공학석사 학위논문

고속도로 진출입램프 접속부상의 지체예측모형 구축에 관한 연구

Construction of Delay Predictive Models on Freeway Ramp Junctions

지도교수 金 殆 坤

2000년 2월

한 국 해 양 대 학 교 대 학 원

토 목 환 경 공 학 과 金 廷 勳

Construction of Delay Predictive Models on Freeway Ramp Junctions

Jeoung Hun, Kim

Department of Civil and Environmental Engineering,
Graduate School, Korea Maritime University, Pusan Korea

ABSTRACT

Today freeway is experiencing a severe congestion with incoming or outgoing traffic through freeway ramps during the peak periods. Thus, the purpose of this study is to identify the traffic characteristics, analyze the relationships between the traffic characteristics and finally construct the delay predictive models on the ramp junctions of freeway with 70 mph speed limit.

From the traffic analyses, and model construction and verification for delay prediction on the ramp junctions of freeway, the following results were obtained :

i) Traffic flow 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 also showed a big difference depending on the time periods, and the downstream occupancy(O_d) was especially shown to have a higher explanatory power for the delay predictive model construction on the ramp junctions of freeway.

iii) The delay-occupancy curve showed a remarkable shift based on the occupancies observed : $O_d < 9\%$ and $O_d \geq 9\%$. Especially, volume and occupancy were shown to be highly explanatory for delay prediction on the ramp junctions of freeway under $O_d \geq 9\%$, but lowly for delay prediction on the ramp junctions of freeway under $O_d < 9\%$. Rather, the driver characteristics or transportation conditions around the freeway were thought to be a little higher explanatory for the delay prediction under $O_d < 9\%$.

iv) Integrated delay predictive models showed a higher explanatory power in the morning peak period, but a lower explanatory power in the non-peak periods.

목 차

LIST OF TABLES

LIST OF FIGURES

NOMENCLATURE

ADT	Average daily traffic
d	The length of a detector itself
D_a	Approach delay on freeways in *min/veh*
k	Density in *veh/mile*
L	Average length of vehicles
L_i	The length of a vehicle
O_d	Occupancy on downstream in *%*
O_u	Occupancy on upstream in *%*
P	Set-up point
q	Flow rate in *veh/hr*
S_d	Speed on downstream in *mile/hr*
S_{ff}	Free flow speed on freeways in *mile/hr*
S_m	Average speed of upstream and downstream in *mile/hr*
S_u	Speed on upstream in *mile/hr*
T	A specific time interval, normally 1 minute
u_i	A vehicle's speed in *mile/hr*
V_d	Downstream traffic volume in *veh/min*
V_{fr}	Outflowing traffic volume out of an off-ramp junction in *veh/min*
V_{or}	Inflowing traffic volume into an on-ramp junction in *veh/min*
V_r	Inflowing or outflowing traffic volume on an ramp junction in *veh/min*
V_u	Upstream traffic volume in *veh/min*
Φ	Occupancy in *%*

1 서 론

1.1 연구배경

오늘날 고속도로는 지역간 연계교통체계에 있어서 중추적인 역할을 수행하고 있으며, 개인교통수단의 이동성(mobility) 향상과 화물교통수단의 수송능력 증진에 많은 기여를 하고 있다. 그러나, 지속적인 고속도로의 신설 및 확장에도 불구하고 날로 통행량이 증가함에 따라 대부분의 고속도로에서 교통체증이 발생하고 있고, 또한 지역간 교통체계로서의 기능마저 점점 저하되고 있다.

더구나, 새로운 고속도로의 건설이나 확충에는 막대한 비용과 예산이 소요되기 때문에 고속도로의 교통체증을 해결하는 데에는 여러 가지 한계에 직면해 있고, 지역별 토지이용(land use)의 특성이 날로 급변함에 따라 고속도로의 통행수요가 급격히 증가함으로써 고속도로의 교통체증(traffic congestion)은 한층 가중되고 있는 상황이다.

1.2 연구의 필요성과 목적

일반적으로 고속도로에서는 통행량의 증가나 일시적인 병목현상으로 인하여 대부분의 운전자가 희망속도(desired speed)보다 낮게 주행하게 되고, 또한 특정 시간대에 통행량의 과다한 진·출입으로 총통행시간이 증가함으로써 교통체증이 발생하게 된다. 그러나, 그 중에서도 진입도로를 통하여 고속도로에 차량이 과다하게 유입되거나, 고속도로와 주변 서비스도로와의 연계체계가 미비한 상태에서 진출도로를 통하여 차량이 과다하게 유출됨으로써 발생하는 교통체증은 고속도로 교통체증의 주요 원인이 되고 있고, 무엇보다도 우선적으로 해결되

어야 할 과제가 되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 70 mph의 제한속도를 갖는 고속도로의 진출입램프 접속부상에서 관측된 실시간 자료를 중심으로 교통특성을 파악하고, 교통특성 상호간의 관계를 비교분석하며, 이를 바탕으로 지체추정모형(delay predictive models)을 구축함으로써 진출입램프 접속부상의 지체특성에 대한 연구를 수행하고자 한다.

1.3 문헌고찰

Joseph A. Wattleworth, Charles E. Wallace와 Moshe Levin[1]은 미국내 휴스턴과 시카고의 고속도로를 연구대상으로 하여 고속도로의 평균속도가 40 mph로 감소할 경우 교통류(traffic flow)상에 지체가 발생되는 것으로 가정하여 오후 2:30 6:30사이에 진입램프에 대한 적절한 통제를 가함으로써 고속도로의 지체가 약 45%정도 감소되었음을 확인하였다.

고속도로상의 지체에 관련하여 미국의 J. A. Lindley[2]는, "고속도로의 반복되는 교통체증으로 1987년에 미국에서는 약 7억 vehicle-hours이상의 지체가 발생하였고, 시간과 연료소비 등의 사회적, 경제적 비용을 감안할 때 대략적으로 59억불(U$)의 초과비용이 유발되었다는 Federal Highway Administration (FHWA)의 연구결과를 근거로 2005년에는 약 30억 vehicle-hours이상의 지체가 발생될 것으로 예측되었다."라고 보고함으로써 고속도로의 지체가 미치는 사회적, 경제적 효과에 대해서 강조하였다.

Nick Thompson[3]은, "미국 미네소타주 고속도로에 대해 최첨단 ICTM-RMS (integrated corridor traffic management-ramp metering system)을 실시한 결과 고속도로의 본선(mainline) 교통량이 약 30%정도 증가하였고, 또한 본선구간의 속도가 평균 30 mph에서 48 mph로 약 60%정도 증가하였다."고 보고함으

로써 고속도로의 효율성 증대를 위해 첨단 램프 미터링 시스템 도입을 역설하였다.

Farhad J. Pooran과 Henry C. Lieu[4]는, "고속도로의 램프 미터링과 서비스도로의 통합신호체계에 대한 시뮬레이션 연구에서 고속도로와 서비스도로의 상호연계체계를 구축함으로써 개별 램프 미터링과 같은 최소의 통합체계구축시 약 10%와 통합 램프 미터링과 같은 최대의 통합체계구축시 약 17%의 지체가 감소한다는 사실을 확인하였다."라고 보고함으로써 고속도로의 지체감소를 위해 고속도로와 주변 서비스도로와의 연계체계 구축의 필요성을 강조하였다.

Gary A. Davis, Nancy L. Nihan, Mahammad M. Hamed와 Leslie N. Jacobson[5]은 고속도로 접속부상의 점유율(occupancy)과 유·출입 교통량(inflowing and outflowing traffic)이 고속도로의 교통체증(congestion)에 상당한 영향을 미치고 있다는 전제하에 실시간 관측자료를 바탕으로 선형 시계열(linear time series)분석을 실시함으로써 사전에 고속도로의 체증발생을 예측할 수 있는 방법에 대해서 연구하였다.

지금까지 지체(delay)에 관한 대부분의 연구가 교차로와 같은 단속류에 대해서 집중되어 왔으나, 고속도로와 같은 연속류에 대해서는 명료한 기준이 없이 나름대로의 기준을 세워 지체(delay)를 산정하고 있는 실정이다. 그러므로, 고속도로의 교통특성을 바탕으로 지체에 대한 연구와 함께 지체산정의 기준에 대한 이론적 정립이 요구되고 있다.

