 연결로 접속부상에서 심한 교통체증이 발생하고 있는 실정이다.

이러한 교통체증으로 고속도로나 도시고속도로의 경우 혼잡과 지체, 서비스 수준의 저하가 고속도로 연결로 접속부인 합류·분류구간(Merge·Diverge Section), 공사구간 등에서 주로 발생하고 있다. 이중 고속도로 연결로 접속부는 많은 엇갈림

현상이 발생하여 전체적으로 불안정한 교통류를 형성함으로써 사고의 위험이 높은 구간으로 고속도로 교통관리체계(Freeway Traffic Management System)를 증진시키는 측면에서 매우 중요한 관심 분야가 되고 있다. 그러나 국내의 경우 대다수의 연구들이 고속도로 연결로 접속부의 합류부 용량 산정을 하는 정도에 그치고 있으며, 고속도로 연결로 접속부에서 발생하는 지체나 통행속도, 밀도 등에 대한 연구가 거의 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 고속도로 연결로 접속부의 교통특성을 파악하고, 실시간 자료를 바탕으로 고속도로 연결로 접속부의 합류·분류구간 영향권에서 속도예측모형을 구축하며, HCM상의 속도모형과의 상호비교분석을 통해 보다 나은 속도예측모형을 제시하고자 하는데 있다.

1.2 기존 연구 고찰

본 연구와 관련된 문헌에 있어서, 1998년 HCM¹⁾(Highway Capacity Manual)모형에서는 모형구축을 위해서 유입·유출 연결부에 의한 합류

·분류구간의 영향권(Merge·Diverge Influence Area)을 노즈부(Nose)를 기준으로 1500ft로 설정하고 이 영향권에서 밀도예측모형과 속도예측모형을 설정하였으며, 일차적인 서비스 수준의 기준으로 밀도 예측모형을 제시하였고, 부가적인 서비스 수준으로 속도 예측모형을 제시하였다. 또한 연결로 접속부 영향권에서 밀도 및 속도 예측시 연결로 접속부의 합류·분류 차량에 의한 실제적인 본선차량의 영향을 고려하기 위하여 본선 외측의 1, 2차선교통량(V_{12})예측모형을 제시하였으며, 이 예측모형은 본선의 차선 수 및 인접 연결로 접속부 형태에 따라 조금씩 달리 제시하고 있다. 게다가 가속 및 감속차선의 길이도 밀도 및 속도 예측모형에 새로이 추가되어 실제상황을 정확히 반영하려 하였다.

우리 나라 도로용량편람²⁾(6장)에서는 연결로 접속부 분석과정으로 1985년 HCM³⁾의 분석방법론을 근간으로 하고 있으며, 이는 국내의 차선운행 등의 접속운행특성과 운전자의 운전습관 등을 바탕으로 하여 확인점에서 본선 접속차선 교통량(V_1)예측모형 및 서비스 수준을 평가하기 위한 효과적으로 합류·분류부의 최대서비스교통량을 우리실정에 맞게 수정하여 제시하고 있다. 그러나 우리 나라의 분석방법은 독립된 유입·유출부만을 대상으로 조사가 이루어 졌으며, 독립된 연결로 접속부 이외의 형태에 관한 적용지침에 대해서는 1985년 HCM을 따르도록 규정하고 있다.

Douglas W. Harwood과 J. M. Mason, JR⁴⁾은 램프와 본선구간의 속도관계와 설계연구에서 본선구간과 램프상의 속도 차로 인해서 고속도로 연결로 접속부인 합류·분류구간에서의 추돌 및 충돌사고를 줄이기 위해서 기하구조의 설계변경과 함께 속도상황판(Advisory speed signing)을 포함한 교통통제장치를 설치하여 감속유도의 필요성을 강조하였다. 또한 Nicholas J. Garber와 Surbhi T. Patel⁵⁾은 작업구간내 속도통제에 관한 가변정보신호판(Changeable Message Signs : CMS)의 효과 연구에서 작업구간내에서 사고를 줄이기 위해서는 실

시간 자료를 바탕으로 한 속도예측모형으로 공사지역내의 속도를 CMS에 사전에 예고해줌으로써 감속효과를 기대할 수 있다고 제시하였다.

신치현⁶⁾은 가속차선이 합류구간의 연결로 전체의 운영에 미치는 영향을 수치화하고 체계적으로 평가하기 위해서 미국의 6차선 고속도로에서 다양한 현장조사자료를 바탕으로 한 실험적 연구를 실시하였다. 그 결과 가속차선이 고속도로 합류구간의 연결로 운영에 미치는 영향의 분석을 통해서 다중회귀모형을 구성하는 독립변수로 가속차선의 길이를 사용하는 것이 타당하다는 결론과 함께 합류구간 운영의 질인 속도를 추정하기 위한 모형을 수립하여 제시하였다. 또한 교통운영과 흐름방식에 유사한 엇갈림 구간(Weaving Section)의 분석방법과 일관성 있는 분석체계 마련을 위해서 서비스수준 산정절차 정립에 엇갈림 알고리즘(Weaving Algorithm)을 활용하는 방안을 제시하였다.

