

공학석사 학위논문

실시간 교통특성에 기초한 도시고속도로 IC
분류부의 지체예측모형 구축에 관한 연구

**Delay Predictive Modeling on the Diverge Sections of Urban
Freeway Interchange based on Real-Time Traffic
Characteristics**

指導教授 金 殆 坤

2003年 2月

한 국 해 양 대 학 교 대 학 원

토 목 환 경 공 학 과 張 台 俊

Delay Predictive Modeling on the Diverge Sections of Urban Freeway Interchange based on Real-Time Traffic Characteristics

Tae Jun, Jang

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

Abstract

Generally urban freeway is the principal arterial corridor that is intended to provide for high levels of safety and efficiency in the movement of high-volumes of traffic at high speeds in the big city. However, most of the urban freeways are experiencing a severe congestion with the incoming or outgoing traffic through the freeway interchange regardless of the peak periods. Thus, the purpose of this study is to investigate and analyze the real-time traffic characteristics, and construct the travel delay predictive models on the diverge sections in the congested urban freeway interchange in city of Busan.

From the results of the real-time traffic characteristic analyses, construction and verification for the delay predictive models on the diverge sections of the urban freeway interchange under the study, the following conclusions were drawn;

- i) Traffic flow showed a big difference depending on the time periods in the urban freeway interchange. Particularly more traffic were concentrated on the urban freeway interchange in the daytime period when compared with the nighttime period.
- ii) Traffic flow also showed a quite difference depending on the travel directions in the urban freeway interchange. Particularly more traffic were concentrated on the urban freeway

interchange in the inbound direction when compared with the outbound direction.

iii) Traffic characteristic variables selected were considerably correlated with the delay predictive modeling on the diverge sections of urban freeway interchange under the study. Particularly the occupancy showed a higher explanatory power for the delay predictive model construction.

iv) The delay predictive models showed a higher explanatory power in the inbound direction and the daytime period, but a lower explanatory power in the outbound direction and the nighttime period.

v) The urban freeway traffic management system(UFTMS) measure like the variable message sign(VMS) was shown to be more effective on the inbound exit ramp in the morning rush hour.

목 차

ABSTRACT	i
NOMENCLATURE	v
LIST OF FIGURES	vi
LIST OF TABLES	viii
1. 서 론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 목적 및 필요성	1
1.3 문헌조사	2
1.4 연구내용 및 방법	4
2. 교통 특성 분석	5
2.1 교통류율	6
2.2 속도	14
2.3 점유율	20
2.4 지체	26
2.5 교통류율과 속도	30

3. 모형 구축	31
3.1 구축 방법	31
3.2 모형 구축	32
4. 모형 검증	35
4.1 검증 방법	35
4.2 모형 검증	35
5. 결론 및 향후 연구과제	41
참고문헌	43

NOMENCLATURE

- V_{DSi} : Volume on diverge influence area in veh/15min
 V_{DS} : Flow rate on diverge influence area in veh/hour
 V_{Ui} : Upstream volume of freeway in veh/15min
 V_{Di} : Downstream volume of freeway in veh/15min
 V_{DU} : Upstream flow rate on diverge influence area in veh/hour
 V_{DD} : Downstream flow rate on diverge influence area in veh/hour
 ν_{DU} : Upstream peak flow rate on in veh/hour
 ν_{DD} : Downstream peak flow rate on in veh/hour
 V_{Ri} : Diverge ramp volume in veh/15min
 V_{RI} : Diverge ramp flow rate in veh/hour
 S_U : Time mean speed on upstream detector in km/hour
 S_D : Time mean speed on downstream detector in km/hour
 S_{DI} : Space mean speed on diverge influence area in km/hour
 O_{Ui} : Occupancy on upstream detector in %
 O_{Di} : Occupancy on downstream detector in %
 L_i : Length of a vehicle
 d : Length of a detector itself
 S_{Ui} : Speed on upstream detector in km/hour
 S_{Di} : Speed on downstream detector in km/hour
 T : Time interval in hour
 n_1 : Number of vehicles observed on upstream detector
 n_2 : Number of vehicles observed on downstream detector
 D_{Di} : Average delay(15min) on diverge influence area in sec/veh
 T_{DI} : Average travel time on diverge influence area in sec/veh
 T_{MS} : Maximum travel time on diverge influence area in sec/veh
 L_{DI} : Length of diverge influence area in 450m
 S_{MS} : Maximum travel speed of mainline section in km/hour
 D : Dummy variable
 PHF : Peak hour factor

LIST OF FIGURES

Fig. 2.1	Diverge section on the urban freeway interchange	6
Fig. 2.2	Average flow rate depending on the directions	9
Fig. 2.3	Average flow rate depending on the periods	10
Fig. 2.4	Average peak flow rate depending on the directions	11
Fig. 2.5	Average upstream flow rate distribution (outbound)	12
Fig. 2.6	Average upstream flow rate distribution (inbound)	12
Fig. 2.7	Average downstream flow rate distribution (outbound)	13
Fig. 2.8	Average downstream flow rate distribution (inbound)	13
Fig. 2.9	Average off-ramp flow rate distribution	14
Fig. 2.10	Average speed depending on the directions	16
Fig. 2.11	Average speed depending on the periods	17
Fig. 2.12	Average peak speed depending on the directions	18
Fig. 2.13	Average speed distribution (outbound)	19
Fig. 2.14	Average speed distribution (inbound)	19
Fig. 2.15	Average occupancy depending on the directions	21
Fig. 2.16	Average occupancy depending on the periods	22
Fig. 2.17	Average peak occupancy depending on the directions	23
Fig. 2.18	Average upstream occupancy distribution (outbound)	24
Fig. 2.19	Average upstream occupancy distribution (inbound)	24

Fig. 2.20 Average downstream occupancy distribution (outbound)	25
Fig. 2.21 Average downstream occupancy distribution (inbound)	25
Fig. 2.22 Average delay depending on the directions and periods	27
Fig. 2.23 Average peak delay depending on the directions	28
Fig. 2.24 Average delay distribution (outbound)	29
Fig. 2.25 Average delay distribution (inbound)	29
Fig. 2.26 Relationship between flow rate and speed	30
Fig. 4.1 Outbound tested	36
Fig. 4.2 Inbound tested	37
Fig. 4.3 Daytime tested	38
Fig. 4.4 Nighttime tested	39
Fig. 4.5 Both of directions tested	40

LIST OF TABLES

Table 2.1	Average flow rate depending on the directions (vphpl)	9
Table 2.2	Average flow rate depending on the periods (vphpl)	10
Table 2.3	Average peak flow rate depending on the directions (vphpl)	11
Table 2.4	Average speed depending on the directions (km/hr)	16
Table 2.5	Average speed depending on the periods (km/hr)	17
Table 2.6	Average peak speed depending on the directions (km/hr)	18
Table 2.7	Average occupancy depending on the directions (%)	21
Table 2.8	Average occupancy depending on the periods (%)	22
Table 2.9	Average peak occupancy depending on the directions (%)	23
Table 2.10	Average delay depending on the directions and periods (sec/veh)	27
Table 2.11	Average peak delay depending on the directions (sec/veh)	28
Table 3.1	Delay predictive models depending on the directions constructed	33
Table 3.2	Delay predictive models depending on the periods constructed	34
Table 3.3	Delay predictive models depending on both of directions constructed	34

1. 서 론

1.1 연구 배경

일반적으로 도시고속도로(urban freeway)란 도시지역내의 가장 안전하고 효율적이며 대량의 차량통행을 허용하는 핵심 고속도로로 출·퇴근시간대를 제외하고는 거의 자유류 속도(free flow speed)를 유지하는 도로를 의미한다. 그러나 대도시지역에 있어서 대부분의 도시고속도로는 주변 우회도로의 부족과 이용차량의 집중으로 인하여 제 역할을 다하지 못하고 있다. 특히 출·퇴근시간대에는 도시고속도로의 본선구간(mainline section), 램프 접속부(ramp junction) 및 램프구간(ramp section) 상에서 비효율적인 도시고속도로 교통관리체제로 인하여 교통체증은 날로 심화되고 있다.

따라서 이러한 대도시 교통문제를 해결하기 위하여 새로운 도시고속도로의 건설과 함께 지속적으로 도로시설을 확충하는 것도 필요하지만, 기존 도시고속도로의 보다 효율적인 교통관리체계(urban freeway traffic management system, UFTMS)를 통해 효율성을 증대시키는 것이 더욱 중요한 연구과제로 대두되고 있다.

1.2 연구 목적 및 필요성

일반적으로 도시고속도로는 자유류 상태가 유지되어야 하지만, 대도시지역에서는 우회도로의 부족과 이용차량의 집중으로 도시고속도로가 자유류 상태를 유지한다는 것이 결코 쉬운 일이 아니다. 더구나, 차량의 집중정도가 과도한 출퇴근시간대에는 도시고속도로가 거의 포화상태를 보이고 있고, 비록 출·퇴근시간대가 아니라 해도

주변 서비스도로와의 연계성 부족과 비효율적인 교통관리체계로 인하여 도시고속도로의 교통문제는 한층 심화되고 있다. 그런데 지금까지 국내의 연구들은 대체적으로 고속도로의 램프 접속부에서의 용량산정 및 이론적인 모형구축에 치중하여 왔으나, 도시고속도로를 중심으로 한 램프 접속부의 실시간 교통특성분석이나 지체분석 등에 대한 연구는 거의 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 도시고속도로의 IC 분류부에서 진출차량의 집중으로 인한 본선구간의 지체와 사고가 증가하고 있다는 사실에 근거를 두고, 연구대상지역으로 정체가 심한 부산지역 내 도시고속도로의 입체교차로를 선정하여 인위적인 교통통제가 이루어지지 않는 진출램프 분류부를 중심으로 i) 실시간의 교통특성 자료조사와 분석을 실시하고, ii) 실시간 교통특성의 상호 관계를 중심으로 지체예측모형을 구축하며, iii) 구축된 지체예측모형에 근거하여 도시고속도로 IC 분류부의 교통관리 방안을 제시하고자 한다.

1.3 문헌 조사

본 연구와 관련하여 Lindley, J. A.¹⁾(1989)는 고속도로의 반복되는 교통체증으로 1987년에 미국에서는 약 7억 vehicle-hours 이상의 지체가 발생하였는데, 이러한 지체에 대해 시간과 연료소비 등의 사회적, 경제적 비용을 감안할 때 대략적으로 59억 불(US\$)정도의 초과비용이 유발되었다는 Federal Highway Administration(FHWA)의 연구결과를 근거로 2005년에는 약 30억 vehicle-hours 이상의 지체가 발생할 것으로 예측되었다라고 보고함으로써 고속도로의 지체가 미치는 사회적, 경제적 효과에 대해서 강조하였다.

Wattleworth, J. A. et al.²⁾(1967)은 미국 내 휴스턴과 시카고의 고속도로를 연구 대상으로 하여 고속도로의 평균속도가 40 mph(miles per hour)로 감소할 경우 교통

류(traffic flow)상에 지체가 발생하는 것으로 가정하여 오후 퇴근시간대(14:30~18:30)에 램프 접속부에 대한 적절한 통제를 가했을 때 고속도로의 지체가 약 45% 정도 감소되었음을 확인할 수 있었다고 보고함으로써 고속도로의 교통관리를 위해 램프 접속부 통제의 필요성에 대해 역설하였다.

Davis, G. A. et al.³⁾(1990)은 고속도로 접속부의 점유율(occupancy)과 진출·입 교통량이 고속도로의 교통체증에 상당한 영향을 미치고 있다는 전제하에 실시간 관측 자료를 바탕으로 선형 시계열 분석을 실시함으로써 사전에 고속도로의 교통체증에 대한 연구를 위해 교통특성분석에 대한 필요성을 강조하였다.

1998년 HCM⁴⁾(Highway Capacity Manual)에서는 모형구축을 위해서 진출·입 램프 접속부에 노즈부(Nose) 기준으로 450m의 접속부 영향권을 설정하고 이 영향권 내에서 밀도예측모형과 속도예측모형을 구축하여 일차적인 서비스 수준의 기준으로 밀도예측모형을 제시하였고, 부가적인 서비스 수준으로 속도예측모형을 제시하였다. 또한 램프 접속부의 영향권 내 밀도와 속도 예측시 램프 접속부의 진·출입 차량에 의한 실제적인 본선차량의 영향을 고려하기 위해 본선 외측의 1, 2차로 교통량(V_{12})의 예측모형을 제시함으로써 고속도로의 램프 접속부의 교통특성 예측모형을 통해 접속부의 해석능력을 증대시키려 하였다.

Thompson, N.⁵⁾(1997)은 미네소타주 고속도로의 램프접속부에 대해 첨단 통합교통관리체계(integrated corridor traffic management-ramp metering system, ICTM-RMS)를 구축하여 실시한 결과 고속도로의 본선교통량이 약 30%이상 증대하였고, 또한 본선구간의 속도가 약 60%정도 증가하였다고 보고함으로써 고속도로 램프 접속부의 효율성 증대를 위해 첨단교통관리체계 구축의 필요성을 강조하였다.