1.4 연구의 범위와 방법

본 연구에서는 디트로이트 권역내 동서방향으로 부도심지역(suburban area)과 도심지역(urban area)을 통과하는 고속도로 I-94(미국 미시간주 디트로이트 지역에서 일리노이주 시카고까지 연결되는 제한속도가 70 mph이며 한 방향 3차선인 고속도로)를 연구대상 고속도로로 선정하여 실시간으로 24시간동안 관

측된 5개 합류구간(10개 지점)과 4개 분류구간(8개 지점)을 중심으로 자료수집 및 분석이 이루어졌다. (참조 Fig. 1.1)

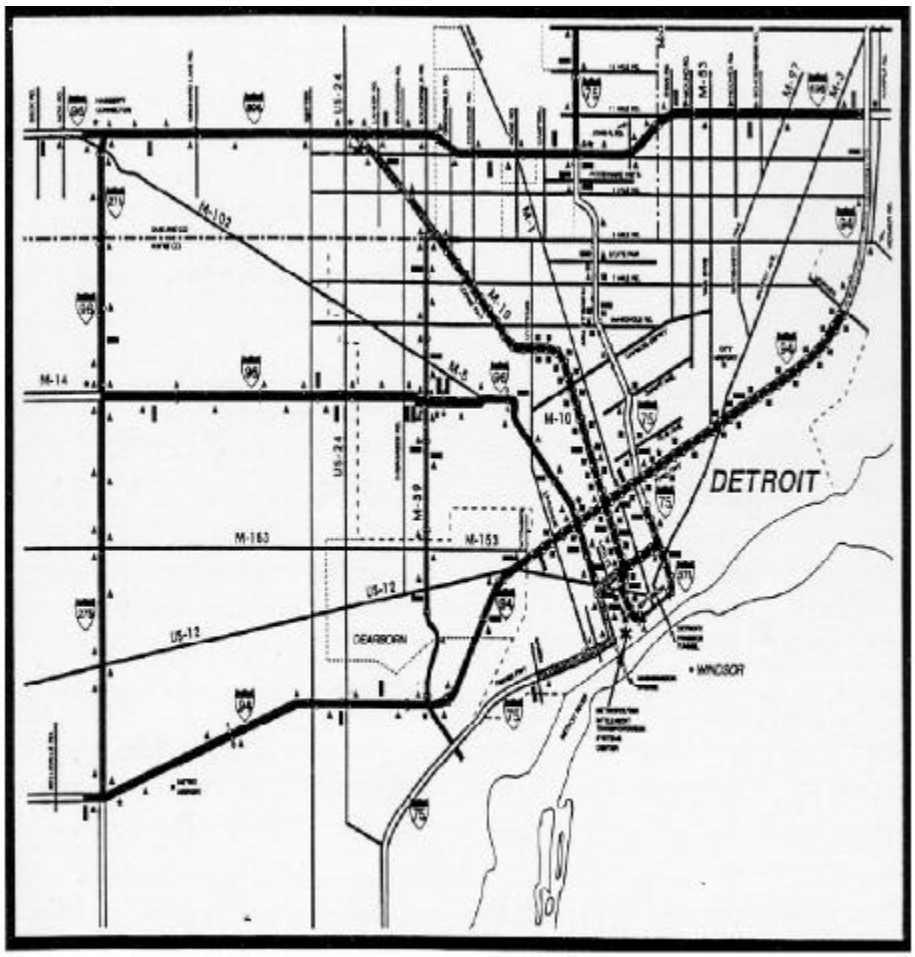

Fig. 1.1 The map of Detroit, MI under the study

한편, 연구대상 고속도로의 합류 및 분류구간 상에는 실시간의 교통량(volume), 점유율(occupancy) 및 속도(speed)의 관측이 가능하도록 진출입램프

접속부상에 상향류와 하향류간의 검지지점이 1/3 mile 거리로 설치된 검지기(loop detector)를 통해서 1997년 1월부터 8월까지 관측된 자료 중 결측요소가 없는 자료의 2/3로 교통특성분석 및 모형구축이 이루어졌고, 또한 1/3의 모형구축에 사용되지 않은 자료와 함께 모형검증이 이루어졌다. 특히, 고속도로의 합류 및 분류구간상의 진출입램프 교통량은 고속도로의 접속부상으로 접근하는 본선구간의 상향류 교통량과 접속부상에서 합류 또는 분류되어 진행하는 본선구간의 하향류 교통량을 이용해서 다음과 같이 산정되었다.

$$V_{or} = V_d - V_u \quad (1.1)$$

$$V_{fr} = V_u - V_d \quad (1.2)$$

여기서,

V_{or} : 합류구간의 진입 교통량 (veh/min)

V_{fr} : 분류구간의 진출 교통량 (veh/min)

V_d : 하향류 교통량(veh/min)

V_u : 상향류 교통량(veh/min)

2 교통특성 분석

2.1 교통량과 속도의 특성 분석

2.1.1 교통량 분석

교통량(traffic volume)은 단위시간당 검지기를 통과한 차량대수(veh/min)를 의미하며 매 1분 단위로 관측되었다. 고속도로 I-94의 합류 및 분류구간의 일일 평균교통량(average daily traffic; ADT)의 시간대별 분포를 살펴보면 오전 출근시간대(6:30 9:00)에서는 첨두현상을 나타내었으나, 오후 퇴근시간대에서는 오전 출근시간대에 비하여 높은 첨두현상을 보이지 않았다. 이는 오전 출근시간대에 차량들이 집중적으로 통행하지만, 오후 퇴근시간대에는 차량들이 분산되어 통행하고 있음을 알 수 있었다. (참조 Fig. 2.1 4, Table 2.1)