김상구⁷⁾는 고속도로 합류부의 합류교통량 평가에 관한 연구에서 선형회귀 모형식을 사용하여 본선교통량과 연결로 교통량의 상호관계를 제시하였고, 합류 교통량에 대하여 연결로 교통량이 본선교통량보다 더 많은 영향을 나타내는 것으로 분석하여 보다 나은 고속도로 합류부 운영에 대한 방안을 제시하였다. 그리고 장재남과 장명순⁸⁾은 고속도로 연속유입연결로 접속단간의 이격거리 설계기준에 관한 연구에서 안정류(Stable Flow)를 기준으로 2개지점에서 연속된 유입연결로 구간의 본선 접속차선에서의 속도예측모형(85%속도, 50%속도, 85%속도비, 50%속도비)개발을 통해서 연속유입연결로 접속단간의 이격거리에 대한 새로운 설계기준을 제시하였다.

1.3 자료수집 및 분석방법

본 연구에서는 미국 Michigan주 Detroit지역을 동서방향으로 가로지르는 I-94(Interstate Freeway)상에서 1997년 1월에서 8월까지 매 1분단위의 실시간으로 관측된 18개 지점(Station)을 중심으로

교통특성분석과 속도예측모형 구축을 실시하였고, 구축된 모형을 실측자료와 비교분석을 통해 검증 을 실시하였으며, 또한 구축된 모형과 HCM모형과 의 상호비교분석을 실시하였다.

특히 교통특성분석과 모형구축을 위해 MS Office 97과 SAS Version 6.12 그리고 실시간 자료 (Real-time Data)가 함께 사용되었다.

2. 교통특성분석

본 연구대상 고속도로의 개략적인 개념도는 Fig. 1에서 나타남바와 같고, 고속도로 합류구간과 분류 구간의 상향류 검지기상에서 관측된 속도, 점유율 및 교통량 그리고 상·하향류 검지기로부터 산정 된 유입·유출 연결로 교통량과 합류·분류구간 영향권에서의 속도를 중심으로 한 전일시간대 (00:00~24:00 : Period I), 오전 출근시간대(06:30~09:00 : Period II), 오후퇴근시간대(15:30~18:00 : Period III)로 분류하여 분석을 실시하였다.

또한, 본 연구대상 고속도로의 합류·분류구간에 서의 기하구조 특성은 다음과 같다.

상향류와 하향류 검지기점사이의 길이	: 1/3mile
고속도로와 연결로의 차선폭	: 12ft
고속도로 본선구간의 차선수	: 3차선
유입·유출 연결로의 차선수	: 1차선
고속도로 본선구간의 제한속도	: 70mph
연결로의 제한속도	: 25mph
연결로의 길이	: 1000ft
연결로의 형태	: 독립된 유입·유출 연결로

2.1 교통량 분석

교통량(Volume)은 단위시간간격동안 검지기를 통과한 차량의 수를 의미하며, 대체적으로 교통량 단위는 vehicle per hour(vph)로 표현된다.

본 연구대상 고속도로의 합류·분류구간을 중 심으로 실시간에 의해 관측된 상향류 교통량 (Upstream Volume)특성을 살펴보면, 전일시간대 를 기준으로 분류구간의 교통량이 합류구간의 교 통량보다 약 11.54% 높게 나타났다. 특히 전일시 간대에 비해서 오전 출근시간대에 합류·분류구간 에서 교통량이 많이 집중하고 있었고, 오후 퇴근 시간대에는 오전 출근시간대에 비해서 상대적으로 낮은 집중률을 나타내고 있었다.(참조 Table 1, Fig. 2)

또한 합류·분류구간내 유입·유출 연결로의 교 통량(Entrance·Exit Ramp Volume)은 다음과 같 이 산정하여 자료에 추가하였다.

$$V_{MR} = V_D - V_U \quad (2.1)$$

$$V_{DR} = V_U - V_D \quad (2.2)$$

여기서, V_{MR} : 합류구간 유입연결로 교통량(vpm)

V_{DR} : 분류구간 유출연결로 교통량(vpm)

V_U : 상향류 교통량(vpm)

V_D : 하향류 교통량(vpm)