Masao K. et al.⁶⁾(1991)은 동경도 고속도로의 속도와 용량특성을 비교·분석하였는데, 특히 고속도로의 본선구간과 램프 접속부의 용량 비교에서 접속부에서의 용량은 본선구간의 용량에 비하여 진출·입 차량의 엇갈림(weaving)으로 인하여 12%~26% 정도 감소하였다고 보고함으로써 고속도로 램프 접속부 상에서 용량감소를

강조하였다.

우리나라 도로용량편람(KHCM)⁷⁾(1992)에서는 고속도로 램프 접속부의 분석으로 1985년 HCM⁸⁾(1985)의 분석방법론을 근간으로 하고 있으며, 국내 고속도로의 접속 운행특성과 운전자의 운전습관 등을 바탕으로 본선 접속차로 교통량(V_1) 예측모형 및 서비스 수준 평가의 효과적으로 램프 접속부의 최대서비스 교통량을 우리 실정에 맞게 수정하여 제시하고 있으나, 우리나라의 분석방법은 독립된 램프 접속부만을 대상으로 제시되었기 때문에 독립된 램프 접속부 이외의 형태에 관해서는 1985년 HCM을 적용하도록 하고 있다.

김정훈과 김태곤⁹⁾(2000)은 미국의 디트로이트 권역 내 동서방향으로 부도심지역(suburban area)과 도심지역(urban area)을 통과하는 고속도로 I-94(미국 미시간주 디트로이트 지역에서 일리노이주 시카고까지 연결되는 제한속도 70 mph의 양방향 6차로 고속도로)를 연구대상 고속도로로 선정하여 다양한 실시간 조사 자료를 바탕으로 한 실험연구의 결과, 고속도로의 램프 접속부에서의 교통특성 변화와 그에 따른 영향이 반영된 램프 접속부의 하향 점유율이 9% 이상 또는 미만을 기준으로 모형을 구축하는 것이 설명력을 증대시킨다는 사실을 제시함으로써 고속도로 램프 접속부의 지체예측모형과 점유율의 높은 상관성을 강조하였다.

1.4 연구내용 및 방법

본 연구대상은 부산지역 내 양방향 4차로 도시고속도로인 원동 IC(도시고속도로의 주요 지점에 속도 감시 카메라가 설치·가동되고 있음)의 트럼펫 A형 입체교차로(차로폭원 3.7m, 도심방향 감속차로 160m, 부도심방향 감속차로 130m, 본선 제한속도 80km/hr, 램프 제한속도 50km/hr)의 분류부(diverge sections)로서 450m 간격으로 검지기(NC-97)를 설치하였다. 설치된 검지기로부터 매 15분 단위로 1일 24시간

씩 그리고 2주일 동안 실시간으로 관측된 교통량, 속도 및 점유율 자료(master database)를 수집하여 결측치가 발견되는 자료를 제거한 후 부도심방향(outbound)과 도심방향(inbound)으로 방향별로 분류하였고, 전형적인 첨두시간대의 구분이 명확치가 않기 때문에 주간시간대(daytime ; 07:00~19:00)와 야간시간대(nighttime ; 19:00~07:00)로 분류하여 교통특성분석, 모형구축 및 검증이 이루어졌다. 또한 출·퇴근 시간대의 교통특성을 파악하기 위해 출근시간대(morning rush hour, 07:00~10:00)와 퇴근시간대(afternoon rush hour, 16:00~19:00)로 분리하여 교통특성분석이 이루어졌다.

특히, 본 연구의 교통특성분석과 모형구축 및 검증을 위해 Excel 2002와 SAS(ver 6.12)가 실시간 자료와 함께 사용되었다.

2. 교통특성분석

본 연구에서는 도시고속도로의 IC 분류부의 상·하향 검지기(Nu-Metrics, NC - 97)에서 관측된 실시간의 교통량, 속도 및 점유율 자료와 상·하향 검지기로부터 산정된 램프교통량 자료를 부도심방향(outbound), 도심방향(inbound), 그리고 주간시간대(daytime ; 07:00~19:00)와 야간시간대(nighttime ; 19:00~07:00)로 분류하여 분석하였고, 특히 주간시간대의 자료에서 오전 출근시간대(morning rush hour, 07:00~10:00)와 오후 퇴근시간대(afternoon rush hour, 16:00~19:00)의 자료를 분리하여 출·퇴근시간대의 교통특성파악을 실시하였다. 본 연구대상 도시고속도로 IC 분류부의 개념도는 다음과 같다(참조 Fig. 2.1).

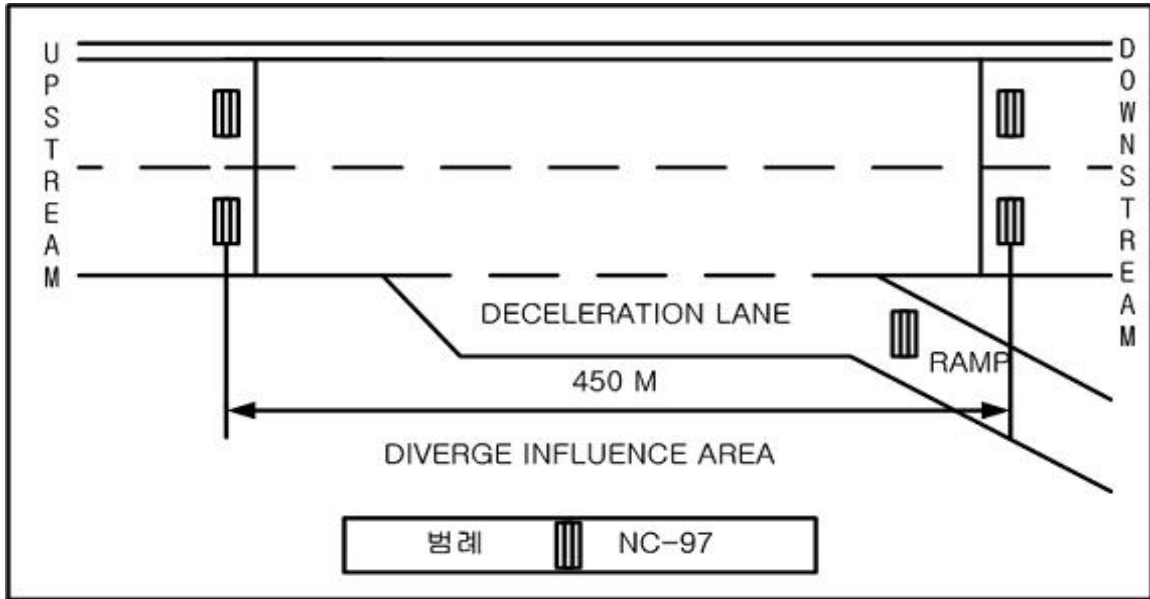


Fig. 2.1 Diverge section on the urban freeway interchange

2.1 교통류율

교통류율(traffic flow rate)은 단위시간동안 검지기를 통과한 차량의 수를 의미하고, 일반적으로 교통류율의 단위는 vehicle per hour(vph)로 표현되며, 연구대상 분류부의 상·하향 교통류율(vph), 상·하향 침두교통류율(vph), 진출램프 교통류율(vph)은 다음과 같이 산정된다.

$$V_{DSi} = V_{Ui} - V_{Ri} \quad (2.1)$$

$$V_{DS} = V_{DU} - V_{RI} \quad (2.2)$$

$$V_{DU} = \sum_{i=1}^4 V_{Ui} \quad (2. 3)$$

$$V_{DD} = \sum_{i=1}^4 V_{Di} \quad (2. 4)$$

$$\nu_{DU} = \frac{V_{DU}}{PHF} \quad (2. 5)$$

$$\nu_{DD} = \frac{V_{DD}}{PHF} \quad (2. 6)$$

$$V_{RI} = \sum_{i=1}^4 V_{Ri} \quad (2. 7)$$

V_{DSi} : 단위시간의 분류부 교통량(veh/15min)

V_{DS} : 분류부의 교통류율(vph)

V_{Ui} : 단위시간의 분류부 상향 교통량(veh/15min)

V_{Di} : 단위시간의 분류부 하향 교통량(veh/15min)

V_{DU} : 분류부의 상향 교통류율(vph)

V_{DD} : 분류부의 하향 교통류율(vph)

ν_{DU} : 분류부의 상향 첨두교통류율(vph)

ν_{DD} : 분류부의 하향 첨두교통류율(vph)

PHF : 첨두시간계수

V_{Ri} : 단위시간의 진출램프 교통량(veh/15min)

V_{RI} : 진출램프 교통류율(vph)

($i = 1, 2, 3, 4$)

본 연구대상 도시고속도로의 IC 분류부를 중심으로 단위시간동안에 산정된 교통류율의 특성분석결과, 부도심방향(outbound)과 도심방향(inbound)에서 뚜렷한 침투 현상은 발견할 수 없었으며, 부도심방향(outbound)의 교통류율이 도심방향(inbound)보다 약 36%정도 높게 나타났고, 주간시간대(daytime) 교통류율은 야간시간대(nighttime)보다 약 73%정도 높게 나타났다. 특히, 부도심방향과 도심방향의 교통류율은 주간시간대 전체에 걸쳐 집중하고 있는 반면, 야간시간대에는 상대적으로 낮은 집중률을 나타냈다. 그리고 진출 램프교통류율(exit ramp flow rate)의 실시간 통행 특성을 살펴보면, 부도심방향의 램프교통류율은 도심방향과 비교하여 한층 높게 나타났다으며, 주간시간대에 진출하는 램프교통류율이 야간시간대보다 상대적으로 높은 것으로 나타났다(참조 Fig. 2.2, 2.3, 2.5 ~ 2.9 & Table 2.1, 2.2).

특히, 전일시간대의 교통류율을 기준으로 오전 출근시간대와 오후 퇴근시간대의 교통류율을 비교해 볼 때, 오전 출근시간대의 경우 부도심방향에서 약 28.4%, 도심방향에서 약 11.2%의 집중률 증가를 나타낸 반면에 오후 퇴근시간대의 경우 부도심방향에서 약 22.8%, 도심방향에서 약 63.6%의 상대적으로 높은 집중률을 나타내고 있었다(참조 Fig. 2.4 & Table 2.3).

위의 결과로부터, 도시고속도로의 IC 분류부에서는 상향 교통류율과 진출 램프교통류율의 변화에 따라 시간대별, 방향별로 적합한 도시고속도로 교통관리체계가 수립되어야 하고, 특히 도심방향의 오후 퇴근시간대에 대해서는 분류부의 교통문제를 감축시킬 수 있도록 도시고속도로와 서비스도로의 교통관리체계가 적극 검토되어야 할 것으로 생각되었다.

Table 2.1 Average flow rate depending on the directions (vphpl)

Sections Directions	upstream	ramp	downstream
outbound	932	558	374
inbound	687	133	554

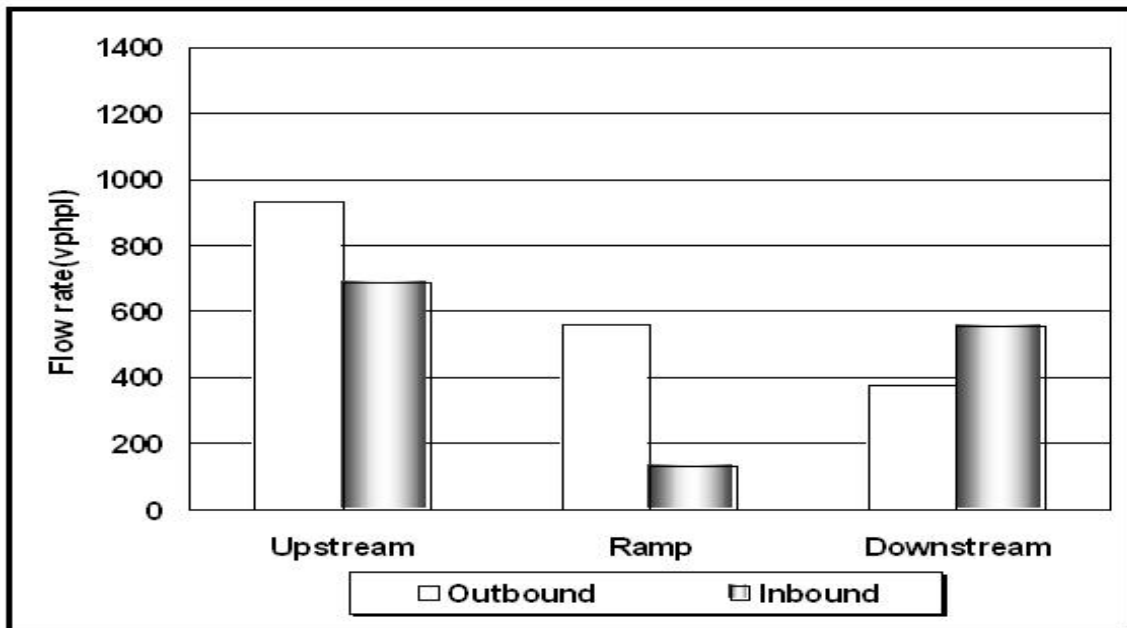


Fig. 2.2 Average flow rate depending on the directions

Table 2.2 Average flow rate depending on the periods (vphpl)