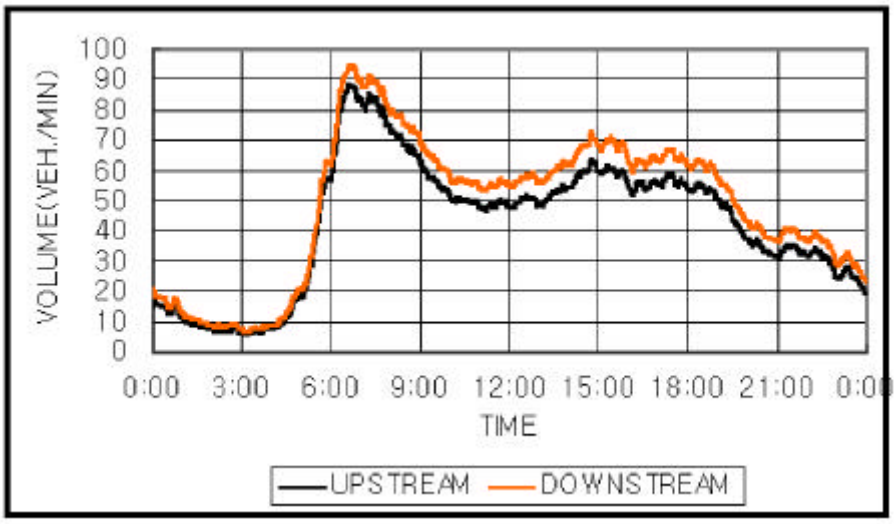

Fig. 2.1 Average volume distribution on on-ramp junctions

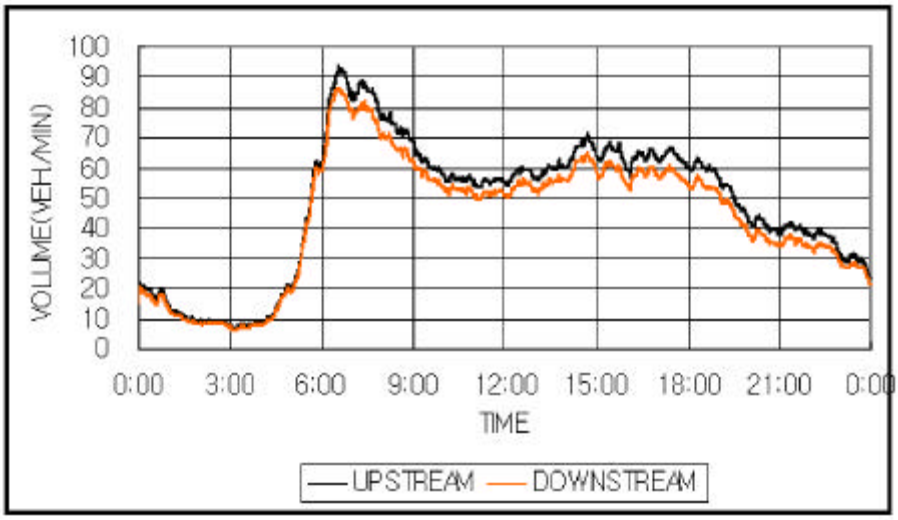

Fig. 2.2 Average volume distribution on off-ramp junctions

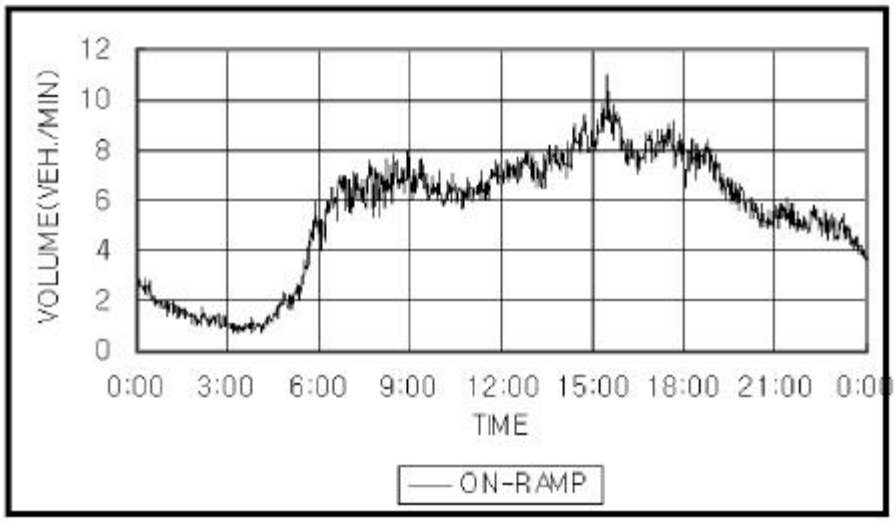

Fig. 2.3 Average ramp volume distribution on on-ramp junctions

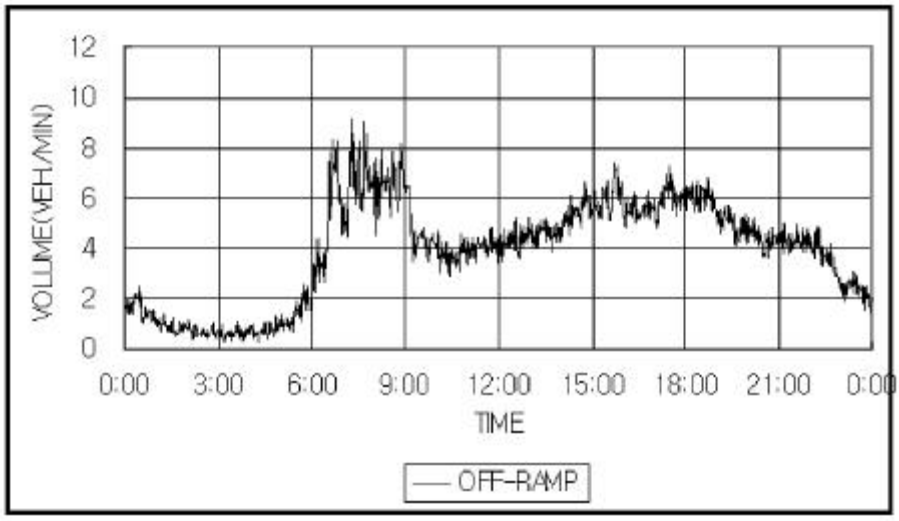

Fig. 2.4 Average ramp volume distribution on off-ramp junctions

Table 2.1 Volume by periods(veh/min)

Ramp junction	Non-peak period			Peak period			% Increase		
	Up-stream	Down-stream	Ramp	Up-stream	Down-stream	Ramp	Up-stream	Down-stream	Ramp
On-ramp	38.8	44.2	5.4	76.9	83.5	6.6	98	89	22
Off-ramp	43.9	40.3	3.6	80.9	74.3	6.6	84	84	83

2.1.2 속도 분석

속도(speed)는 검지기를 통과한 차량의 속도로서 매 1분 단위로 관측된 주행평균속도(average running speed)를 의미한다. 특히, 오전 출근시간대(6:30 9:00)에서는 과다한 진·출입교통량으로 주행속도가 합류 및 분류구간에서 각각 평균 약 45 mph와 50 mph까지 감소되는 것으로 나타났다. 반면에 그 외의 시간대에는 교통량의 변동에 비하여 속도의 변화가 크지 않고 거의 일정한 상태를 유지하고 있음을 확인할 수 있었다. (참조 Fig. 2.5, 2.6, Table 2.2)

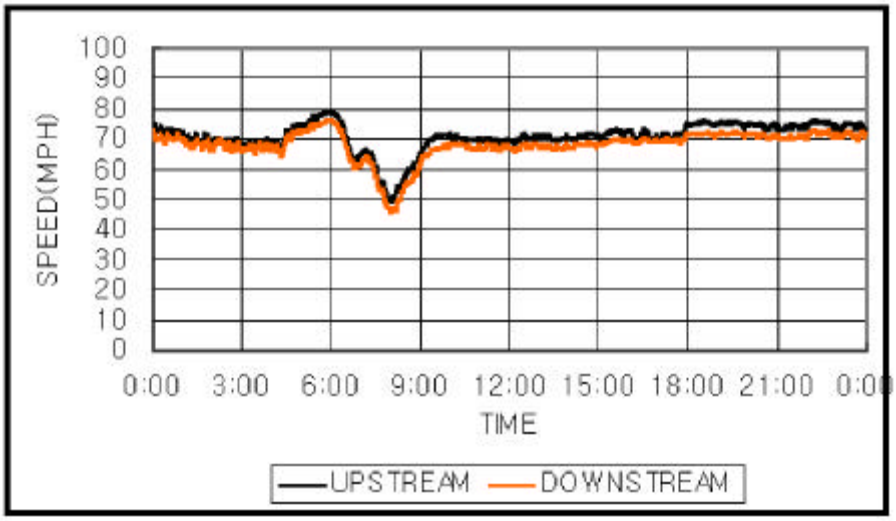

Fig. 2.5 Average speed distribution on on-ramp junctions

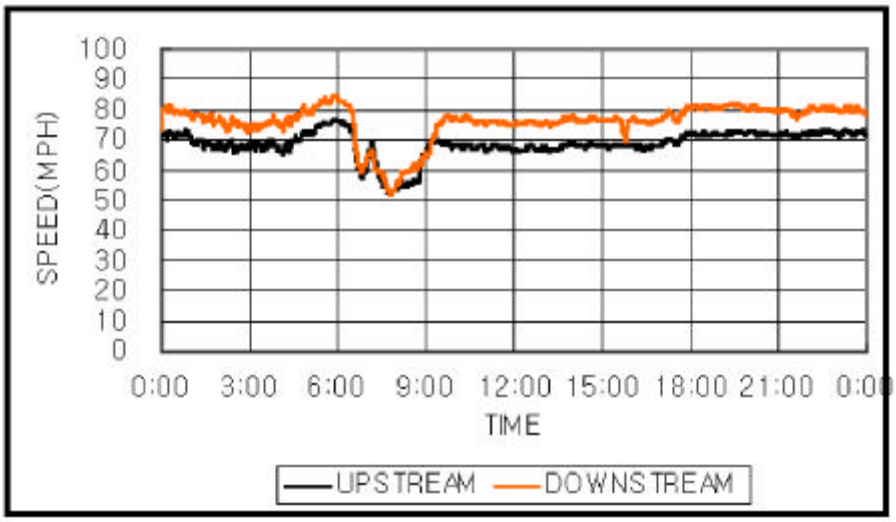

Fig. 2.6 Average speed distribution on off-ramp junctions

Table 2.2 Speed by periods(mph)

Ramp junction	Non-peak period		Peak period		% Increase	
	Up-stream	Down-stream	Up-stream	Down-stream	Up-stream	Down-stream
On-ramp	72.1	69.5	59.7	56.6	-17	-19
Off-ramp	70.0	77.9	58.9	60.5	-16	-22

2.1.3 교통량과 속도와의 관계

고속도로 I-94의 합류 및 분류구간의 상향류 상에서 교통량과 속도사이의 관계는 고속도로의 전형적인 양상을 나타내었다. 특히, 교통량이 약 80 veh/min에 도달할 때까지 뚜렷한 속도변화를 보이지 않았으나 교통량이 이를 초과하여 약 110 vpm에 도달할 때까지 속도 감소현상을 보이며, 그 후 교통량이 60 vpm에 도달했을 때에는 최저 약 20 mph정도까지 속도가 급격하게 감소되는 것으로 나타났다. (참조 Fig. 2.7)

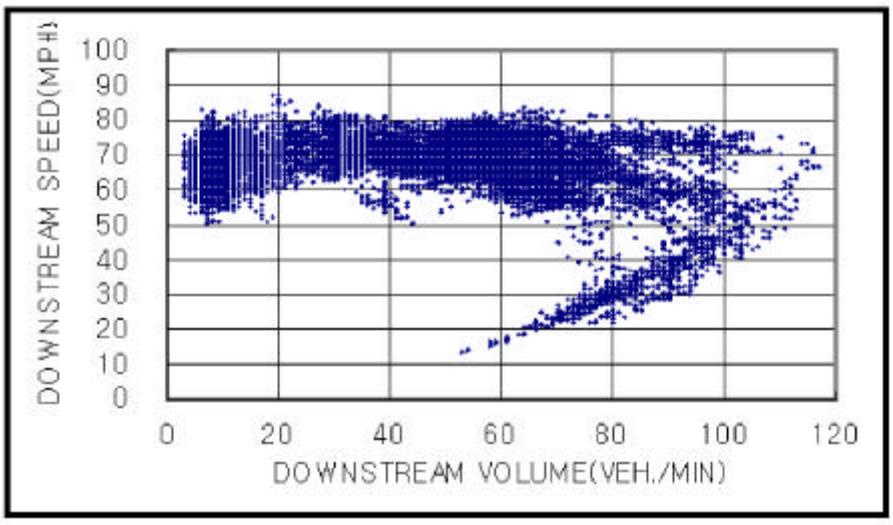

Fig. 2.7 The relationship of upstream volume and speed on on-ramp junctions

따라서, 교통량과 속도의 관계로부터 고속도로의 용량을 초과하여 차량이 계속 유입되게 되면 속도가 급격히 감소한다는 사실을 확인할 수 있었고, 교통량의 집중으로 인해 속도가 크게 저하되는 오전 첨두시간대(6:30 9:00)와 그 외의 시간대로 구분하여 지체추정모형을 구축하는 것이 타당할 것으로 판단되었

다.