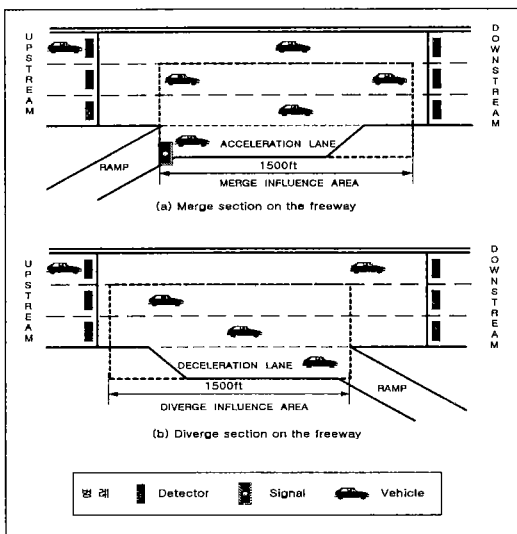


Fig. 1 Ramp junctions on the freeway

합류·분류구간내 유입·유출 연결로의 실시간

교통량 특성을 살펴보면, 전일시간대를 중심으로 분류구간의 유출 연결로 교통량보다 합류구간의 유입 연결로 교통량이 약 28.53% 높게 나타났다.

Table 1 Traffic volume shifts depending on the periods(vph)

Area	24 Hours Average Volume	Peak period volumes			
		Am Peak	Change (%)	Pm Peak	Change (%)
Upstream Volume					
Merge	2,573	4,566	77.46	3,383	31.48
Diverge	2,870	4,837	68.54	3,813	32.86
Entrance · Exit Ramp Volume					
Merge	333	399	19.82	503	51.05
Diverge	238	409	71.85	348	46.22

그리고 출·퇴근시간대 유입 연결로 교통량은 전일시간대에 비해서 더 많은 교통량이 집중하는 것으로 나타났다.(참조 Table 1, Fig. 3)

2.2 점유율 분석

점유율(Occupancy)은 차량이 고속도로 검지기 상에서 머무르는 시간의 비율로서, 관측시간동안 각각의 개별차량에 대해서 차량의 속도, 차량의 길이, 그리고 검지기의 길이를 이용하여 검지기상에서 차량이 점유한 시간을 나타내며, 그 단위는 퍼센트(%)로 표현된다. 그리고 관계식⁹⁾(2. 1)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\varnothing = \frac{\sum_i (L_i + d) / u_i}{T} \quad (2.3)$$

여기서, \varnothing : 점유율(%)

u_i : 차량의 속도(mph)

L_i : 차량의 길이(ft)

d : 검지기의 길이(ft)

T : 특정시간간격(hour or min)

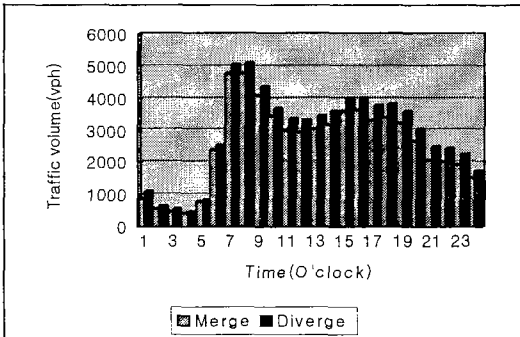


Fig. 2 Upstream volume distributions

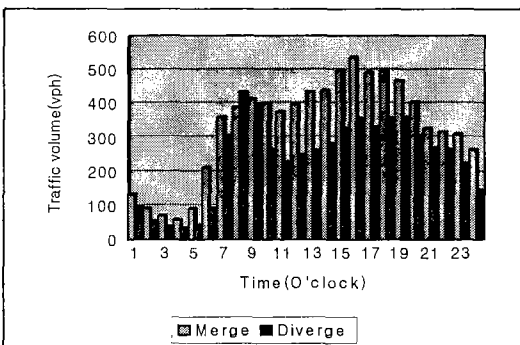


Fig. 3 Ramp volume distributions

본 연구대상 고속도로의 합류·분류구간을 중심으로 실시간에 관측된 상향류 점유율(Upstream Occupancy)특성은 시간대별로 많은 차이가 있는 것으로 나타났다. 특히 전일시간대를 중심으로 합류구간과 분류구간의 점유율이 유사하게 나타났으며, 출근시간대에는 합류·분류구간에서 100%이상의 높은 점유율 증가를 나타낸 반면에 퇴근시간대에는 합류·분류구간에서 약 25%정도의 낮은 증가율이 나타났다.(참조 Table 2, Fig. 4)

2.3 속도 분석

속도(Speed)는 차량이 단위시간당 주행거리로서 그 단위는 mile per hour(mph) 또는 kilometer per hour(kph)로 표현된다.