Sections \ Periods	upstream	ramp	downstream
daytime	1025	430	595
nighttime	594	261	333

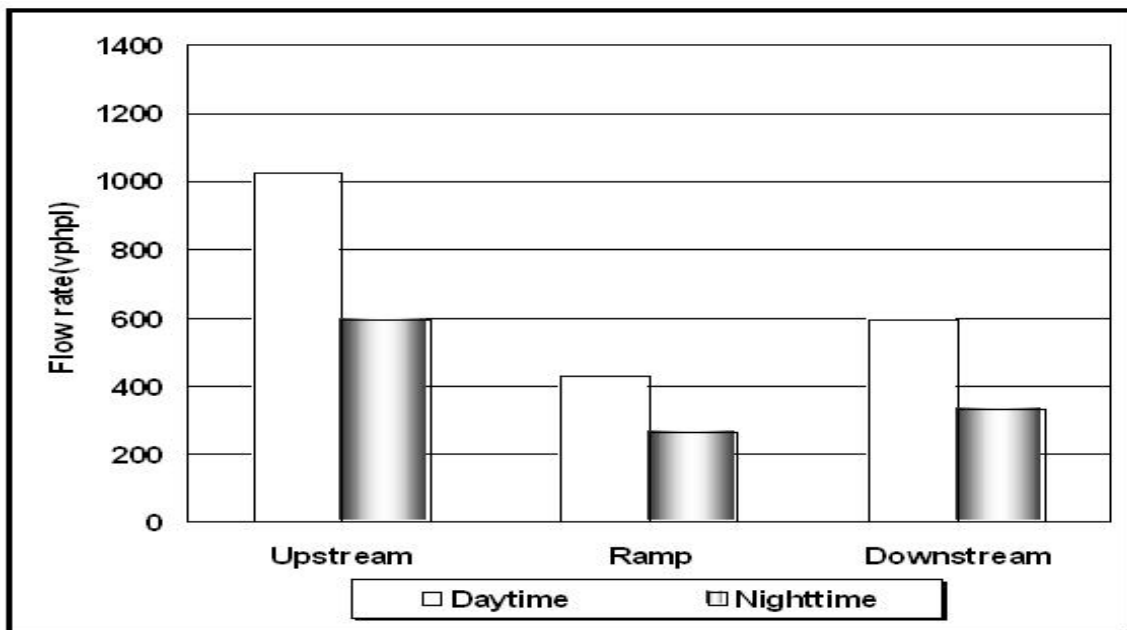


Fig. 2.3 Average flow rate depending on the periods

Table 2.3 Average peak flow rate depending on the directions (vphpl)

Directions	Periods				
	24 Hours average flow	AM peak	Change (%)	PM peak	Change (%)
outbound	932	1197	28.4	1144	22.8
inbound	687	764	11.2	1124	63.6

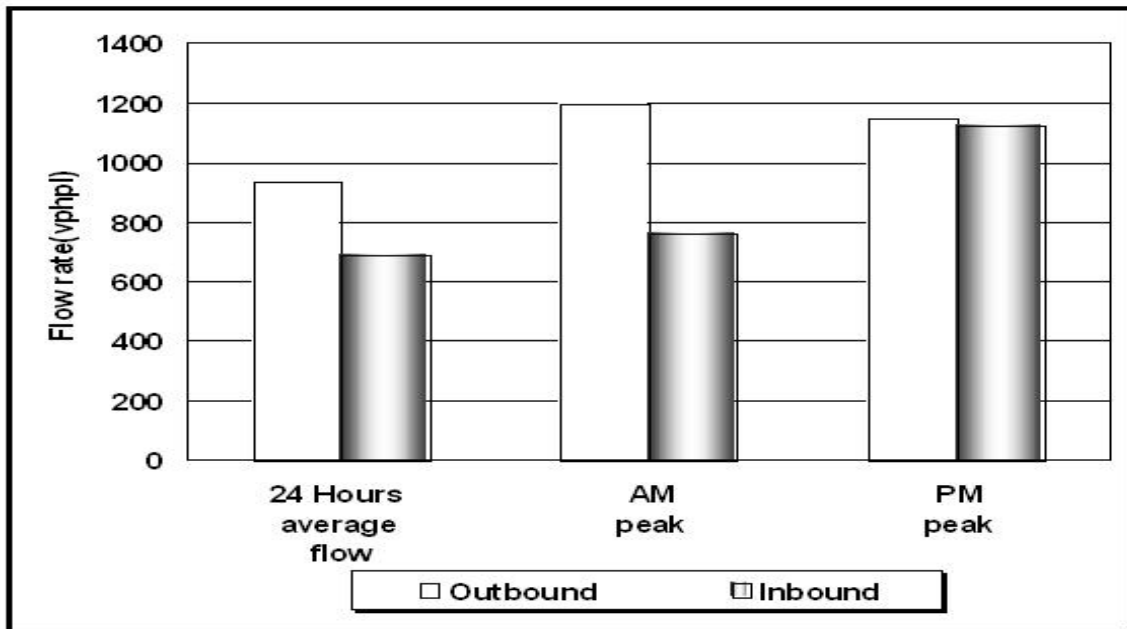


Fig. 2.4 Average peak flow rate depending on the directions

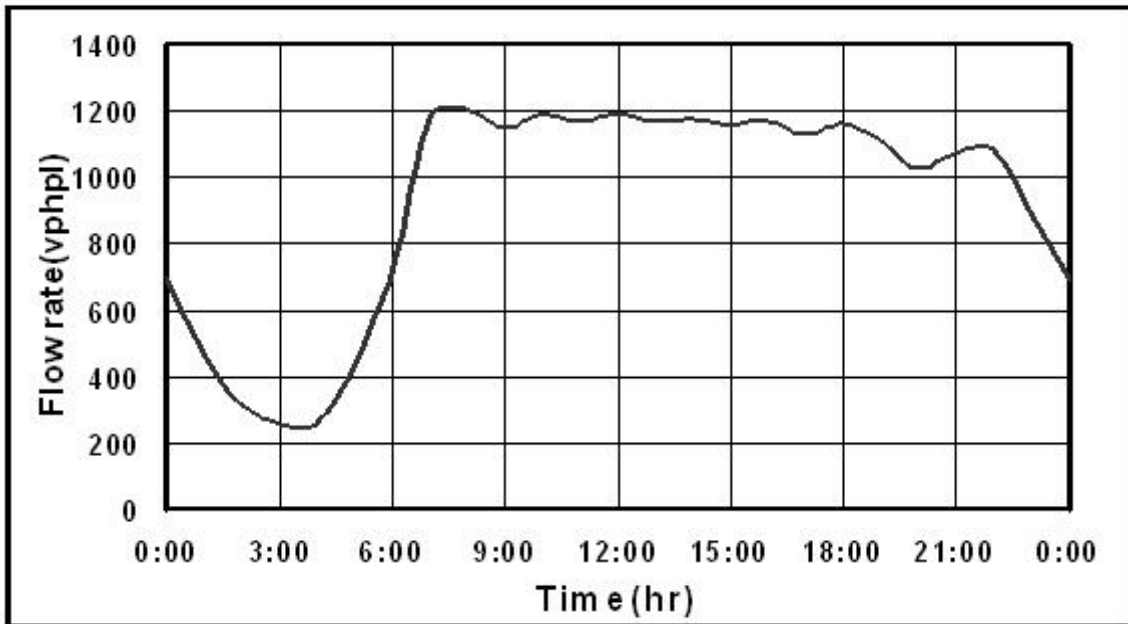


Fig. 2.5 Average upstream flow rate distribution (outbound)

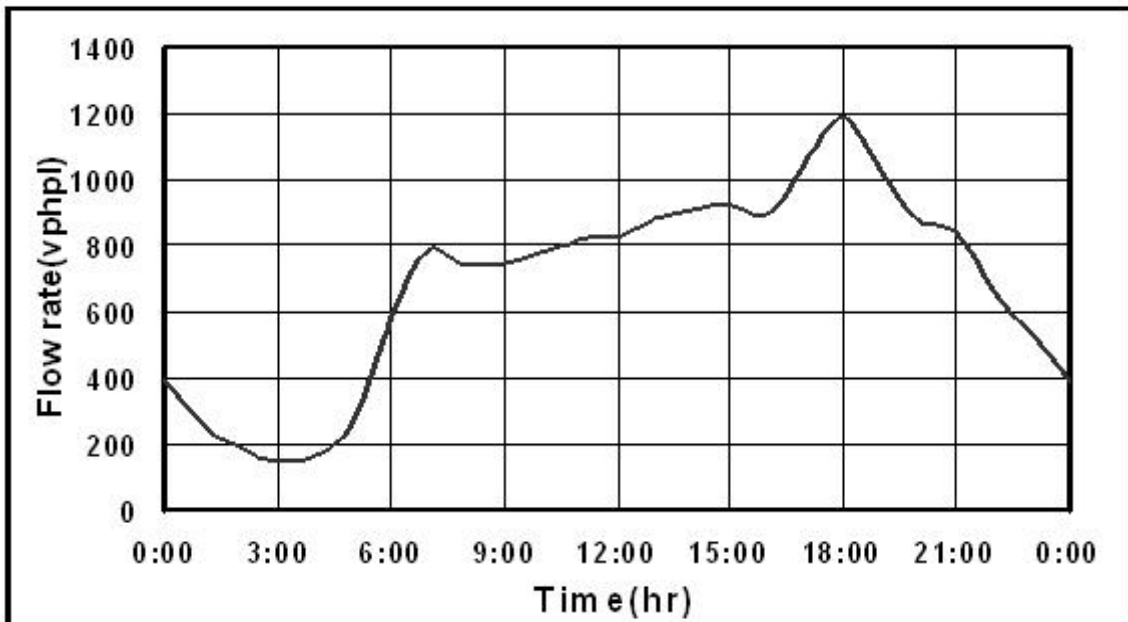


Fig. 2.6 Average upstream flow rate distribution (inbound)

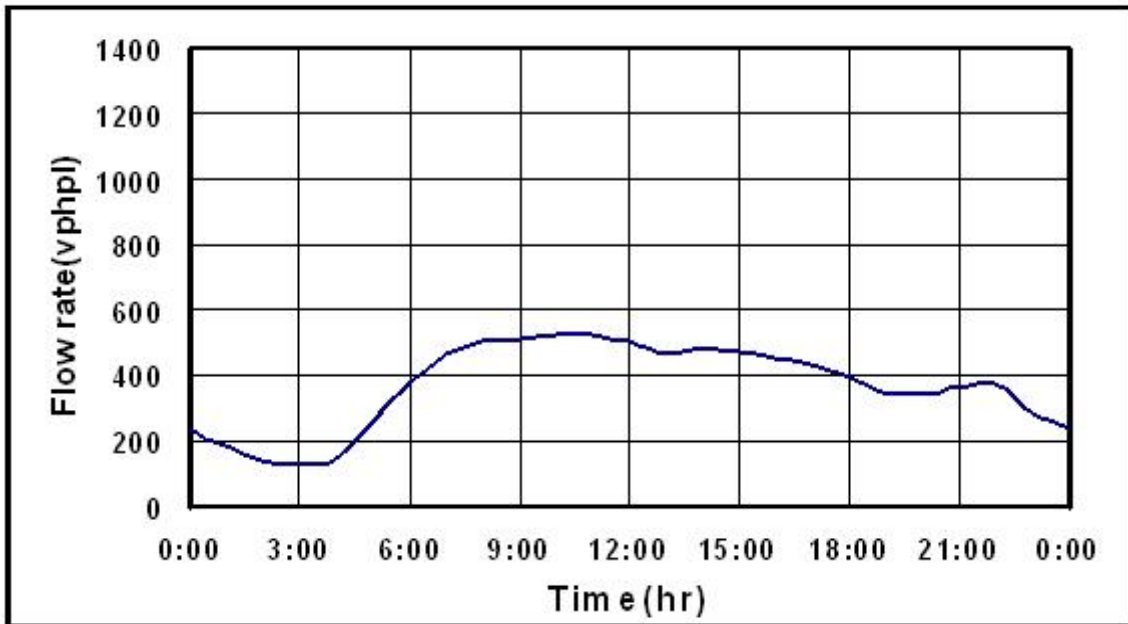


Fig. 2.7 Average downstream flow rate distribution (outbound)