2.2 지체와 점유율의 특성 분석

2.2.1 지체 분석

지체(delay)는 자유흐름(free flow)상태에서의 고속도로 속도와 합류구간과 분류구간 상의 평균속도와의 차이로부터 발생되는 통행손실시간으로서 다음과 같이 산정되었다.

$$D_a = \frac{S_{ff} - S_m}{S_{ff}} \times 60 \qquad (2.1)$$

단, $S_{ff} > S_m$ 이면 D_a가 발생

$S_{ff} \leq S_m$ 이면 D_a가 발생하지 않음

여기서,

D_a : 고속도로의 접근지체(min/veh)

S_{ff} : 고속도로의 자유흐름 속도(mph)

S_m : 상향류와 하향류의 평균속도(mph)

$$S_m = \frac{S_u + S_d}{2}$$

S_u : 상향류(upstream)의 속도(mph)

S_d : 하향류(downstream)의 속도(mph)

특히, 연구대상 고속도로 I-94의 합류구간 상에서 비첨두시간대 시간평균지체(average hourly delay)가 약 6.3 mpv로 나타났고, 오전 출근시간대에는 약 15.9 mpv로 나타남으로써 비첨두시간대에 비해 약 152%이상의 증가를 보였다. 또한, 분류구간 상에서도 비첨두시간대에 4.1 mpv, 오전 출근시간대에 약 15.0 mpv의 지체가 나타남으로써 비첨두시간대에 비해 오전 출근시간대에 약 266% 이상의 증가를 보였다.

따라서, 고속도로의 합류구간과 분류구간 상에서 발생하는 접근지체는 유입교통량의 증가로 오전 출근시간대에 급격하게 증가한다는 사실을 확인할 수 있었다. (참조 Table 2.3)

Table 2.3 Average hourly delay by periods(mpv)

Ramp junction	Non-peak period	Peak period	% Increase
On-ramp	6.3	15.9	152
Off-ramp	4.1	15.0	266

2.2.2 점유율 분석

일반적으로 교통류 이론에서는 점유율(occupancy)보다 밀도(density)가 주로 이용되고 있으나, 점유율은 밀도에 비하여 고속도로의 이론적, 실제적 연구에 있어서 차량의 길이와 차량구성의 영향을 반영하여 차량에 의해 점유되는 도로공간에 대해 상대적으로 높은 상관성을 보이고 있기 때문에 밀도 대신 점유율을 적용시켜야

된다는 견해가 증대되고 있다.

점유율은 단위관측시간에 대한 차량의 검지기 점유시간의 비율로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi = \frac{\sum_i (L_i + d)/u_i}{T} \qquad (2.2)$$

여기서,

Φ : 점유율(%)

L_i : 개별 차량의 길이

d : 검지기 길이

u_i : 개별 차량의 속도

T : 단위관측시간

그리고, 점유율과 밀도의 관계식은 다음과 같다.

$$\Phi = k(L + d) \qquad (2.3)$$

k : 밀도$(= \frac{q}{u_i})$

q : 교통류율(flow rate)

L : 차량의 평균 길이

연구대상 고속도로 I-94의 합류구간 상에서 점유율의 시간대별 분포를 살펴보면 오전 출근시간대에 점유율이 현저하게 증가하고 있음을 알 수 있었다. (참

조 Fig. 2.8, 2.9)

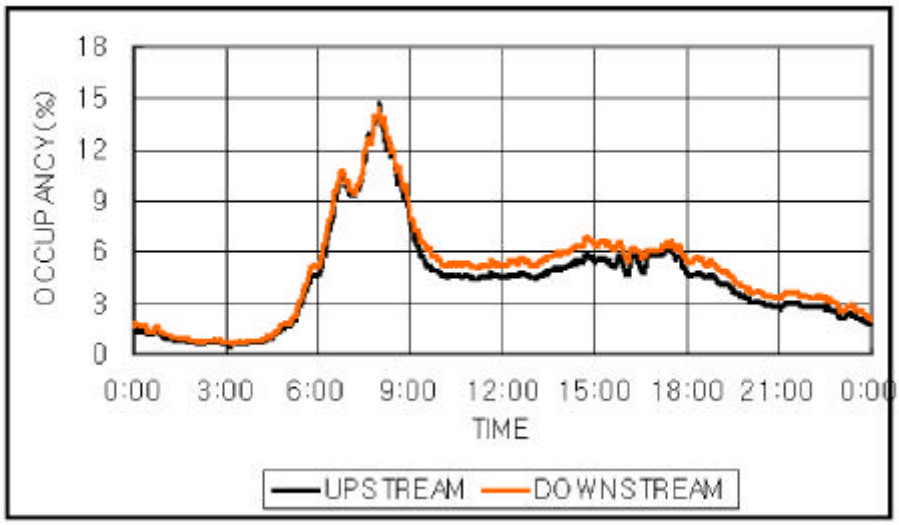

Fig. 2.8 Average occupancy distribution on on-ramp junctions

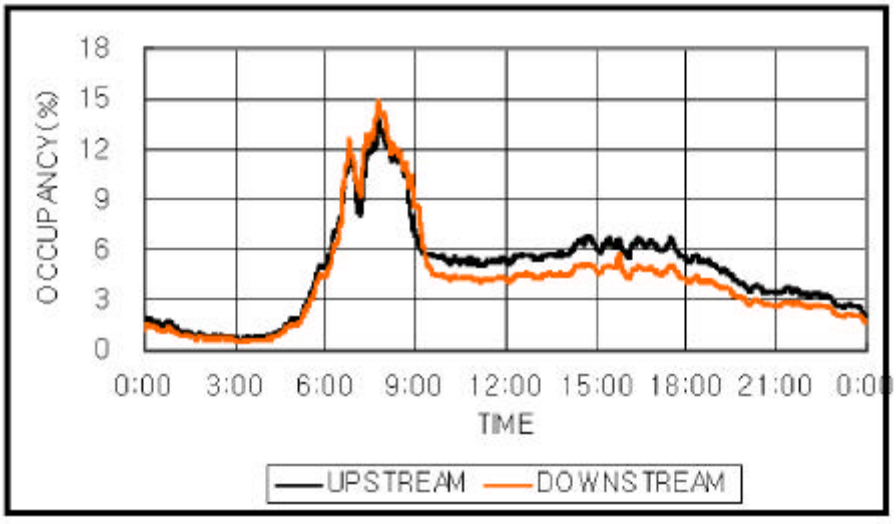

Fig. 2.9 Average occupancy distribution on off-ramp junctions

특히, 고속도로의 합류구간 상에서 비첨두시간대 평균 하향류 점유율은 약 4.1%로 나타난 반면에 오전 출근시간대에는 11.2%로 약 173%이상의 증가를 보였다. 또한, 분류구간 상에서도 비첨두시간대 하향류 점유율이 3.3%, 오전 출근시간대에 약 11.6%로 비첨두시간대에 비해 약 252%의 증가를 보였다. (참조 Table 2.4)

Table 2.4 Occupancy by periods(%)

Ramp junction	Non-peak period		Peak period		% Increase	
	Up-stream	Down-stream	Up-stream	Down-stream	Up-stream	Down-stream
On-ramp	3.6	4.1	10.9	11.2	203	173
Off-ramp	4.1	3.3	10.8	11.6	163	252

2.2.3 지체와 하향류 점유율과의 관계

고속도로 I-94의 합류 및 분류구간 상에서 지체와 하향류 점유율(O_d)사이의 관계를 살펴보면 하향류의 점유율(O_d)이 약 9%에 도달할 때까지는 지체와 별다른 관계를 보이지 않고 있다가 9%이상의 하향류 점유율에서 높은 양의 상관관계를 보이고 있었다. (참조 Fig. 2.10)