Table 2 Occupancy shifts depending on the periods(%)

Area	24 Hours Average Occupancy	Peak period occupancy			
		Am Peak	Change (%)	Pm Peak	Change (%)
Upstream Occupancy					
Merge	4.41	11.17	153.29	5.59	26.76
Diverge	4.76	10.52	121.01	6.09	27.94

S_U : 상향류 속도(mph)

S_D : 하향류 속도(mph)

합류·분류구간 영향권에서의 속도특성을 살펴 보면 시간대별 속도특성의 경우 상향류 교통특성과 거의 유사하게 나타났지만, 상향류의 속도 특성과 비교해 보면, 합류구간영향권의 경우 연결로를 통해서 본선구간에 유입되는 차량의 영향으로 인해서 영향권 상에서 속도가 약 1.5mph정도 감속하는 경향을 나타낸 반면에, 분류구간영향권의 경우 본선구간의 차량이 진출램프로 진입하기 위해서 상향류 상에서 속도를 약 3.7mph정도 감속하는 경향을 나타냈다.(참조 Table 3, Fig. 5, Fig. 6)

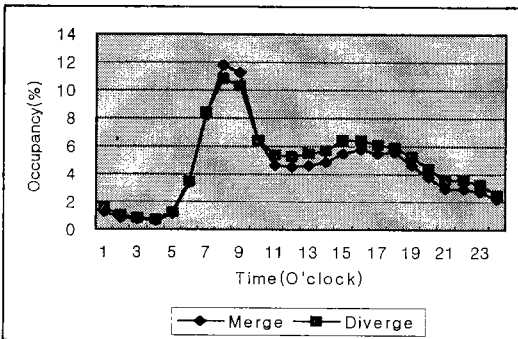


Fig. 4 Occupancy distributions

본 연구대상 고속도로의 합류·분류구간을 중심으로 실시간에 관측된 상향류 속도(Upstream Speed)특성을 살펴보면, 전일시간대를 중심으로 합류구간의 속도와 분류구간의 속도가 거의 유사하게 나타났다. 특히 출근시간대의 경우 전일시간대에 비해 약 10mph정도의 속도차가 나타났고, 퇴근시간대의 경우 전일시간대에 비해 상향류 속도의 변화가 거의 없는 것으로 나타났으며, 합류·분류구간 영향권에서의 속도는 상향류와 하향류의 속도를 사용하여 다음과 같이 산정하였다.

$$S_{MI}, S_{DI} = \frac{S_U + S_D}{2} \quad (2.4)$$

여기서, S_{MI} : 합류구간영향권 통행속도(mph)

S_{DI} : 분류구간영향권 통행속도(mph)

Table 3 Speed shifts depending on the periods(mph)

Area	24 Hours Average Speed	Peak period speed			
		Am Peak	Change (%)	Pm Peak	Change (%)
Upstream Speed					
Merge	70.43	58.70	-16.65	71.26	1.18
Diverge	68.80	59.82	-13.05	69.38	0.84
Merge · Diverge Influence Area Speed					
Merge	69.12	57.26	-17.16	70.30	1.71
Diverge	72.46	60.39	-16.66	73.50	1.44

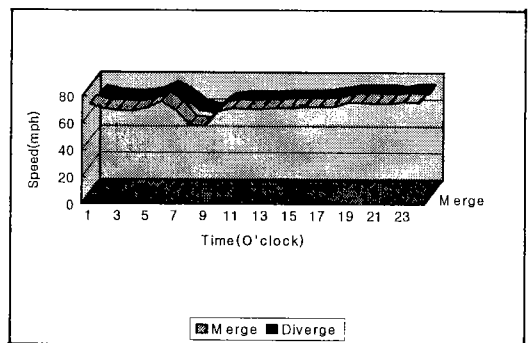


Fig. 5 Upstream speed distributions

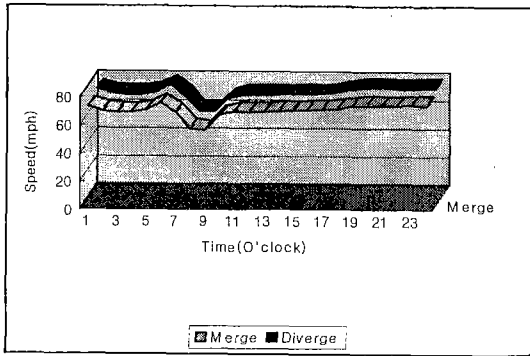


Fig. 6 Merge · Diverge Influence area speed distributions

3. 모형 구축 및 검증

본 연구대상 고속도로의 합류·분류구간 교통 특성분석을 바탕으로 합류·분류구간 영향권에서 교통량과 속도관계를 살펴본 결과, 65~70mph 정도에서 교통류 상태가 안정류(Stable Flow)와 불안정류(Unstable Flow) 상태로 분류되었다. 따라서 속도예측 모형을 구축하는데 있어서 합류구간 영향권의 경우 안정류와 불안정류 기준을 65mph에서 구분하였고, 분류구간 영향권에서는 70mph에서 구분하여 모형을 구축·검증하였다. 그리고 합류·분류구간 영향권에서 교통량과 속도관계를 살펴보면 다음과 같은 전형적인 상태를 나타냈다.(참조 Fig. 7, Fig. 8)