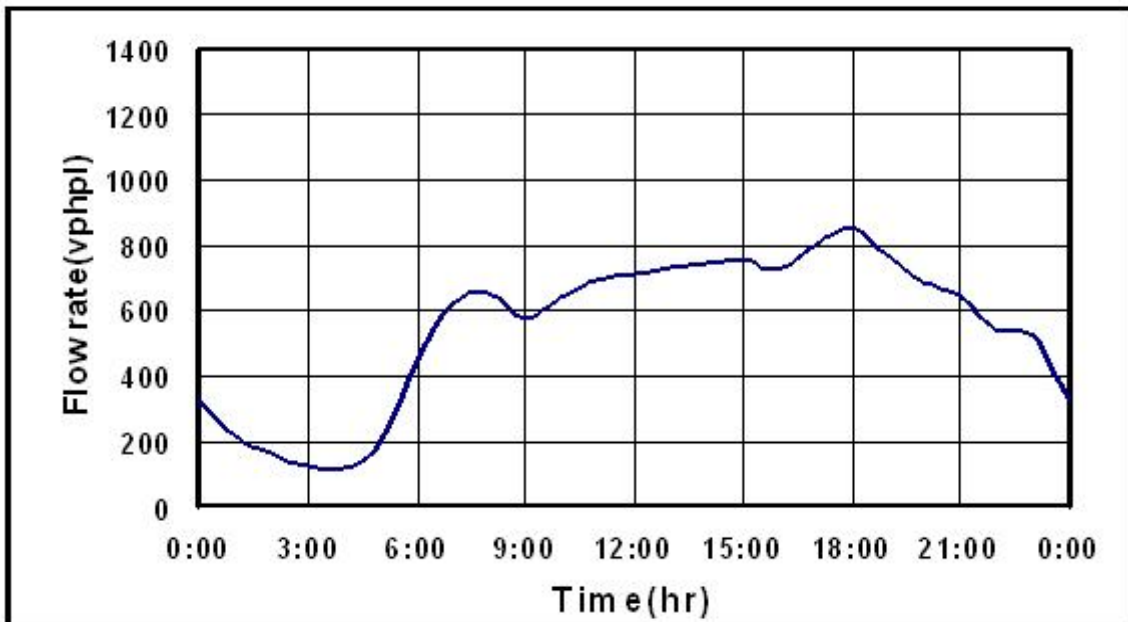


Fig. 2.8 Average downstream flow rate distribution (inbound)

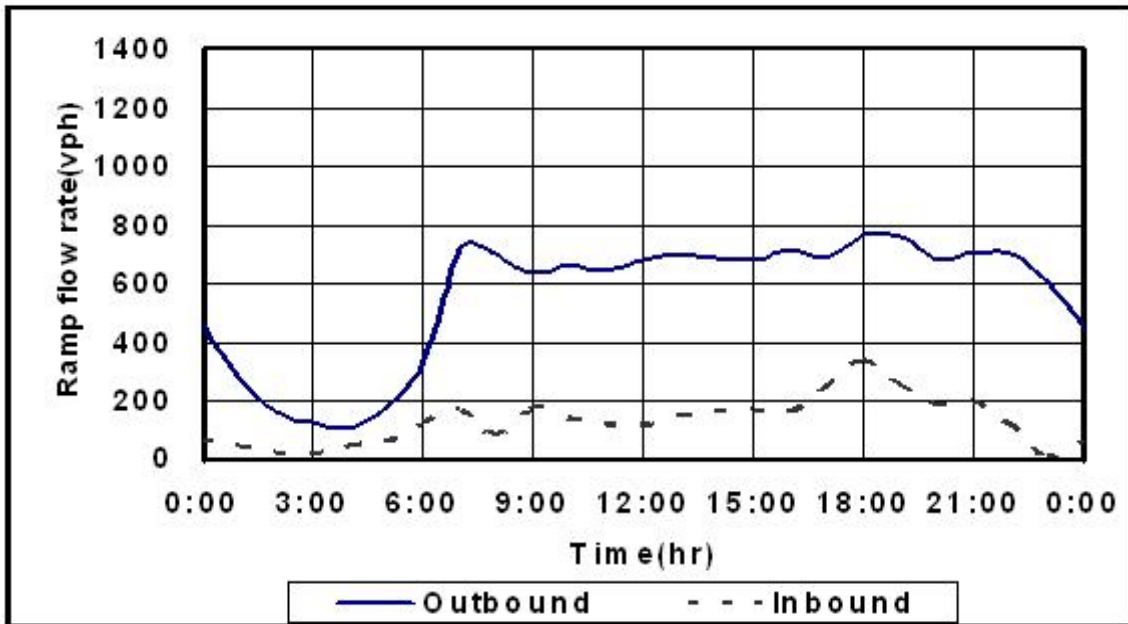


Fig. 2.9 Average off-ramp flow rate distribution

2.2 속도

속도(speed)는 차량의 단위시간당 주행거리로서 그 단위는 kilometer per hour(km/hr)로 표현된다. 본 연구대상 도시고속도로의 IC 분류부에서 상·하향 지점 속도와 공간평균속도는 다음과 같이 산정된다.

$$S_{DI} = \frac{1}{\frac{1}{n_1 + n_2} \left(\frac{n_1}{S_U} + \frac{n_2}{S_D} \right)} \quad (2.8)$$

$$S_U = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} S_{Ui}}{n_1} \quad (2.9)$$

$$S_D = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} S_{Di}}{n_2} \quad (2.10)$$

S_{DI} : 분류부의 공간평균속도(km/hr)

S_U : 분류부의 상향 지점속도(km/hr)

S_D : 분류부의 하향 지점속도(km/hr)

S_{Ui} : 분류부의 상향 차량의 개별 속도(km/hr)

S_{Di} : 분류부의 하향 차량의 개별 속도(km/hr)

n_1 : 관측된 상향 차량 수(veh/15min)

n_2 : 관측된 하향 차량 수(veh/15min)

본 연구대상 도시고속도로의 IC 분류부를 중심으로 산정된 공간평균속도의 특성을 살펴보면, 부도심방향이 도심방향보다 약간 높게 나타났고 주간시간대가 야간시간대보다 다소 낮게 나타났다. 한편, 도시고속도로의 IC 분류부에서 속도는 상향 속도와 비교해서 부도심방향에서는 진출차량에 관계없이 증가한 반면에 도심방향에서는 분류부의 진출차량의 집중 영향으로 인하여 감소하는 것으로 나타났다(참조 Fig. 2.10, 2.11, 2.13, 2.14 & Table 2.4, 2.5).

특히 전일시간대를 기준으로 오전 출근시간대와 오후 퇴근시간대의 평균속도를 비교해 볼 때, 출·퇴근차량의 집중으로 인해서 부도심방향 오후 퇴근시간대에서 1.9km/hr, 도심방향 오전 출근시간대에서 4.2km/hr 정도의 속도 감소를 보인 반면

에, 부도심방향 오전 출근시간대와 도심방향 오후 퇴근시간대의 경우는 속도 차의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다(참조 Fig. 2.12 & Table 2.6).

위의 결과로부터, 도시고속도로 IC 분류부의 속도관리방안은 도심방향의 오전·오후 출퇴근시간대(07:00~10:00, 16:00~19:00)에 본선 및 진출 램프 교통류율의 집중도를 적절히 조절하여 본선상의 통행속도를 최대로 유지시킬 수 있는 도시고속도로 교통관리체계가 수립되어야 할 것으로 생각되었다.

Table 2.4 Average speed depending on the directions (km/hr)

Sections Directions	upstream	diverge section	downstream
outbound	59.1	61.5	68.4
inbound	66.5	61.3	56.2

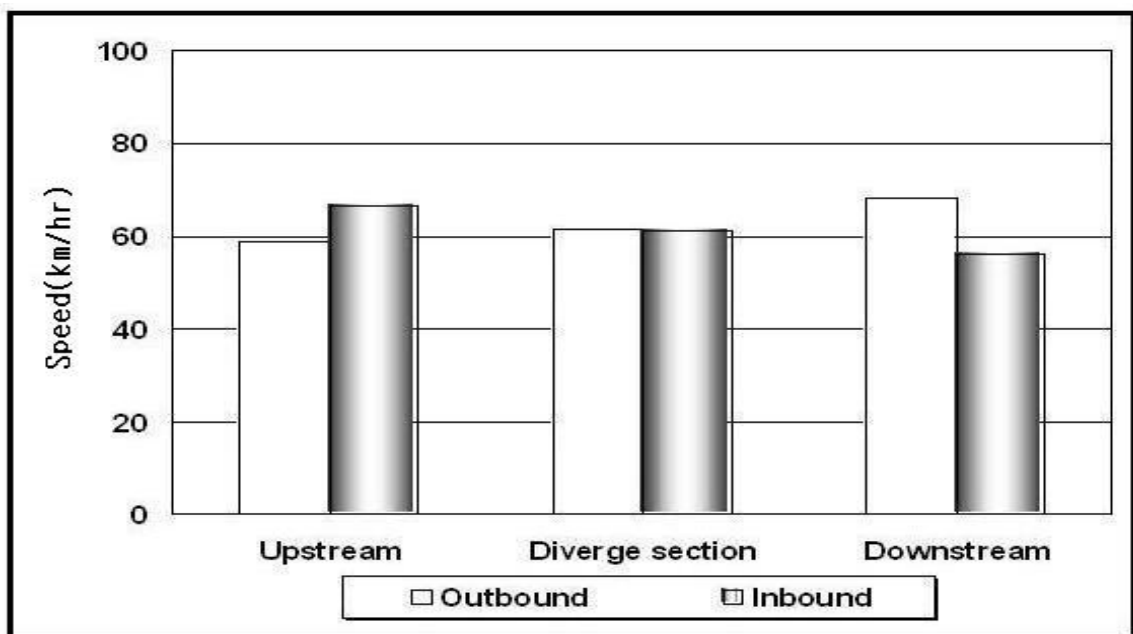


Fig. 2.10 Average speed depending on the directions

Table 2.5 Average speed depending on the periods (km/hr)

Sections \ Periods	upstream	diverge section	downstream
daytime	59.7	58.0	59.0
nighttime	66.0	64.7	65.5

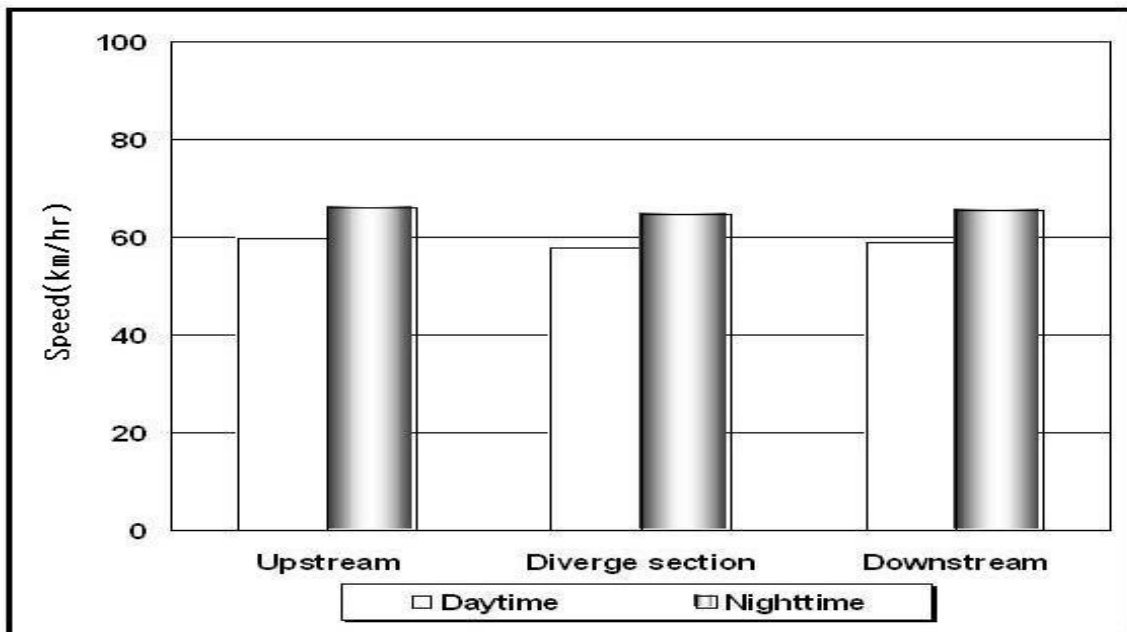


Fig. 2.11 Average speed depending on the periods

Table 2.6 Average peak speed depending on the directions (km/hr)

Directions	Periods				
	24 Hours average speed	AM peak	Change	PM peak	Change
outbound	61.5	61.9	0.4	59.6	-1.9
inbound	61.3	57.1	-4.2	61.6	0.3