특히, 고속도로 I-94의 합류구간 상에서 하향류 점유율(O_d)이 9%미만일 때에

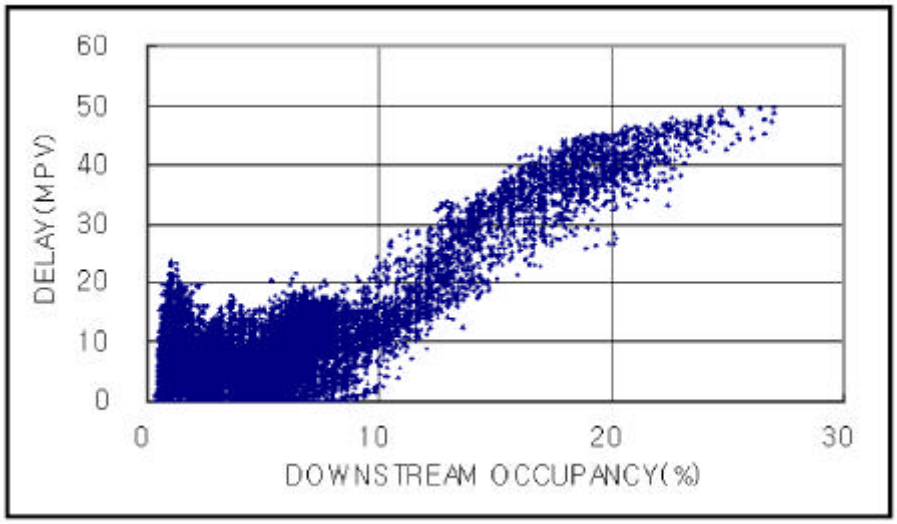

Fig. 2.10 The relationship of downstream occupancy and delay on on-ramp junctions

는 평균지체가 약 6.3 mpv이었으나, 9%이상의 하향류 점유율(O_d)에서는 약 16.1 mpv로 9% 미만의 하향류 점유율에서보다 약 156%이상의 지체 증가를 보였다. 또한, 분류구간 상에서도 하향류 점유율(O_d)이 9%미만일 때에는 지체가 약 4.2 mpv, 9% 이상의 하향류 점유율에서는 15.4 mpv로 약 267%이상의 지체 증가를 확인할 수 있었다. (참조 Table 2.5)

Table 2.5 Average hourly delay shifts of downstream occupancy(mpv)

Ramp junction	O_d < 9%	O_d ≥ 9%	% Increase
On-ramp	6.3	16.1	156
Off-ramp	4.2	15.4	267

따라서, 고속도로의 합류구간과 분류구간 상에서 하향류의 점유율 9%를 기준으로 상호 비교·분석할 경우 9%이상의 하향류 점유율(O_d)에서는 9%미만의 하향류 점유율(O_d)에서보다 상대적으로 높은 지체발생을 확인할 수 있었다.

2.3 지체와 교통량의 관계특성 분석

연구대상 고속도로 I-94의 합류 및 분류구간 상에서 단위시간 교통량이 약 100 vpm에 도달할 때까지는 평균지체와 뚜렷한 상관관계를 보이지 않았으나, 교통량이 약 110 vpm에 도달하면서부터 점차적으로 교통량과 지체사이에 음의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 특히, 9%이상의 하향류 점유율에서 교통량과 지체사이에 명확한 음의 상관관계가 나타났다. (참조 Fig. 2.11, 2.12)

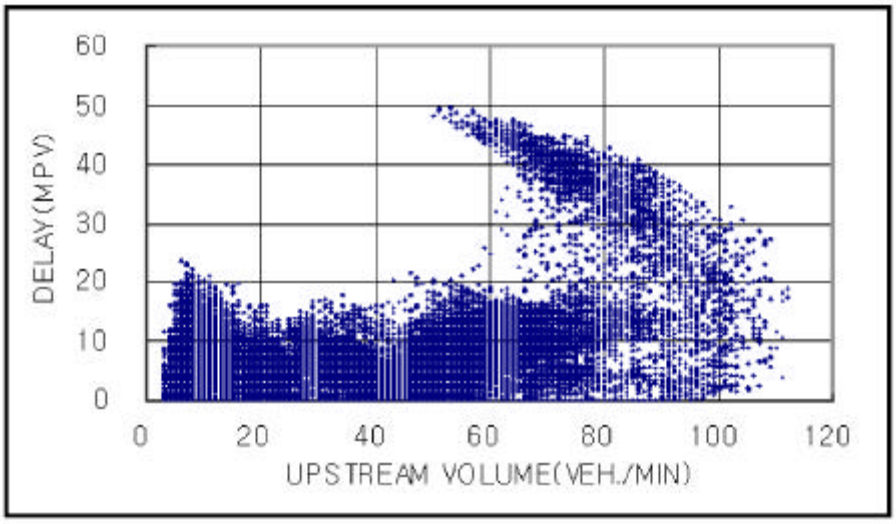

Fig. 2.11 The relationship of upstream volume and delay on on-ramp junctions

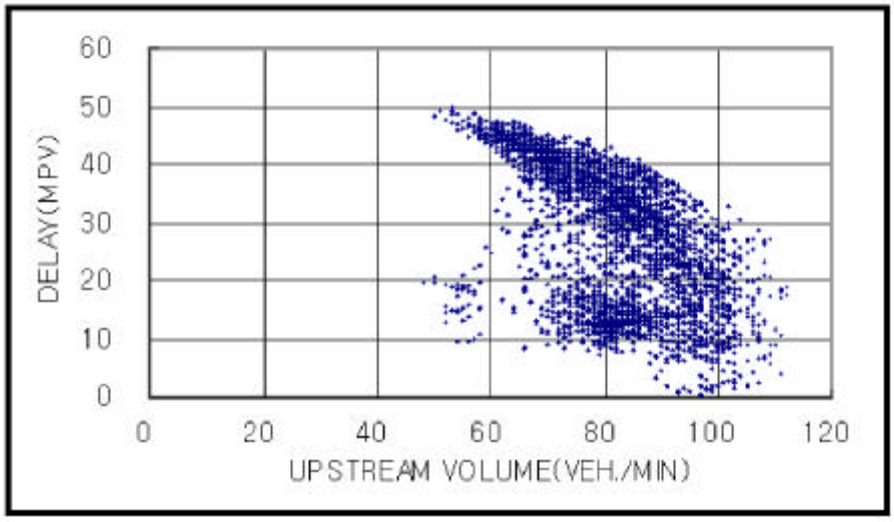

Fig. 2.12 The relationship of upstream volume and delay on on-ramp junctions under $O_d \geq 9\%$

3 모형구축 및 검증

연구대상 고속도로의 합류 및 분류구간 상에서 하향류 점유율(O_d)과 오전 첨두시간대를 중심으로 지체추정을 위한 분리모형 및 통합모형을 구축하고 검증하였다.

3.1 구축방법

연구대상 고속도로의 합류 및 분류구간 상에서 지체추정모형을 구축하기 위해 사용된 변수들은 다음과 같다.

D_a : 고속도로의 접근 지체(mpv)
O_u : 상향류에서의 점유율(%)
O_d : 하향류에서의 점유율(%)
V_u : 상향류에서의 교통량(veh/min)
V_d : 하향류에서의 교통량(veh/min)
V_r : 진출입램프의 유·출입 교통량(veh/min)
P : 기준점(set-up point)

특히, 모형구축에 있어서 식 (2.1)에 의해 산정된 지체(D_a)변수는 분리모형과 통합모형의 종속변수로 사용되었고, 모형에 있어서 유효한 설명변수를 채택하기 위해 단계식 및 후진제거식 등의 변수선택법들과 C_p, AIC 등의 벌칙함수판단기준들을 종합적으로 고려하였다.

우선적으로, 모형구축에 있어서 다중회귀모형(multiple regression model)이 적용되었고, 잔차분석 등을 통해서 1차 모형의 적합성을 확인하였으며, 1차의

다중회귀모형에 적합하지 않을 경우에는 비선형 다중회귀모형이 적용되어 모형의 타당성을 확인하였다.

3.2 모형구축

하향류 점유율(O_d)이 9%이상인 경우에는 잔차분석에서 고속도로의 합류구간과 분류구간 상의 상향류 점유율(O_u)이 종속변수인 지체(D_a)와 2차 곡선형태를 보여 이 변수에 2차항을 추가로 고려하였고, 이 모형의 오차간의 자기상관을 제거한 다중회귀모형을 구축하였으며, 모형의 통계적 유의성 검정에서 유의확률이 0.000으로 유의한 회귀모형임을 확인할 수 있었다. (참조 Table 3.1)

Table 3.1 Results of statistical analyses

Ramp junction	O_d(%)	VIF*	DW**
On-ramp	≥ 9	5.328	1.915
Off-ramp	≥ 9	7.007	1.964

* The highest one among values of regression variable

** Durbin-watson statistic after using iteration paris-winsten method to eliminate autocorrelation

반면, 하향류 점유율(O_d)이 9% 이하인 경우에는 합류구간과 분류구간 상에서 채택된 설명변수들의 다중공선성(multicollinearity)이 높아서 이를 처리하기 위해 편의 추정인 능형회귀(ridge regression)모형으로 구축하였다.