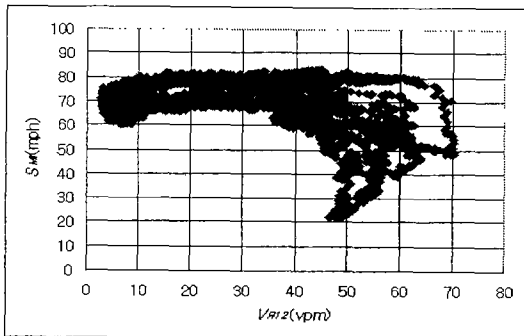


Fig. 7 Relationship between S_{MI} and V_{R12} in merge influence area

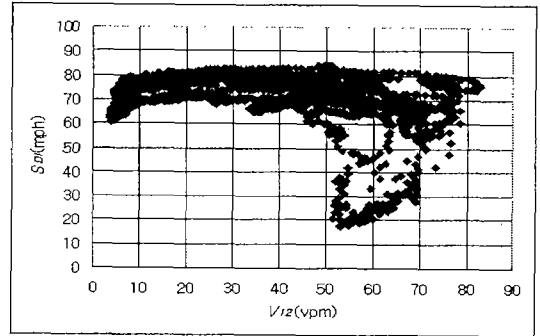


Fig. 8 Relationship between S_{DI} and V_{I2} in diverge influence area

3.1 구축 방법

본 연구대상 고속도로의 합류·분류구간 영향권에서 속도예측모형구축을 위해서 사용된 변수들은 다음과 같다.

(1) 합류구간 영향권의 경우

- S_{MI} : 합류구간 영향권 통행속도(mph)
- V_U : 상향류 교통량(vpm)
- O_U : 상향류 점유율(%)
- S_U : 상향류 속도(mph)
- V_{MR} : 유입 연결로 교통량(vpm)
- V_{R12} : 합류구간 영향권에서의 교통량
($V_R + V_{I2}$)(vpm)

(2) 분류구간 영향권의 경우

- S_{DI} : 분류구간 영향권 통행속도(mph)
- V_U : 상향류 교통량(vpm)
- O_U : 상향류 점유율(%)
- S_U : 상향류 속도(mph)
- V_{DR} : 유출 연결로 교통량(vpm)
- V_{I2} : 본선 외측 1, 2차선 교통량(vpm)

본 연구에서는 위의 변수들과 함께 다중회귀모형(Multiple Regression Model)의 구축에서 발생할 수 있는 다중공선성(Multicollinearity)의 문제를 해

결하기 위해서 개개의 변수 중 설명력이 높은 변수를 단계적으로 선택하는 Stepwise Regression Method⁴⁾을 사용하여 변수를 선택하였으며, 선택된 변수를 바탕으로 보다 정확한 모형의 적합성을 판단하기 위해서 다중공선성 진단과 잔차분석을 실시하였다. 또한, 실측자료와 구축된 모형으로부터 추정된 자료를 바탕으로 구축된 모형이 실제상황에서 발생하는 현상들을 정확히 나타내는지를 판단하기 위하여 통계적 검정법인 t -검정법, χ^2 -검정법 등을 적용하여 모형을 검증 해야하나 본 연구에서는 검증방법으로 상기의 통계적 방법을 사용하지 않고, 관측치와 예측치간의 상관관계분석을 통해서 모형을 검증하였다.