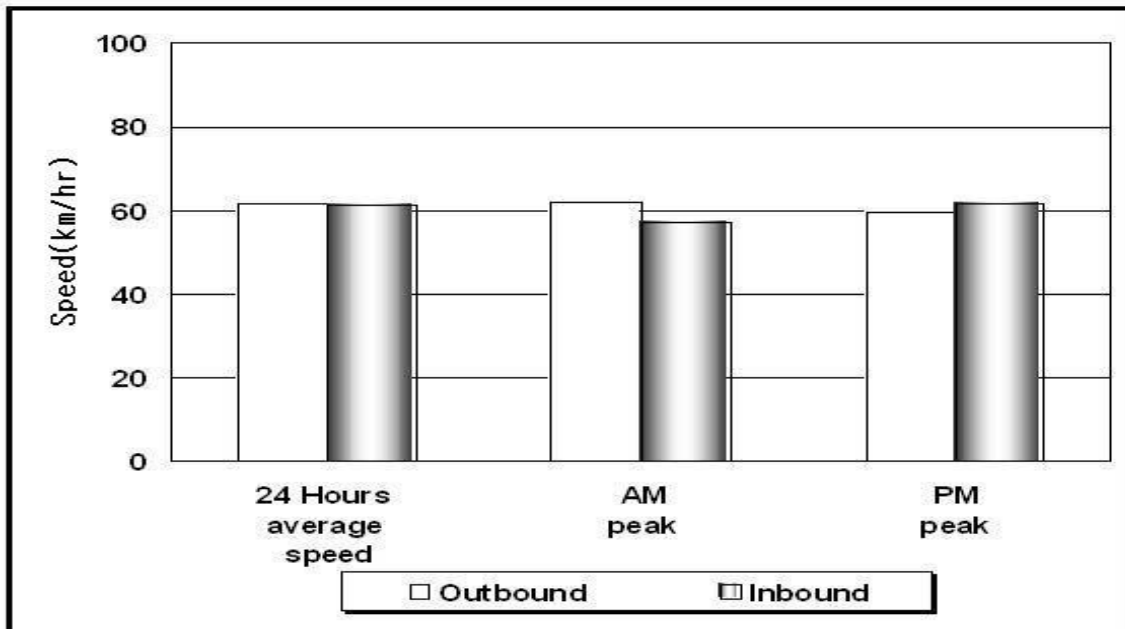


Fig. 2.12 Average peak speed depending on the directions

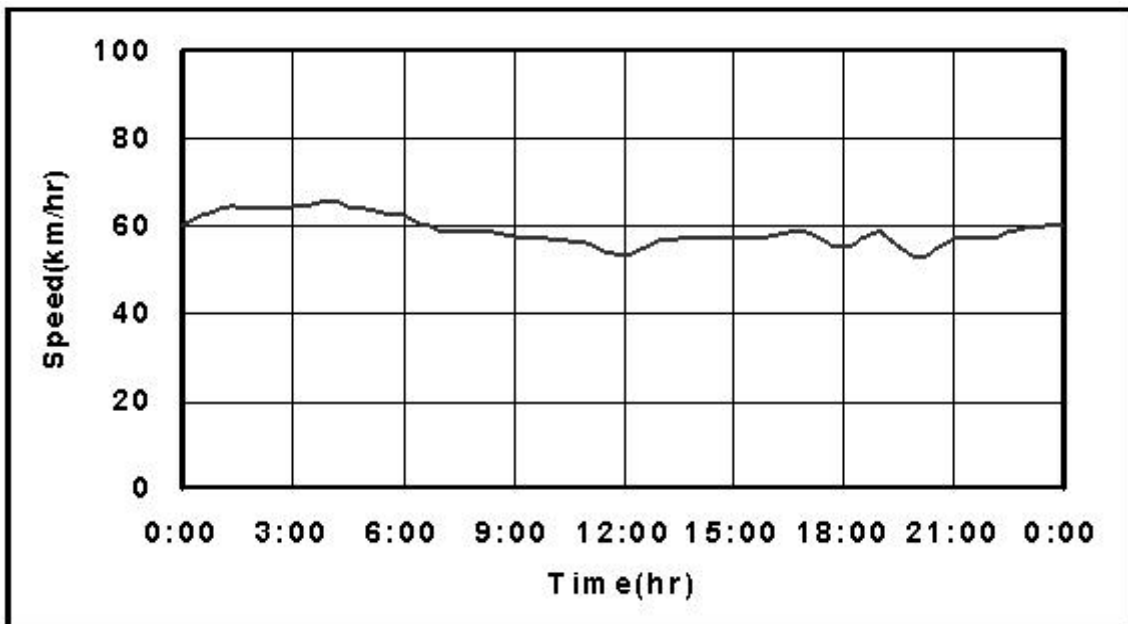


Fig. 2.13 Average speed distribution (outbound)

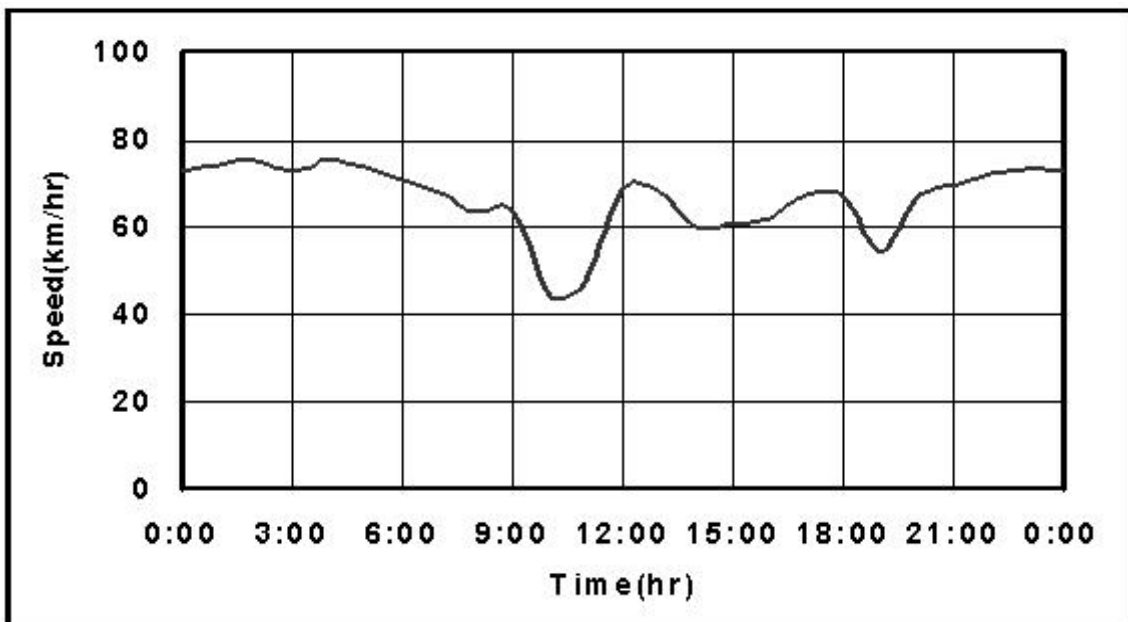


Fig. 2.14 Average speed distribution (inbound)

2.3 점유율

점유율(occupancy)은 차량이 도로의 검지기상에서 머무르는 시간의 비율로서 퍼센트(%)로 표현되며, 단위시간동안 각각의 차량에 대해서 속도, 길이, 그리고 검지기의 길이를 이용하여 다음과 같이 나타낸다.

$$O_{Ui} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} (L_i + d) / S_{Ui}}{T} \quad (2. 11)$$

$$O_{Di} = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} (L_i + d) / S_{Di}}{T} \quad (2. 12)$$

O_{Ui} : 분류부의 상향 평균 점유율(%)

O_{Di} : 분류부의 하향 평균 점유율(%)

L_i : 개별 차량의 길이(m)

d : 검지기 길이(m)

T : 단위시간(15min)

본 연구대상 도시고속도로의 IC 분류부를 중심으로 단위시간동안 산정된 점유율 특성은 방향별, 시간대별로 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 특히 부도심방향에서는 본선 구간 교통류율과 진출 램프교통류율의 엇갈림 영향으로 인하여 상향 점유율이 약3.9% 높았으며, 도심방향에서는 하류 합류부의 진입 램프교통류율의 영향으로 인하여 하향 점유율이 오히려 약 3.5% 높게 나타났다. 또한 주간시간대에는 하향 점유율이, 야간시간대에는 상향 점유율이 약간 높게 나타났다(참조 Fig. 2.15, 2.16, 2.18 ~ 2.21 & Table 2.7, 2.8).

특히, 전일시간대를 중심으로 부도심방향에서는 오전 출근시간대 약 1.6%, 오후 퇴

근시간대 약 1.6%의 다소 높은 점유율 증가를 보였고, 도심방향에서는 오전 출근시간대에 약 3.1%의 높은 점유율 증가를 보인 반면, 오후 퇴근시간대에는 약 1.9%의 다소 낮은 점유율 감소를 보였다(참조 Fig. 2.17 & Table 9).

위의 결과로부터, 도심방향의 오전 출근시간대(07:00~10:00)에 출근차량의 집중으로 점유율 증가와 함께 차량이 가다 서다를 반복하는 교통체증(congestion)이 발생하므로 상·하향 점유율의 변화에 따른 도시고속도로와 주변 서비스도로의 교통관리체계가 수립되어야 할 것으로 생각되었다.

Table 2.7 Average occupancy depending on the directions (%)

Sections Directions	upstream	downstream
outbound	6.4	2.5
inbound	8.5	12.0

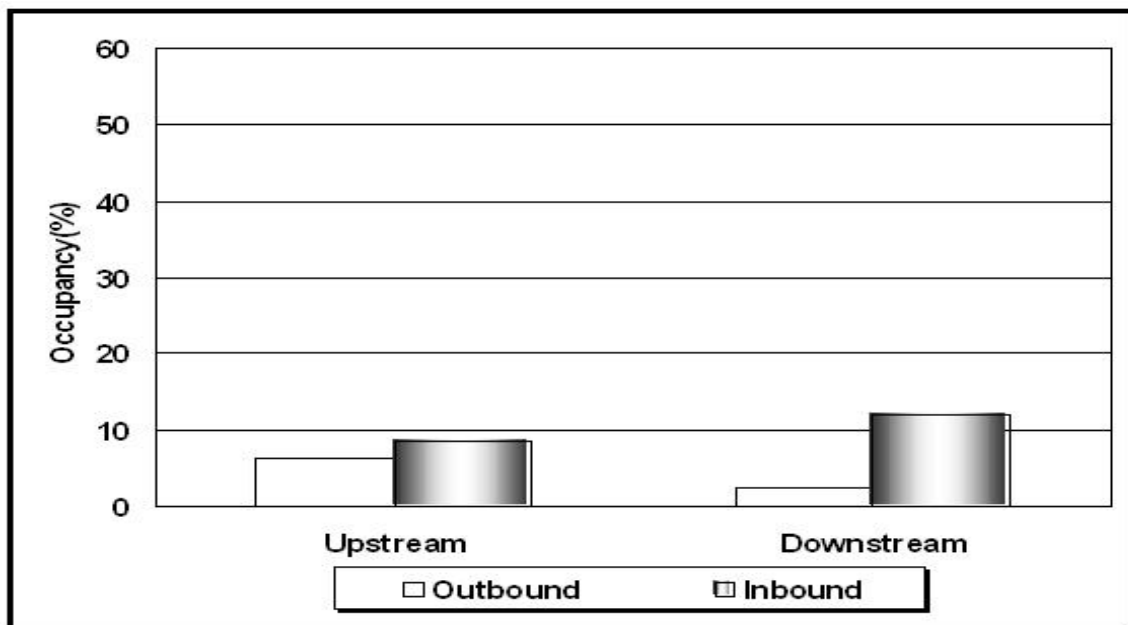


Fig. 2.15 Average occupancy depending on the directions

Table 2.8 Average occupancy depending on the periods (%)

Sections \ Periods	upstream	downstream
daytime	11.0	12.4
nighttime	3.8	2.1

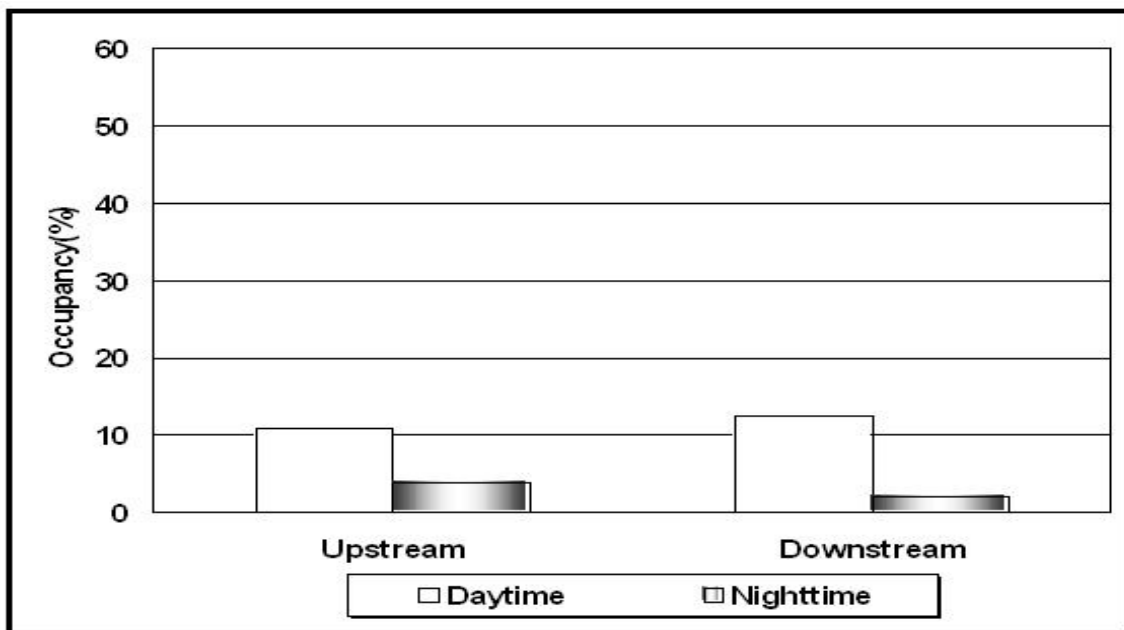


Fig. 2.16 Average occupancy depending on the periods

Table 2.9 Average peak occupancy depending on the directions (%)