합류 및 분류구간에서 하향류 점유율(O_d)이 9%이상인 경우 교통량과 점유율을 이용한 지체추정모형의 결정계수(R^2)는 모두 0.97이상을 보여 모형의 유용성이 높게 나타났으나, 9%미만의 경우에는 지체추정모형의 결정계수(R^2)가 합류구간에서 0.524, 분류구간에서 0.434로 모형의 유용성이 낮게 나타났다.

또한, 시간대별 지체를 추정하기 위해서 선택된 설명변수인 하향류 점유율(O_d)에 의해 구분된 다중회귀모형을 접목한 통합모형을 구축하였다. 첨두시간대의 경우 합류 및 분류구간에서 결정계수(R^2)가 모두 약 0.97이상을 보여 지체에 대한 모형의 설명력이 높았으며, 비첨두시간대의 경우 모형의 결정계수(R^2)가 합류구간에서 0.666, 분류구간에서 0.462로서 그 설명력이 낮게 나타났다. (참조 Table 3.2)

3.3 모형검증

연구대상 고속도로의 합류 및 분류구간상의 자료를 중심으로 구축된 지체모형을 검증하기 위하여 모형의 논리적 분석과 함께 모형으로부터 추정된 지체와 모형구축에 미사용된 자료로부터 산정된 지체의 상관분석을 통한 통계적 분석을 실시하였다.

앞 절에서 언급된 교통특성의 양상으로부터 지체가 점유율과는 하향류 점유율(O_d)이 9%이상에서 양의 강한 상관관계를 보였고, 교통량은 반대로 음의 상관관계를 보였는데 모형 내 계수들의 부호가 이를 잘 반영하는 것으로 나타남으로써 구축된 모형들이 적절한 것으로 확인되었다.

특히, 모형구축에 미사용된 자료에 의한 지체와의 상관분석을 실시한 결과 O_d > 9%인 경우에는 모형과의 상관계수(r)가 약 0.98이상을 보여 대단히 유의한 것으로 나타난 반면, O_d 〈 9%인 경우에서는 합류 및 분류구간에서 각각 0.706,

Table 3.2 Delay predictive models constructed

Ramp junction	O_d(%)	Model	R^2		SE^*(mpv)
On-ramp	≥ 9	$15.029-0.236V_u+2.158O_u-0.04O_u^2+0.685O_d-0.094V_r$	0.976		1.820
	< 9	$6.814-0.187V_u+1.623O_u+1.097O_d-0.618V_r$	0.524		3.156
	Integrated	$P(15.029-0.236V_u+2.158O_u-0.04O_u^2+0.685O_d-0.094V_r)$ $+(1-P)(6.814-0.187V_u+1.623O_u+1.097O_d-0.618V_r)$	Peak period	0.976	2.344
			Non-peak period	0.666	3.155
Off-ramp	≥ 9	$15.649-0.234V_u+2.207O_u-0.042O_u^2+0.6O_d+0.082V_r$	0.975		1.959
	< 9	$3.391-0.164V_u+1.359O_u-0.013O_d+0.4V_r$	0.434		2.891
	Integrated	$P(15.649-0.234V_u+2.207O_u-0.042O_u^2+0.6O_d+0.082V_r)$ $+(1-P)(3.391-0.164V_u+1.359O_u-0.013O_d+0.4V_r)$	Peak period	0.977	2.279
			Non-peak period	0.462	2.981

※ If $O_d \geq 9$(%), then P = 1 and If $O_d < 9$(%), then P = 0 in Integrated models.

※ All $D_a \geq 0$.

* Standard error of estimate

0.682로 그 유의성이 낮게 나타났다. 또한, 통합모형(integrated models)의 검증에 있어서 오전 출근시간대에서는 합류구간과 분류구간의 상관계수(r)가 각각 0.947과 0.982의 높은 설명력을 가져 상당히 유의함을 보인 반면 비첨두시간대에서는 상관계수(r)가 합류구간에서 0.830과 분류구간에서 0.693으로서 모형의 유의성이 낮게 나타났다. (참조 Table 3.3)

Table 3.3 Test of delay predictive models

Ramp junction	O_d (%)	Correlation coefficient(r)	
On-ramp	≥ 9	0.987	
	< 9	0.706	
	Integrated	Peak period	0.947
		Non-peak period	0.830
Off-ramp	≥ 9	0.980	
	< 9	0.682	
	Integrated	Peak period	0.982
		Non-peak period	0.693

4 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 고속도로의 합류 및 분류구간상의 교통특성분석과 지체모형의 구축 및 검증을 통해서 지체추정에 있어 다음과 같은 결론에 도달하게 되었다 :

i) 고속도로의 진출입구간 상에서의 교통특성 변화와 그에 따른 영향이 반영된 진출입구간의 하향류 점유율을 기준으로 모형을 구축하는 것이 높은 설명력을 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

ii) 고속도로의 합류 및 분류구간 상에서 하향류 점유율(O_d)이 9%이상인 경우에는 상향류 교통량, 진출입램프의 유·출입 교통량 그리고 상·하향류 점유율을 설명변수로 한 다중회귀의 분리모형이 지체추정에 높은 설명력을 보이는 것으로 나타났다.

iii) 고속도로의 합류 및 분류구간 상에서 하향류 점유율(O_d)이 9%미만인 경우에는 교통량과 점유율을 설명변수로 한 회귀모형이 지체추정에 낮은 설명력을 나타냈다. 이는 교통류(traffic flow)가 9%미만의 하향류 점유율(O_d) 상태하에서 지체에 대해 교통량이나 점유율의 영향이외에 운전자 특성(driver characteristics)이나 주변 교통여건의 영향 등을 분석하기 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

iv) 고속도로의 합류 및 분류구간상의 통합모형을 구축함에 있어서 지체모형은 오전 출근시간대에는 높은 설명력을 보인 반면, 비첨두시간대에는 낮은 설명력을 보이는 것으로 나타났다.

끝으로 지금까지 미국내 대부분의 고속도로가 65 mph나 그 이하의 제한속도로 운행되고 있으나, 미시간주에서는 미국 내에서 유일하게 70 mph의 제한속

도로 운행되고 있다. 따라서, 본 연구결과는 향후 고속도로의 제한속도 상향조정에 따른 고속도로관리체계(FTMS ; freeway traffic management system)의 변화에 관한 기초연구로서 기여를 할 것으로 생각되며, 이를 국내에 적용할 경우에는 국내와 미국간 고속도로상에서의 교통특성 비교 및 분석을 통해 국내 고속도로에 적합한 모형으로 수정이 이루어져야할 것이다.

참 고 문 헌

1. Joseph A. Wattleworth & Charles E. Wallace & Moshe Levin, “DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A RAMP METERING SYSTEM ON THE LODGE FREEWAY”, Texas Transportation Institute Research Report 488-3, 1967.
2. Jeffrey A. Lindley, “Urban Freeway Congestion Problem and Solution : An Update”, ITE Journal, December 1989.
3. Nick Thompson, “Ramp up the volume”, ITS International, 1997.
4. Farhad J. Pooran & Henry C. Lieu, “EVALUATION OF SYSTEM OPERATING STRATEGIES FOR RAMP METERING AND TRAFFIC SIGNAL COORDINATION”, Federal Freeway Administration, 1995.
5. Gary A. Davis & Nancy L. Nihan & Mahammad M. Hamed & Leslie N. Jacobson, “Adaptive Forecasting of Freeway Traffic Congestion”, TRB NO.1287, 1990.
6. **이 영준**, “**다변량분석**”, **석정**, 1991.
7. Adolf D. May, “TRAFFIC FLOW FUNDAMENTALS”, PRENTICE HALL, 1990.
8. **최 병선**, “**회귀분석 上,下**”, **세경사**, 1997.
9. TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, “HIGHWAY CAPACITY MANUAL, special report 209”, TRB, 1998.
10. Nathan Gartner & Carroll J. Messer & Ajay K. Rathi, “Traffic Flow Theory, special report 165”, TRB, 1997.
11. **박 성현**, “**회귀분석**”, **민영사**, 1998.
12. **도 철웅**, “**교통공학원론(上)**”, **청문각**, 1998.

13. 최 재성 & 원 재무, “교통공학”, 박영사, 1999.
14. 김 갑수 & 신 판식, “도시고속도로 기본구간의 교통특성분석”, 대한교통학회지, 제 16권 제 4호, 1998.
15. Edmond Chin-Ping Chang & Carroll J. Messer & Tom Urbani II, “REAL-TIME FREEWAY RAMP CONTROL EMULATION SYSTEM”, Texas SPR, 1994.
16. 강 명욱 & 김 영일, “회귀분석 - 모형개발과 진단”, 율곡출판사, 1997.
17. 김 종섭, “통계자료분석방법”, 학문사, 1998.
18. Nicholas J. Garber & Lester A. Hoel, “Traffic and Highway Engineering”, West, 1998.
19. 김 두섭, “(사회과학을 위한)회귀분석”, 법문사, 1993.
20. William R. Mcshane & Roger P. Roess & Elena S. Prassas, “TRAFFIC ENGINEERING”, PRENTICE HALL, 1998.
21. James L. Pline, “TRAFFIC ENGINEERING HANDBOOK”, PRENTICE HALL, 1992.