3.2 모형 구축

본 연구대상 고속도로 합류·분류구간 영향권에서 안정류와 불안정류 속도예측모형의 분산분석(ANOVA)결과 유의확률이 안정류와 불안정류상태 모두 거의 0.000으로 회귀식이 의미가 있는 것으로 나타났다. 또한 결정계수 (R^2)값들은 합류구간 영향권의 안정류 상태에서는 0.888, 불안정류 상태에서는 0.982를 나타냄으로써 선택된 독립변수들이 모형구축에 높은 설명력을 나타낸 반면, 분류구간

영향권의 안정류 상태에서는 0.622, 불안정류 상태에서는 0.851로 나타남으로써 합류구간 영향권에서 보다 설명력이 낮게 나타났다. 그리고 개별독립변수들간의 유의성을 검증한 결과 선택된 독립변수들이 통계적으로 유의한 것으로 나타났으며, 합류·분류구간 영향권에서의 안정류와 불안정류상태에서 모형구축에 기여도가 가장 높은 변수로는 상향류 속도 (S_U)로 나타났다. 또한 회귀계수부호를 살펴보면 합류구간 영향권의 경우 안정류 상태 하에서는 합류구간 영향권상의 교통량이 증가함에 따라 속도가 감소하는 '-'부호를 나타냈고, 불안정류 상태 하에서는 합류구간 영향권상의 교통량이 증가함에 따라 속도가 증가하는 '+'부호를 나타냄으로써 회귀계수의 부호가 실제현상에 부합되며 합리적인 것으로 판단되었고, 합류·분류구간 영향권 상에서 모형구축에 포함된 모든 독립변수들이 종속변수와 인과관계가 있는 것으로 나타났다. (참조 Table 4)

3.3 모형 검증

본 연구대상 고속도로 합류·분류구간영향권에서 속도예측모형을 검증하기 위해서 실측자료와 예측자료간의 상관관계분석(Correlation Analysis)

Table 4 Speed prediction models constructed

Condition	Area	Model	R^2	Prob>F	DW 값
Stable	Merge	$S_{MI} = 18.573419 - 0.337019O_U + 0.746461S_U - 0.007668V_{R12}$ (0.0001) (0.0001) (0.0001) (0.0113)	0.888	0.000	2.024
	Diverge	$S_{DI} = 22.370200 + 0.717820S_U - 0.022322V_{DR} + 0.025580V_{12}$ (0.0001) (0.0001) (0.0001) (0.0001)	0.622	0.000	2.115
Unstable	Merge	$S_{MI} = 5.196633 - 0.060750V_U + 0.832921S_U + 0.153383V_{R12}$ (0.0001) (0.0001) (0.0001) (0.0001)	0.982	0.000	1.691
	Diverge	$S_{DI} = 6.336674 + 0.824841S_U - 0.214237V_{DR} + 0.090928V_{12}$ (0.0167) (0.0001) (0.0001) (0.0001)	0.851	0.000	1.803

주4) ($P > |t|$) = (P-value), 주5) DW 값 = Durbin-Waston 값

주3) 회귀모형의 적합도를 증가시킬 수 있는 변수를 추가시키기도 하고, 일단 모형에 추가되었다 할지라도 모형의 적합도에 도움이 안되는 변수를 삭제하는 방법이다.

을 한 결과, 분류구간 영향권의 불안정류상태를 제외한 나머지 합류·분류구간 영향권에서 모두 약 0.95 이상의 높은 상관관계를 나타냈다.(참조 Table 5)

Table 5 Correlation coefficients of depending on testing the periods

Condi- tion 통계량	Stable condition		Unstable condition	
	Merge	Diverge	Merge	Diverge
R	0.9494	0.9751	0.9922	0.8665

주6) R = Correlation coefficient

4. 모형간의 비교분석

본 장에서는 합류·분류구간 영향권의 안정류상태 하에서 실제 현장에서 관측된 자료가 구축된 모형과 HCM모형에서 어느 정도 설명력을 나타내는지를 알아보기 위해 동일한 기하구조조건상태하에서 실측치 자료를 사용하여 상호 비교분석을 실시하였다.

본 연구에서 적용한 1998년 HCM 속도모형식은 안정류상태 하에서 합류·분류구간 영향권의 속도 예측모형 식으로 다음과 같다.

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

$$S_{DI} = S_{FF} - (S_{FF} - 42)D_S \quad (2.3)$$

여기서,

S_{MI} : 합류구간 영향권 통행속도(mph)

S_{DI} : 분류구간 영향권 통행속도(mph)

S_{FF} : 고속도로의 자유흐름속도(mph)

M_S : 합류강도계수

$$M_S = 0.321 + 0.0039e^{(v_{R12}/1,000)} - 0.002\left(\frac{L_A S_{FR}}{1,000}\right)$$

D_S : 분류강도계수

$$D_S = 0.883 + 0.00009 V_R - 0.013 S_{FR}$$

L_A : 가속차선의 길이(ft)

V_{I2} : 본선의측 1, 2차선 교통량(vpm)

V_{MR}, V_{DR} : 진입램프와 진출램프 교통량(vpm)

S_{FR} : 램프구간의 자유흐름 속도 (mph)

V_{R12} : 합류구간 영향권에서의 교통량

$$(V_R + V_{I2})(vpm)$$

4.1 평가방법 선정

본 연구에서는 모형평가를 위해서 통계적 검정법인 t -검정법, χ^2 -검정법 등을 적용하여 모형을 평가할 수도 있으나 본 모형의 평가에서는 검증방법으로 상기의 통계적 방법을 사용하지 않고, 실제 관측치에 대한 통계량과 두 모형 즉 예측모형과 HCM모형의 통계량을 계산하여 통계량을 비교하는 방법을 사용하였다. 주로 이러한 목적에 사용되는 통계량으로는 표본평균(sample mean), 표본분산(sample variance), 그래프 등이 있다.