Directions	Periods				
	24 Hours average occupancy	AM peak	Change	PM peak	Change
outbound	6.4	8.0	1.6	8.0	1.6
inbound	8.5	11.6	3.1	6.6	-1.9

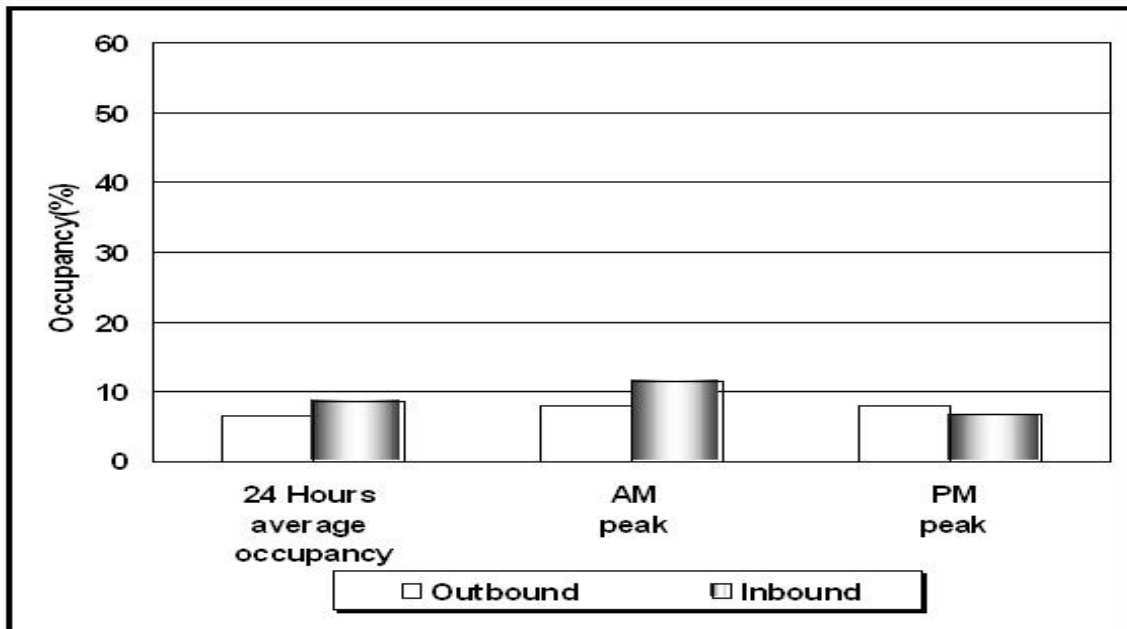


Fig. 2.17 Average peak occupancy depending on the directions

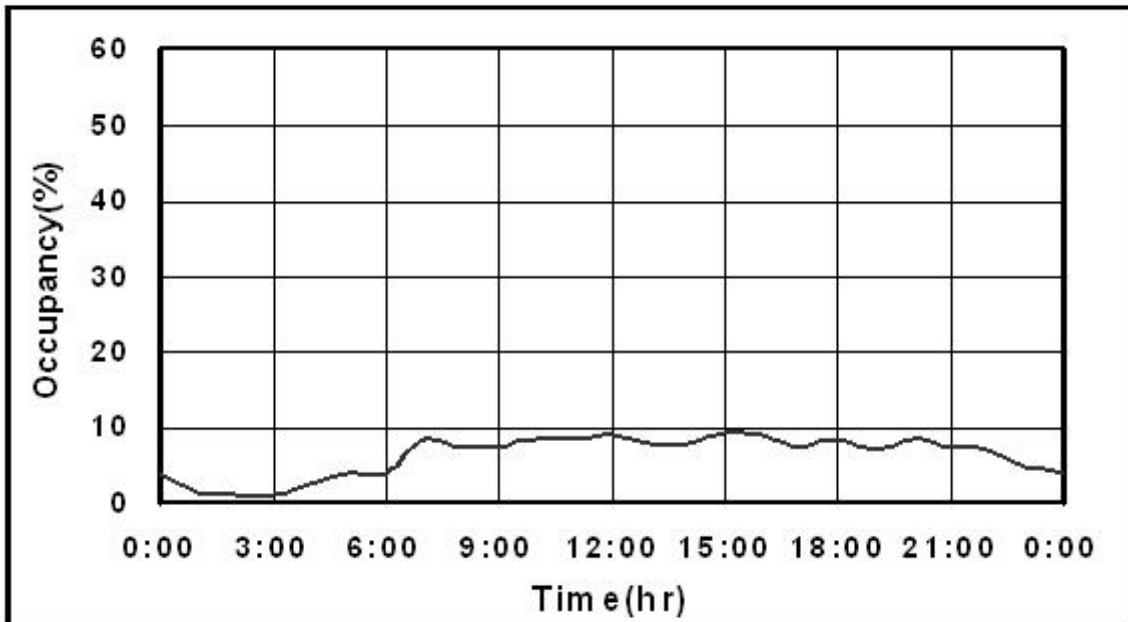


Fig. 2.18 Average upstream occupancy distribution (outbound)

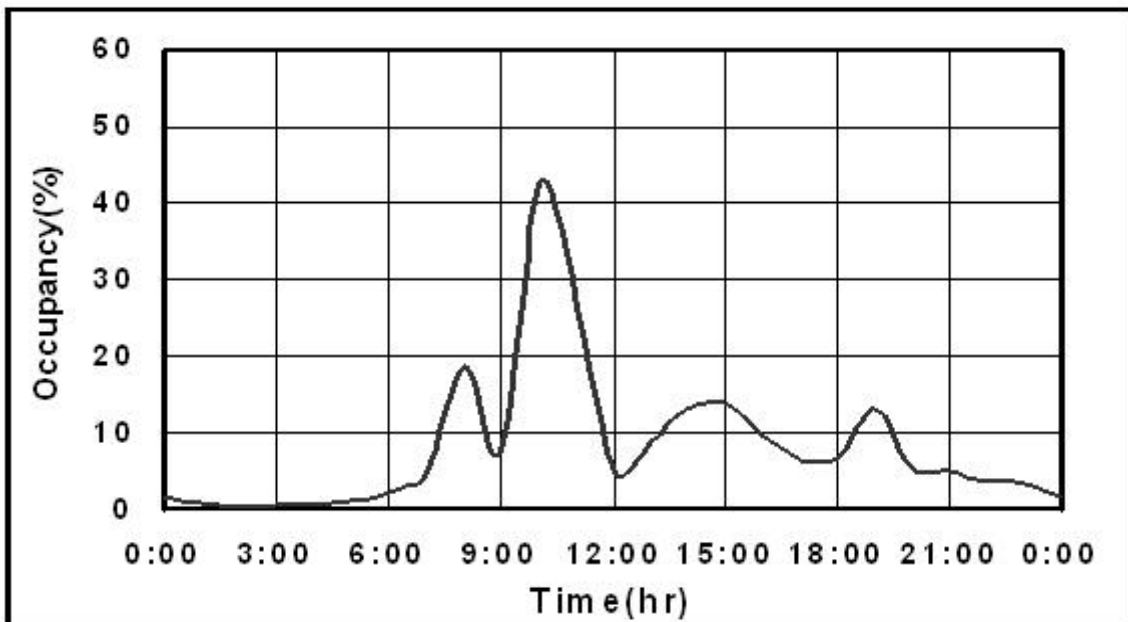


Fig. 2.19 Average upstream occupancy distribution (inbound)

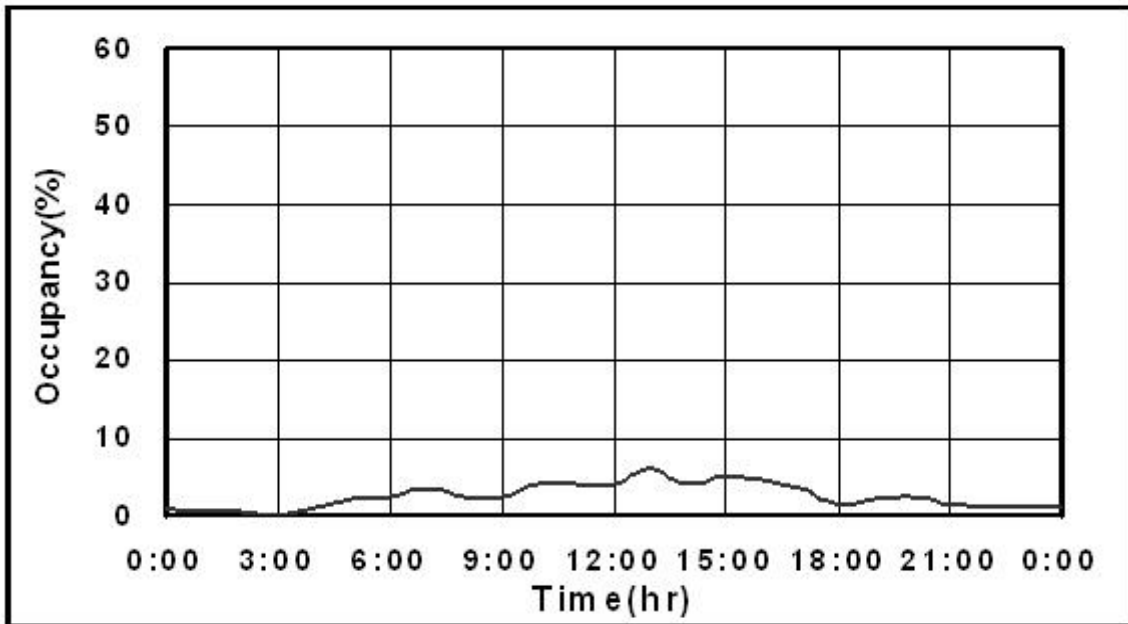


Fig. 2.20 Average downstream occupancy distribution (outbound)

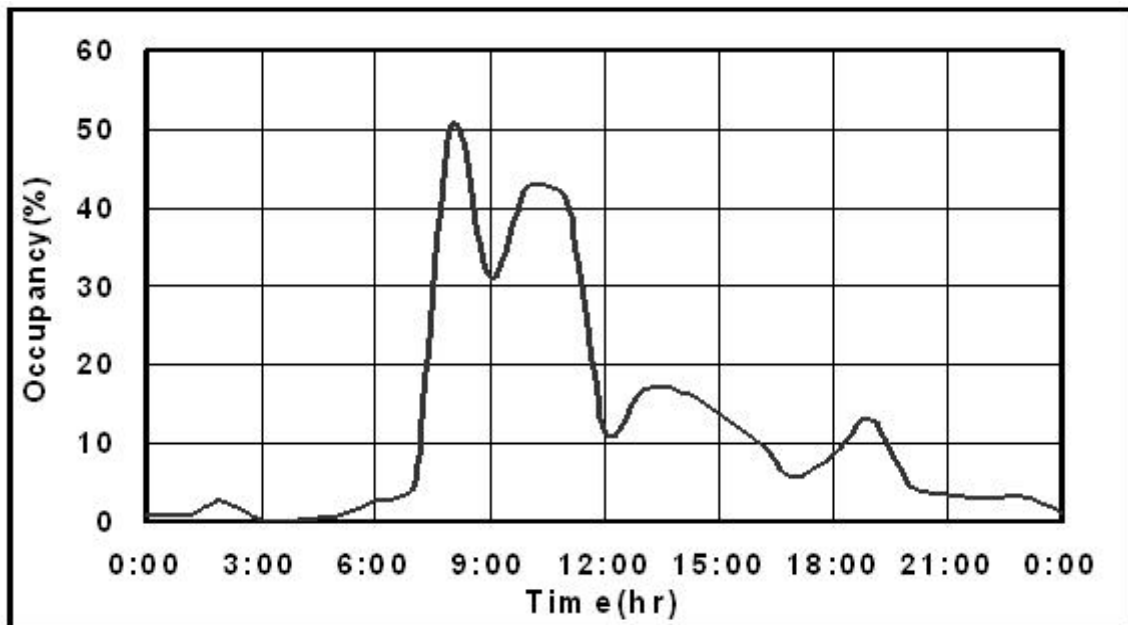


Fig. 2.21 Average downstream occupancy distribution (inbound)

2.4 지체

지체(delay)는 자유흐름(free flow) 상태의 도시고속도로 속도(최대통행속도)와 도시고속도로 IC 분류부의 공간평균속도와의 차로 인한 통행지체(travel time delay)로서 그 단위는 second per vehicle(sec/veh)이 되고 다음과 같이 나타낸다.

$$D_{Di} = T_{DI} - T_{MS} \quad (2. 13)$$

$$T_{DI} = \frac{L_{DI}}{S_{DI}} \quad (2. 14)$$

$$T_{MS} = \frac{L_{DI}}{S_{MS}} \quad (2. 15)$$

D_{Di} : 단위시간(15min)동안 분류부의 평균통행지체(sec/veh)

T_{DI} : 분류부의 평균통행시간(sec/veh)

T_{MS} : 분류부의 최대통행시간(sec/veh)

L_{DI} : 검지기가 설치된 분류부의 길이(450m)

S_{DI} : 분류부의 공간평균속도(km/hr)

S_{MS} : 본선구간의 최대통행속도(km/hr)

본 연구대상 도시고속도로의 IC 분류부를 중심으로 단위시간동안 산정된 평균통행지체 특성은 다음과 같이 나타났다. 특히, 차량의 집중으로 방향별로는 부도심방향에 비하여 도심방향의 통행지체가 다소 높게 나타났으며, 시간대별로는 주간시간대가 야간시간대에 비하여 상대적으로 지체가 높게 나타났다(참조 Fig. 2.22, 2.24, 2.25 & Table 2.10).