APPENDIX

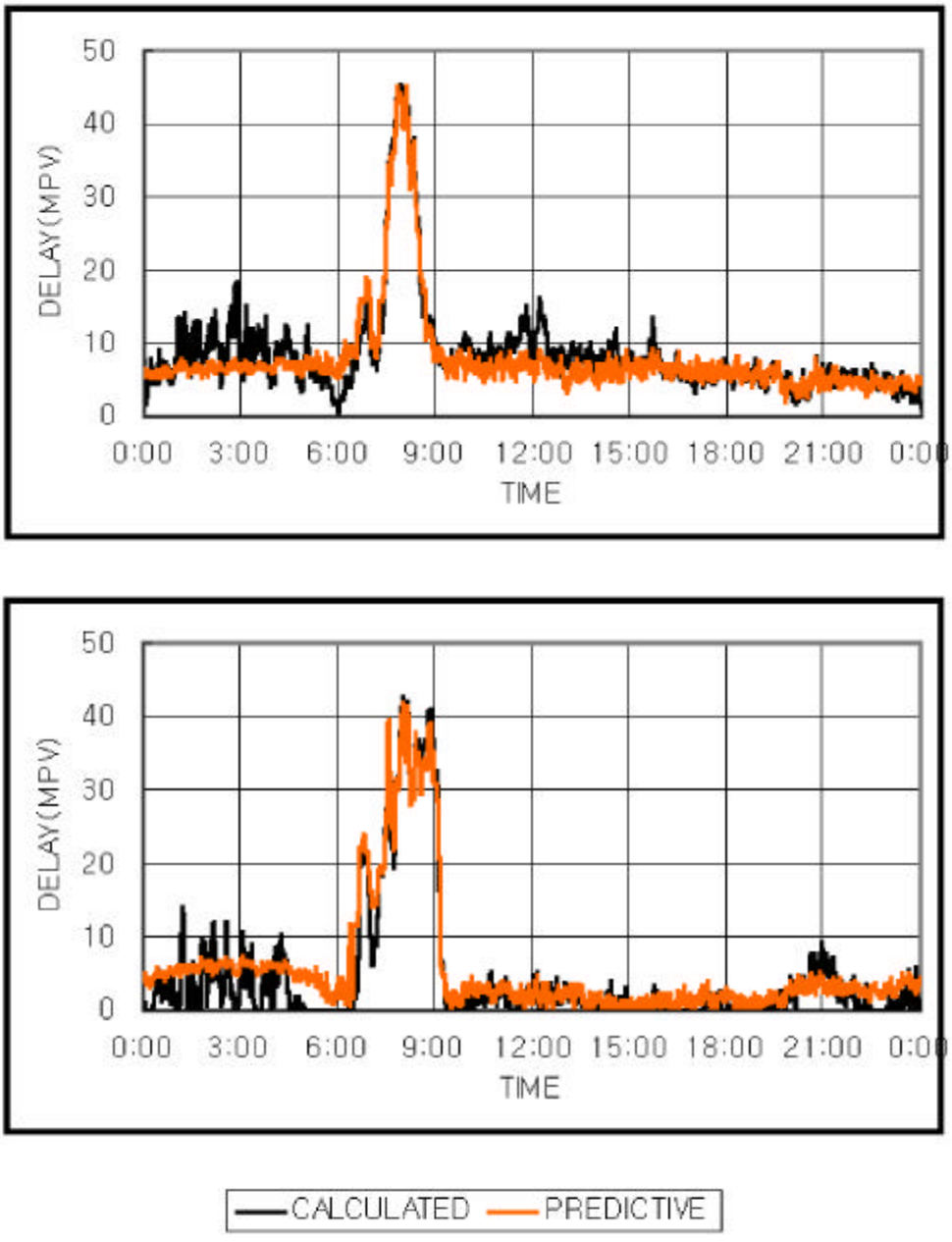

Fig. A.1 Comparison of calculated and predictive delays all day long on an on-ramp junction

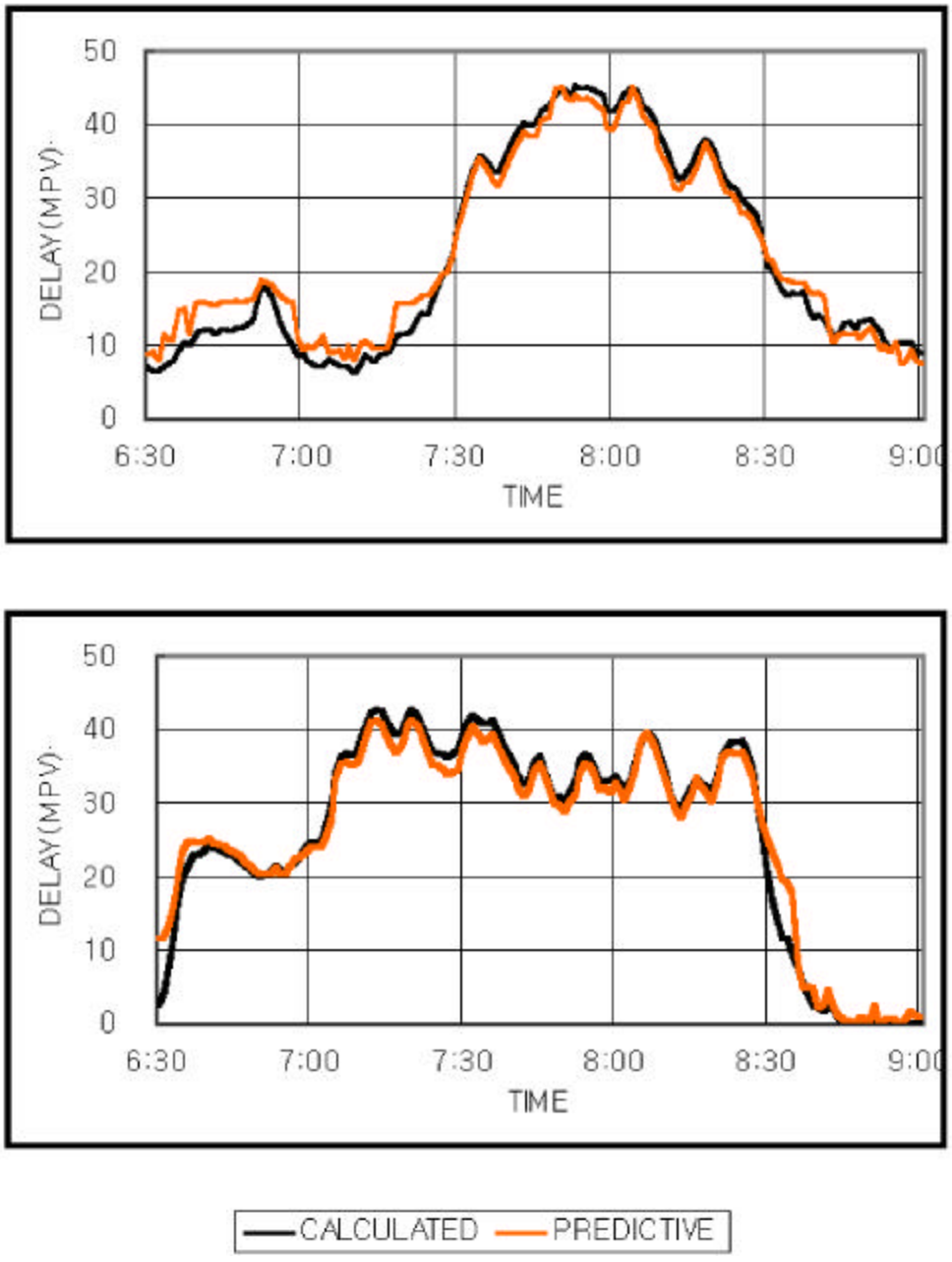

Fig. A.2 Comparison of calculated and predictive delays for peak period on an on-ramp junction