4.2 비교평가

본 연구에서는 합류·분류구간 영향권의 안정류상태 하에서 관측된 현장의 실측치와 예측모형, 실측치와 HCM모형에 대해서 상기 제시된 통계량(표본평균, 표본분산)을 비교평가 하였다. 합류구간 영향권의 경우 HCM모형으로 추정된 속도는 실측치 속도보다 약 8mph정도 낮게 나타났고, 예측모형의 경우에는 실측치와 거의 유사한 값으로 나타났다. 또한 분류구간 영향권에서도 합류구간 영향권에서와 같은 유사한 패턴을 보였다. 또한 예측모형은 합류·분류구간 영향권에서 대략 0.24~0.4%정도의 오차를 보여줌으로써 비교적 현실에 적합한 결과를 나타낸 반면에, HCM모형은 합류구간 영향권에서는 10%정도, 분류구간영향권에서는 27%정도의 오차를 나타내고 있어 예측모형이 상대적으로

높은 예측능력을 갖고 있는 것으로 나타났다. 그러나 HCM모형과 예측모형사이에 상대적으로 높은 오차가 발생하게 되는 이유는 HCM모형이 대체적으로 65mph나 그이하의 제한속도 상황이기 때문인

반면 예측모형의 자료는 70mph의 제한속도이기 때문에 다소의 여건차이가 있는 것으로 판단되어진다.(참조 Table 6, Fig. 9~Fig. 10)

Table. 6 실측치와 모델들(SPM, HCM)간의 기초통계량 비교

통계량		Condition	Stable condition	Unstable condition		
Merge	표본 평균	SPM①	69.882	50.638		
		HCM②	62.452	-		
		실측치③	70.164	49.813		
		Ratio(①/③)	99.60%	101.66%		
		Ratio(②/③)	89.01%	-		
	표본 분산	SPM④	6.195	21.993		
		실측치⑤	7.654	29.868		
		Ratio(④/⑤)	80.94%	73.63%		
		Diverge	표본 평균	SPM①	75.015	68.011
				HCM②	55.382	-
실측치③	75.192			69.328		
Ratio(①/③)	99.76%			98.10%		
Ratio(②/③)	73.65%			-		
표본 분산	SPM④	3.920	11.839			
	실측치⑤	6.126	27.728			
	Ratio(④/⑤)	64.00%	42.70%			

주7) SPM : Speed predictive Model

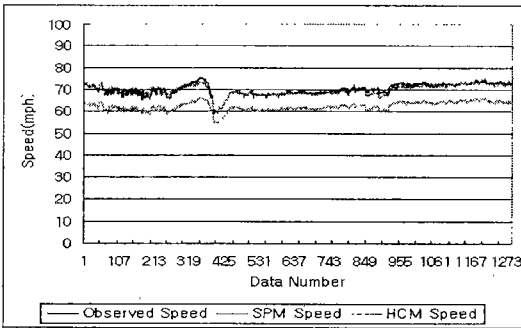


Fig. 9 Comparison of observed and models(SPM, HCM) under stable condition in merge influence area

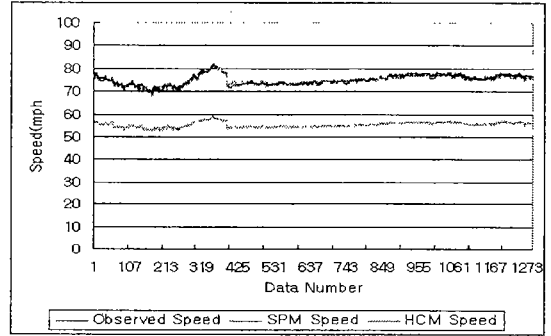


Fig. 10 Comparison of observed and models (SPM, HCM) under stable condition in diverge influence area

5. 결론 및 향후 연구과제

결론

본 연구대상 고속도로의 합류·분류구간상의 교통특성분석과 속도예측 모형구축 및 검증을 통해서 다음과 같은 결론에 도달하게 되었다.

i) 교통량 분포는 시간대별로 많은 차이를 보이고 있었으며, 특히 오전 출근시간대에는 오후 퇴근시간대에 비하여 교통량 집중이 상대적으로 높게 나타났다.