특히, 전일시간대를 중심으로 부도심방향에서는 오전 출근시간대에 약 2.2%의 지체 감소율을 보였으나, 오후 퇴근시간대에는 약 8.7%의 지체증가율을 보였고, 도심방향에서는 오전 출근시간대에 약 22.2%의 높은 지체증가율을 보였으나, 오후 퇴근시간대에는 약 8.8%의 지체감소율을 보였다(참조 Fig. 2.23 & Table 2.11).

위의 결과로부터, 도시고속도로의 IC 분류부에서는 도심방향의 오전 출근시간대(07:00~10:00)에 진출 램프교통류율의 집중으로 통행지체가 한층 증가하고 있으므로 그 시간대에 분류부에서 지체를 감소시킬 수 있는 도시고속도로와 주변 서비스도로의 교통관리체계가 수립되어야 할 것으로 생각되었다.

Table 2.10 Average delay depending on the directions and periods (sec/veh)

Directions	Delay	Periods	Delay
Outbound	9.2	Daytime	11.2
Inbound	9.9	Nighttime	8.0

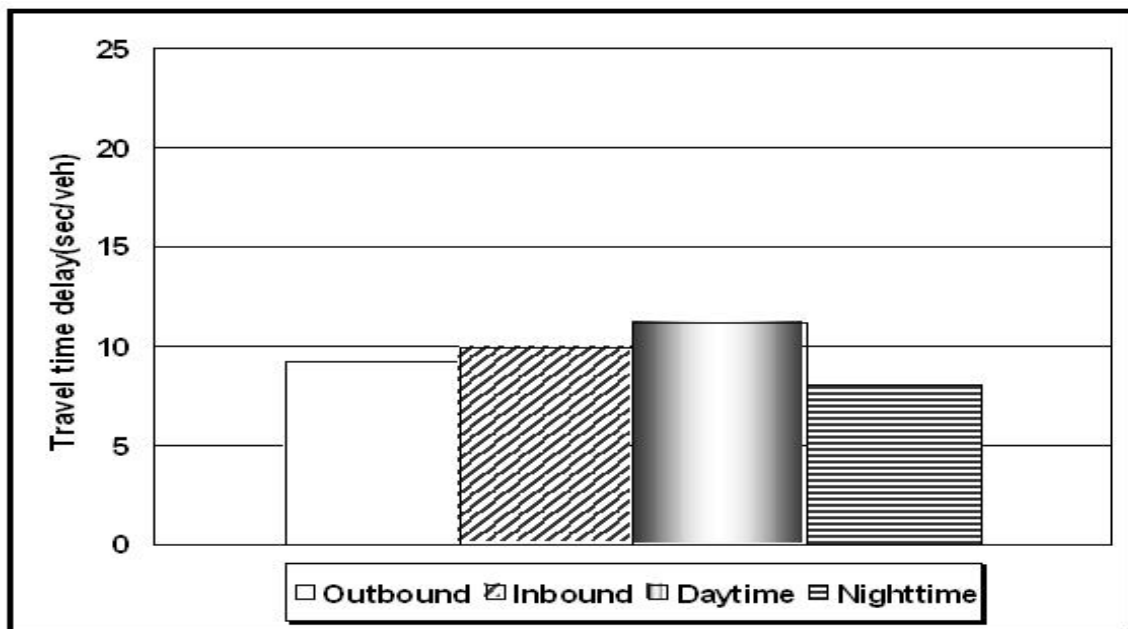


Fig. 2.22 Average delay depending on the directions and periods

Table 2.11 Average peak delay depending on the directions (sec/veh)

Directions	Periods				
	24 Hours average delay	AM peak	Change (%)	PM peak	Change (%)
outbound	9.2	9.0	-2.2	10.0	8.7
inbound	9.9	12.1	22.2	9.1	-8.8

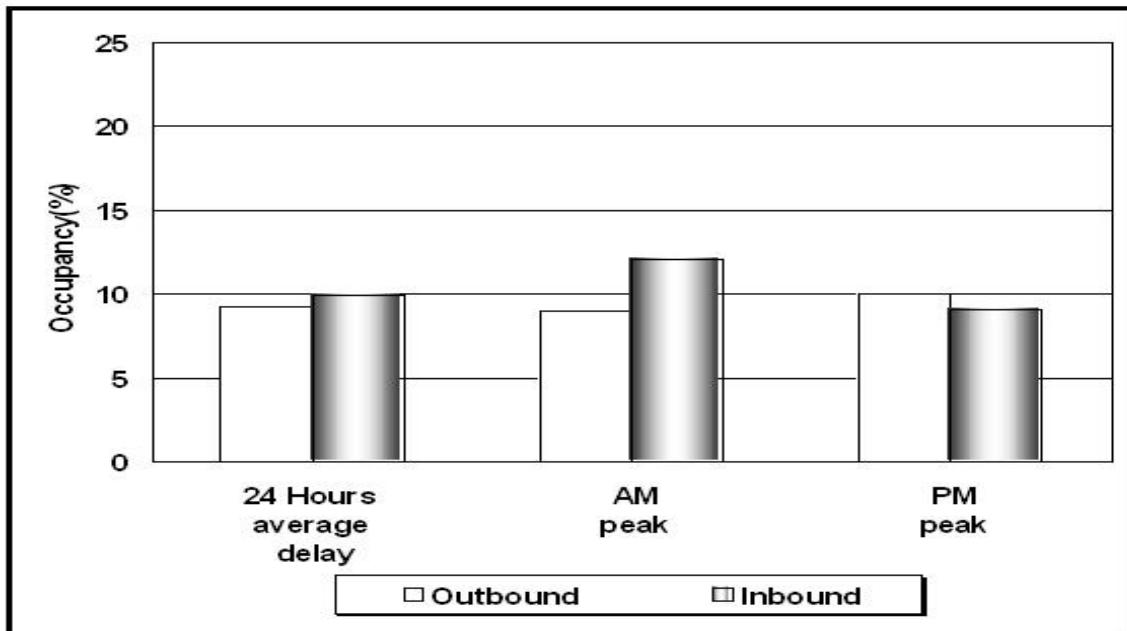


Fig. 2.23 Average peak delay depending on the directions

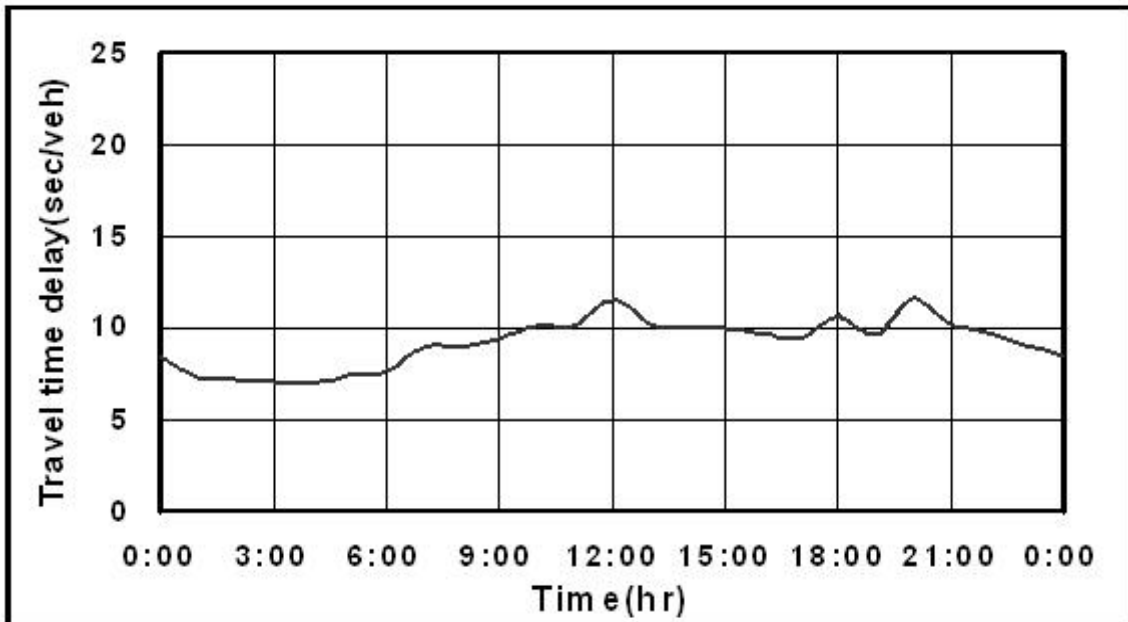


Fig. 2.24 Average delay distribution (outbound)

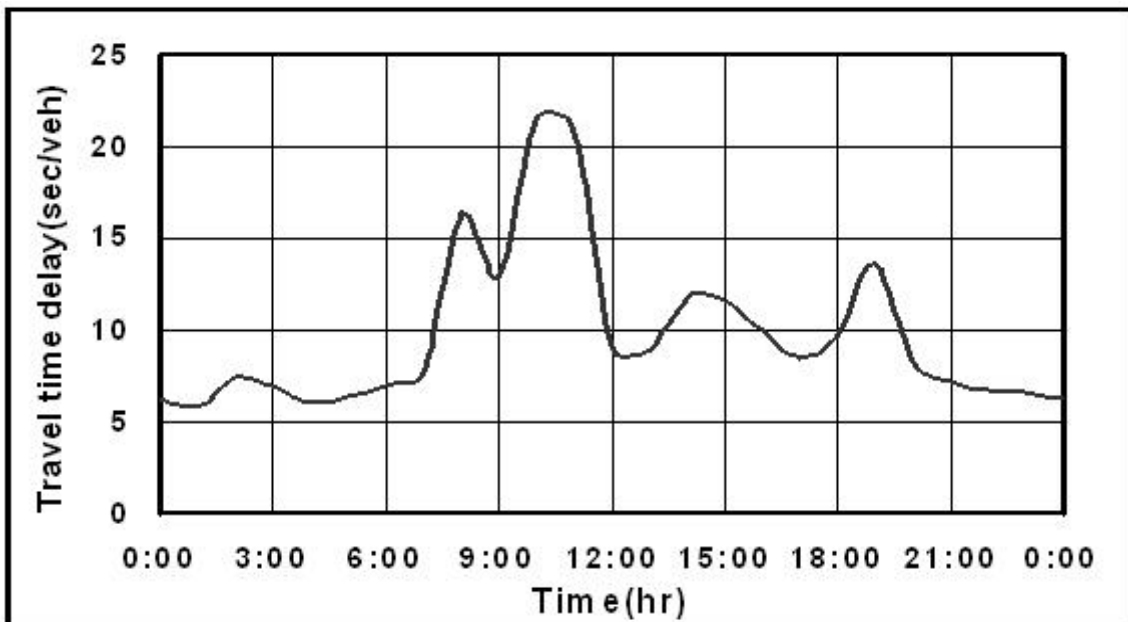


Fig. 2.25 Average delay distribution (inbound)

2.5 교통류율과 속도

본 연구대상 도시고속도로의 IC 분류부에서 교통류율과 속도사이의 관계는 도시고속도로의 전형적인 포물선 형태를 보여주었다. 특히, 교통류율이 약 800 vphpl에 도달할 때까지 평균속도가 약 70km/hr로 뚜렷한 속도감소를 보이지 않았으나, 교통류율이 거의 포화상태인 약 1,600 vphpl에 도달할 때까지 점차 속도감소가 나타났으며, 그 이후로 분류부에 진출 교통류율의 증가와 더불어 분류부의 속도가 약 20km/hr까지 속도가 급격히 감소되는 것으로 나타났다(참조 Fig. 2.26).