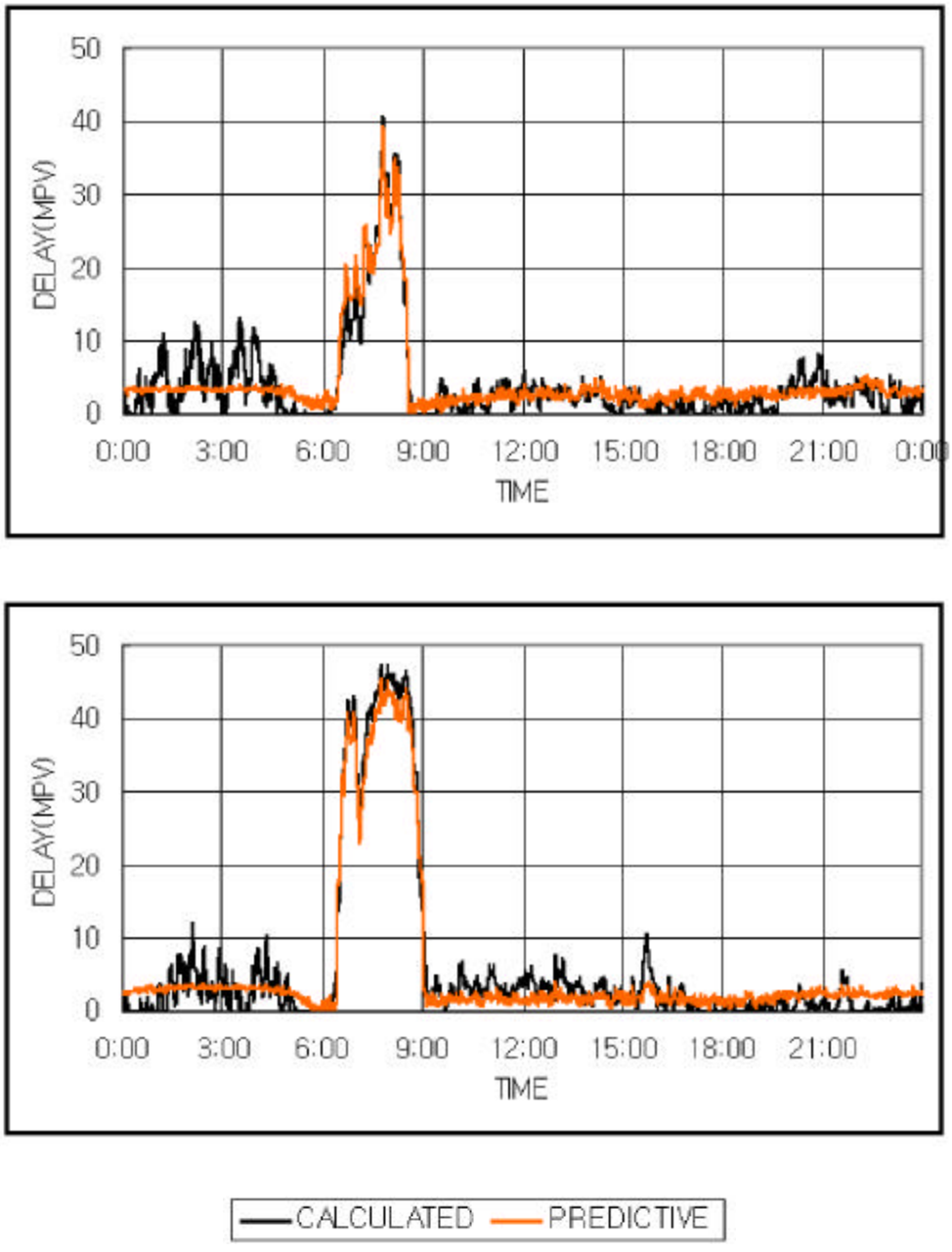

Fig. A.3 Comparison of calculated and predictive delays all day long on an off-ramp junction

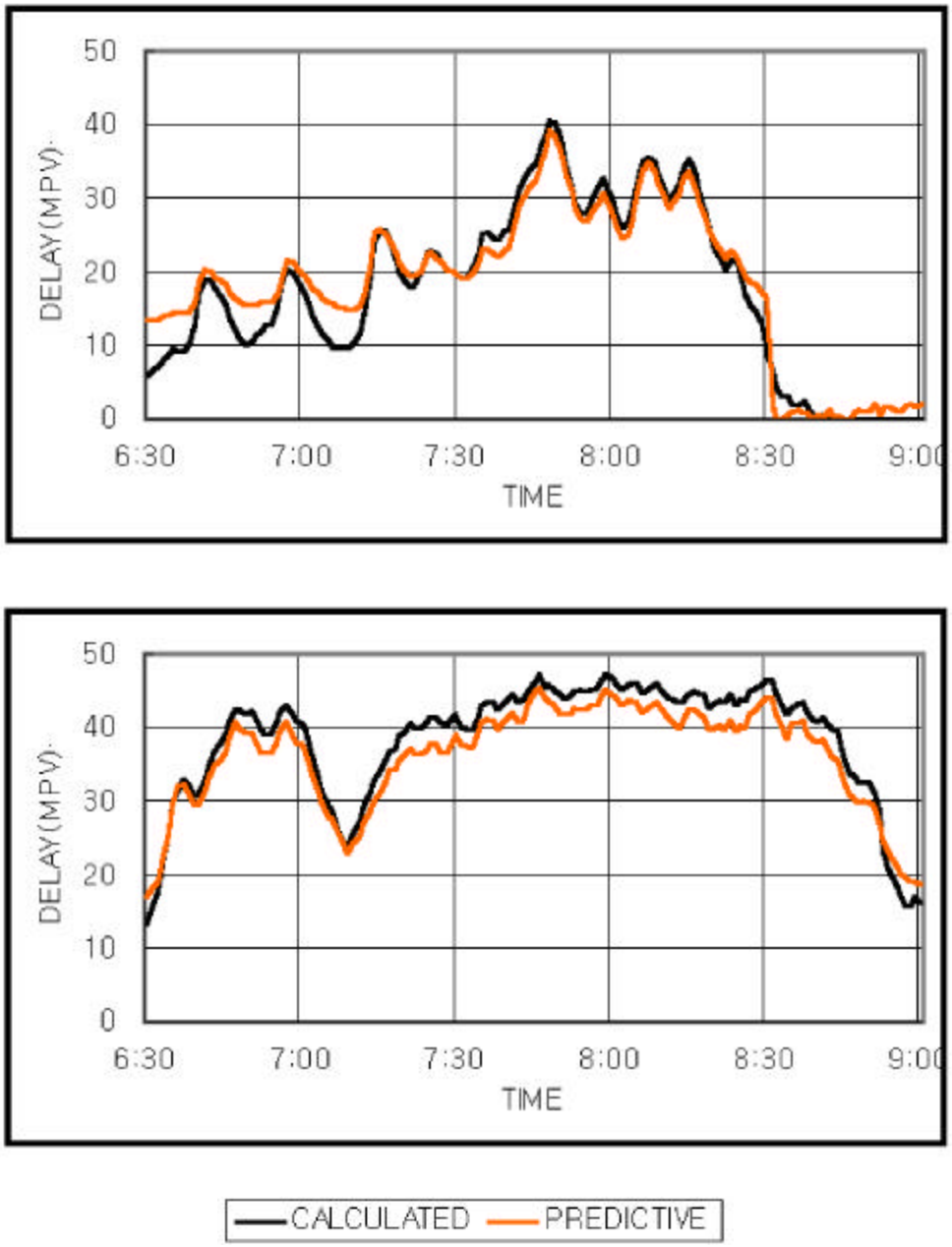

Fig. A.4 Comparison of calculated and predictive delays for peak period on an off-ramp junction

감사의 글

많은 부분에서 부족한 저에게 차고 넘칠 정도로 깊은 관심과 아낌없는 지도를 해주신 김 태곤 교수님과 내조의 본을 보여주시는 사모님께 진심으로 감사드립니다. 바쁘신 중에도 여러 조언 등을 해주시며 심사를 해주신 곽 규석 교수님과 김 도삼 교수님께 감사드립니다. 그리고 재학기간동안 많은 가르침과 관심을 주신 물류시스템공학과 교수님들과 토목환경공학과 교수님들께도 깊은 감사를 드립니다.

초기 데이터 정리에 도움을 준 승길, 통계적 분석의 실마리를 준 부산대 통계학과의 수정, 그리고 SAS운용에 도움을 준 재영에게 감사드리며, 이 부족한 선배와 그 동안 같이하며 고생한 실험실 동기와 후배들에게 미안한 마음을 전합니다. 특히, 후배를 위해 마음을 써 주신 안 현철 선배님께 감사를 전합니다. 또한, 믿음의 친구로서 절친한 태원, 병결, 규범 그리고 욱돈형에게 감사한 마음을 전합니다.

변함없는 사랑으로 같이 희로애락을 나누는 아내 은영이와 귀엽고 건강하게 크는 아들 시원, 항상 기도와 따뜻한 애정으로 대해 주시는 장인 어른과 장모님, 그리고 이모 노릇 하느라고 수고하는 처제 은경이와 은희에게 고마움을 전합니다.

끝으로 저를 지금까지 마음속 깊은 사랑으로 길러주시고 항상 걱정해 주시는 아버지와 어머니, 듬직한 동생 상훈, 그리고 미경이에게 고마운 마음을 전합니다.

여기까지 인도하신 에벤에셀의 하나님께 감사의 기도를 드리고 싶습니다.