ii) 점유율분포 역시 시간대별로 많은 차이를 보이고 있었으며, 특히 오전 출근시간대에는 전일시간대에 비하여 100%이상의 점유율 증가를 보였고, 오후 퇴근시간대에는 약 25%정도의 점유율 증가를 보임으로써 고속도로의 차량이 상대적으로 오전 출근시간대 집중하고 있음을 알 수 있었다.

iii) 속도의 분포는 시간대별로 많은 차이를 보이지 않았으며, 다만 오전 출근시간대에 약 10mph의 감속을 보였고, 오후 퇴근시간대에는 별다른 감속

을 보이지 않았다.

iv) 합류·분류구간 영향권에서 속도예측모형에 대한 분산분석(ANOVA)을 실시한 결과 유의확률이 거의 0.000정도로 회귀식이 의미가 있는 것으로 나타났다, 상향류 속도(S_{up})를 포함하여 모형구축에 사용된 변수들의 높은 설명력을 확인할 수 있었다.

v) 합류·분류구간 영향권에서 속도예측모형에 대한 검증을 위해 상관관계분석을 실시한 결과, 분류구간 영향권의 불안정류상태를 제외한 나머지 합류·분류구간 영향권에서 상관계수가 0.95이상 나타남으로써 모형으로 예측한 자료와 실측자료 사이에 높은 상관관계를 확인할 수 있었다.

vi) 합류·분류구간 영향권에서 HCM모형과 속도예측모형과의 상호 비교평가를 실시한 결과, HCM모형에 비하여 속도예측모형이 상대적으로 적합한 결과를 보여주었다. HCM모형이 65 mph나 그이하의 제한속도(speed limit)하의 모형에서 구축된 모형으로 안정류와 불안정류의 기준이 42 mph로 설정된 것에 비하여 속도예측모형은 70 mph의 제한속도를 갖는 상황하에서 안정류와 불안정류의 기준이 HCM모형에 비해서 다소 상향될 수 있음을 알 수 있고, 속도예측모형은 0.24~0.4%내외의 오차범위 내에서 적합한 기대치가 예측되는 것으로 나타났다.

향후 연구과제

i) 지금까지 고속도로 합류·분류구간의 속도 추정을 위한 HCM모형은 제한속도가 65mph이내에서 이용되었으나, 현재 미시간 주에서는 미국 내에서 유일하게 70mph의 제한속도로 고속도로를 운영하고 있다.

따라서, 본 연구결과는 향후 고속도로의 제한속도 상황에 따른 고속도로 관리체계의 변화에 관한 연구를 위해 상당한 기여를 할 것으로 사려되어지며, 또한 본 연구에서 구축된 속도예측모형이 이와 유사한 기하구조조건과 교통특성을 가지는 지역에서 사용된다면 고속도로 합류·분류구간 영향

권상의 운영의 질을 평가할 수 있는 효과적으로 사용되어질 수 있을 것으로 사려되어진다.

마지막으로 본 연구는 독립된 유입·유출 연결로만을 대상으로 연구가 수행되었기 때문에 다양한 기하구조특성을 고려하지 못하고 있으므로 향후 다양한 기하구조 특성을 고려한 연결된 유입·유출 연결로에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 생각되어진다.

참고문헌

- 1) TRB, Highway Capacity Manual, Special Report 209, Washington. D. C., 1998, pp. 5-1~5-14
- 2) 건설부, 도로용량편람, 1992, pp. 197~235
- 3) TRB, Highway Capacity Manual, Special Report 209, Washington. D. C., 1985, pp. 5-1~5-16
- 4) TRB, Ramp/Mainline Speed Relationships and Design Considerations, TRR1385, Washington. D. C., 1993
- 5) Nicholas J. Garber and Surbhi T. Patel, Effectiveness of Changeable Message Signs in Controlling Speed in Work Zones, 1994
- 6) 신치현, 고속도로 연결로 접속부에서의 속도 추정모형, 대한교통학회지 제13권, 제3호, 1995
- 7) 김상구, 고속도로 합류구간 교통특성 및 용량 모형식 개발에 관한 연구, 1997
- 8) 장재남·장명순, 고속도로 연속 유입연결로 접속단부의 이격거리 설계기준에 관한 연구, 대한교통학회지 제14권 제3호, 1996
- 9) TRB, Traffic Flow Theory, Special Report 165, Washington. D. C., 1997, pp. 2-1~2-32
- 10) 김충련, SAS라는 통계상자, 데이터 리서치, 1996, pp. 247~298
- 11) 김종섭, SAS(Windows)를 이용한 통계자료분석방법, 학문사, 1998, pp. 317~372