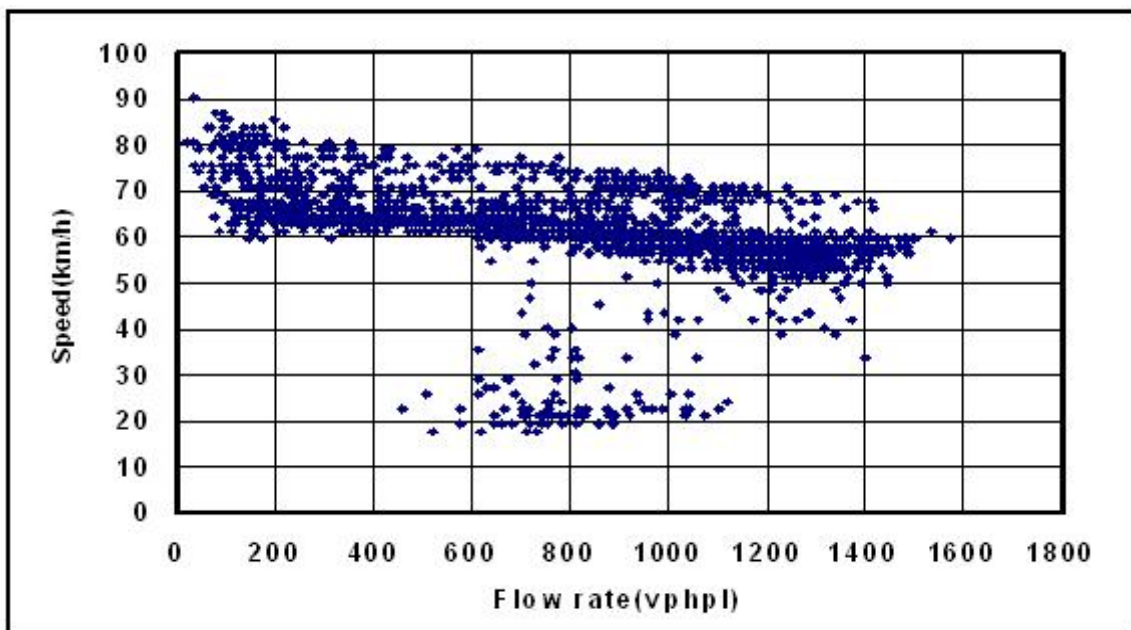


Fig. 2.26 Relationship of flow rate and speed

위의 교통류율과 속도의 관계로부터 연구대상 도시고속도로의 IC 분류부에서 용량이 감소한다는 사실과 진출차량의 엇갈림현상으로 속도가 급격히 감소한다는 사실을 확인할 수 있었으므로 이를 바탕으로 방향별, 시간대별 도시고속도로와 주변

서비스도로의 교통관리체계를 수립해야 할 것으로 생각되었다.

따라서 본 연구대상 도시고속도로의 IC 분류부의 교통특성분석결과 도심방향의 오전 출근시간대(07:00~10:00)를 중심으로 도시고속도로와 주변 서비스도로의 교통관리체계를 검토할 필요가 있다고 판단되었다.

3. 모형구축

본 연구대상 도시고속도로의 IC 분류부에서 관측된 교통특성자료를 바탕으로 부도심방향(outbound), 도심방향(inbound), 주간시간대(daytime), 야간시간대(nighttime), 전일시간대(both of directions)를 중심으로 방향별, 시간대별로 SAS(ver 6.12) 프로그램을 사용하여 지체예측모형을 구축하였다.

3.1 구축 방법

본 연구대상 도시고속도로의 IC 분류부에서 지체예측모형을 구축하기 위하여 사용된 변수들은 다음과 같다.

D_{Di} : 단위시간(15min)동안 분류부의 평균통행지체(sec/veh)

V_{Ui} : 분류부의 상향 교통량(veh/15min)

V_{Di} : 분류부의 하향 교통량(veh/15min)

O_{Ui} : 분류부의 상향 점유율(%)

O_{Di} : 분류부의 하향 점유율(%)

V_{Ri} : 진출램프 교통량(veh/15min)

D : Dummy 변수(부도심방향 = 0, 도심방향 = 1)

본 연구에서는 도시고속도로의 IC 분류부에서의 지체예측을 위해서 다중회귀모형을 구축하였다. 모형에 유효한 독립변수들을 선택하여 주는 계산절차로써 단계별 회귀, 뒤로부터 제거하는 방법 등의 변수선택방법을 사용하였으며 결정계수(R^2)를 기본으로 하여 현재 모형의 유의 정도를 나타내는 아카이케정보기준(Akaike Information Criterion, AIC)값 및 조정된 상관 자승과 반대의 성격을 띤 Mallows의 C_p 통계량 등의 벌칙함수들을 변수선택하는 판정기준으로 고려하였다. 모형의 적합도를 검증하기 위해서는 F-검정, 회귀계수들의 t-검정 등을 사용하여 모형의 적합성을 판단하였다. 또한 보다 정확하게 모형의 적합성을 판단하기 위해서 잔차분석을 하였으며 특히, 분산확대인자(VIF), 상태지수(condition number) 등으로 다중공선성을 검토하였다.

3.2 모형 구축

본 연구대상 도시고속도로의 IC 분류부에서 방향별, 시간대별 지체예측모형의 분산분석(ANOVA)의 F -sig. 결과 유의확률이 0.0001로 회귀식이 의미가 있는 것으로 나타났다. 또한 분류부의 시간대별 모형 결정계수 (R^2) 값들은 주간시간대에 0.833으로 다소 높게 나타났고 야간시간대에 0.726으로 다소 낮게 나타남으로써 선택된 독립변수들이 주간시간대 모형구축에 상당히 높은 설명력을 나타낸 반면, 방향별 모형의 결정계수 (R^2) 값들은 부도심방향(outbound)에서 0.665로 다소 낮게 나타났고, 도심방

향(inbound)에서 0.818로 높게 나타남으로써 도심방향에서 설명력이 높게 나타났다. 특히, 구축된 모형 내 개별 독립변수들 사이의 유의성을 검증한 결과 선택된 독립변수들이 통계적으로 유의한 것으로 나타났으며, 분류부에서 모형구축에 기여도가 높은 변수로는 상향 점유율 (O_{U_i})과 하향 점유율 (O_{D_i})로 나타났다. 그리고 분류부에서 모형구축에 포함된 모든 독립변수들이 종속변수와 양의 상관관계로 모형구축에 기여하고 있었으며, 그 외의 변수들은 교통특성의 변화정도에 따라 다양한 형태를 취하고 있었다(참조 Table 3.1 ~ 3.3).

Table 3.1 Delay predictive models depending on the directions constructed

Directions	Models					
Outbound	$D_{D_i} = 6.454 - 0.010 V_{D_i} + 0.108 O_{U_i} + 0.036 O_{D_i} + 0.021 V_{R_i}$ <p style="text-align: center;"> (0.0001)²⁾ (0.0001) (0.0001) (0.0258) (0.0001) </p>					
	R^2	0.665	$F - sig.$	0.0001	$DW\ value$ ¹⁾	2.011
Inbound	$D_{D_i} = 5.099 + 0.405 O_{U_i} + 0.249 O_{D_i} + 0.019 V_{R_i}$ <p style="text-align: center;"> (0.0001) (0.0001) (0.0001) (0.0211) </p>					
	R^2	0.818	$F - sig.$	0.0001	$DW\ value$	2.067

Note: ¹⁾ $DW\ value$ = Durbin-Watson value, ²⁾ $t - sig.$

Table 3.2 Delay predictive models depending on the periods constructed

Periods	Models					
Daytime	$D_{Di} = 7.218 - 0.015 V_{Di} + 0.444 O_{Ui} + 0.254 O_{Di} + 1.488 D$ <p style="text-align: center;"> (0.0001) (0.0014) (0.0001) (0.0001) (0.0123) </p>					
	R^2	0.833	$F - sig.$	0.0001	$DW\ value$	2.055
Nighttime	$D_{Di} = 6.067 + 0.012 V_{Ui} - 0.026 V_{Di} + 0.424 O_{Ui} + 0.331 O_{Di}$ <p style="text-align: center;"> (0.0001) (0.0001) (0.0001) (0.0001) (0.0001) </p>					
	R^2	0.726	$F - sig.$	0.0001	$DW\ value$	2.065

Table 3.3 Delay predictive models depending on both of directions constructed

	Models					
Both of directions	$D_{Di} = 6.251 - 0.010 V_{Di} + 0.406 O_{Ui} + 0.275 O_{Di} + 0.006 V_{Ri}$ <p style="text-align: center;"> (0.0001) (0.0001) (0.0001) (0.0001) (0.0001) </p>					
	R^2	0.823	$F - sig.$	0.0001	$DW\ value$	2.046

4. 모형 검증

본 연구대상 도시고속도로의 IC 분류부에서 구축된 지체예측모형의 추정값과 관측값을 바탕으로 방향별로는 부도심방향(outbound)과 도심방향(inbound), 시간대별로는 주간시간대(daytime ; 07:00~19:00)와 야간시간대(nighttime ; 19:00~07:00) 그리고 전일시간대(both of directions)로 분류하여 모형을 검증하였다.

4.1 검증방법

본 연구대상 도시고속도로의 IC 분류부에서 관측된 실측자료를 중심으로 구축된 지체예측모형을 검증하기 위하여 모형구축에 사용되지 않는 실측치 자료와 이전 3.2절에서 구축된 모형으로부터 예측된 자료를 바탕으로 구축된 모형이 실제상황에서 발생하는 현상들을 정확히 나타내는지를 판단하기 위하여 실측자료와 예측자료 간의 상관관계분석(correlation analysis)을 실시하여 모형을 검증하였다.

4.2 모형 검증

본 연구대상 도시고속도로의 IC 분류부에서 구축된 지체예측모형을 검증하기 위해서 실측자료와 예측자료간의 상관관계분석(correlation analysis)을 실시한 결과, 부도심방향과 야간시간대는 도심방향과 주간시간대에 비해 유의성이 다소 낮게 나타났지만, 전일시간대(both of directions)에서 실측자료와 예측자료간의 상관관계분석 결과는 0.912로 높게 나타났다(참조 Fig. 4.1 ~ 4.5).

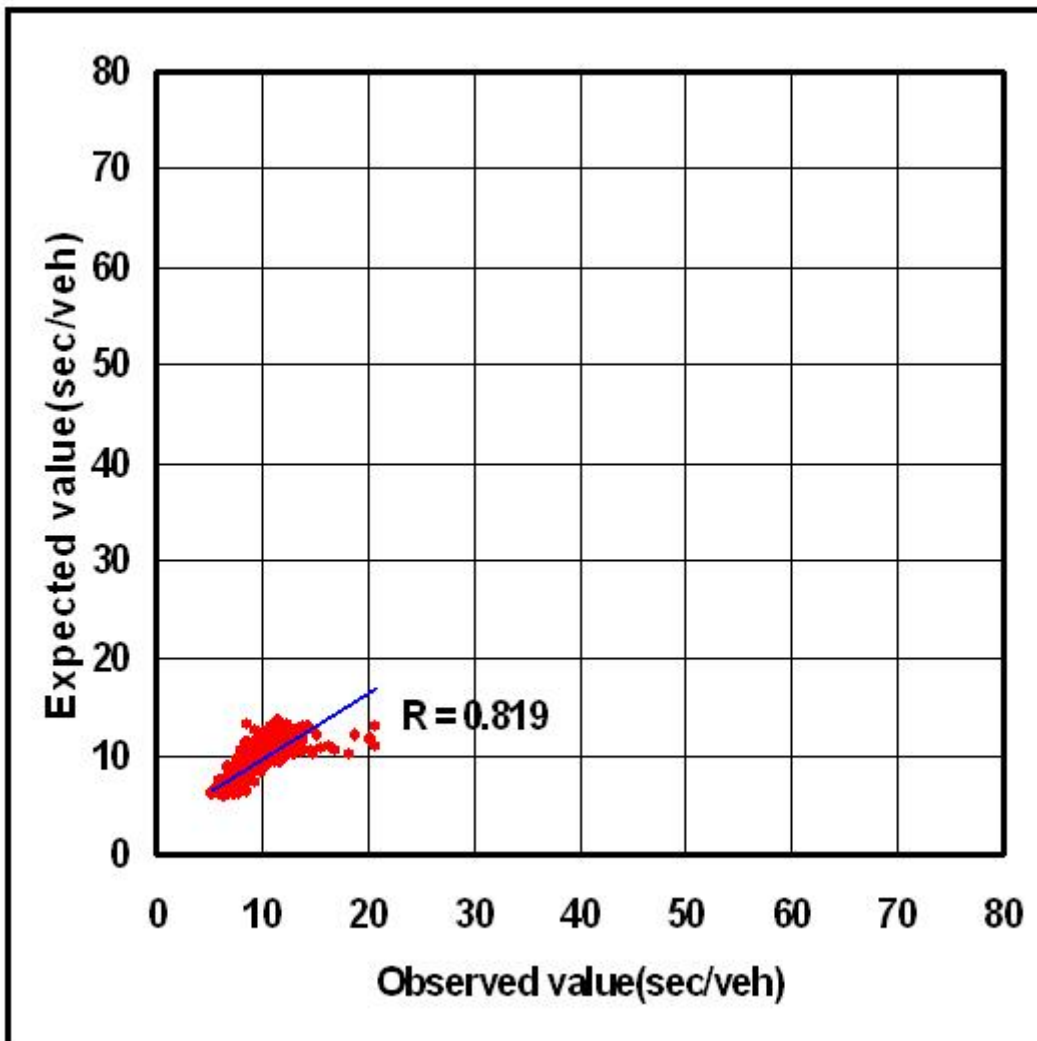


Fig. 4.1 Outbound tested

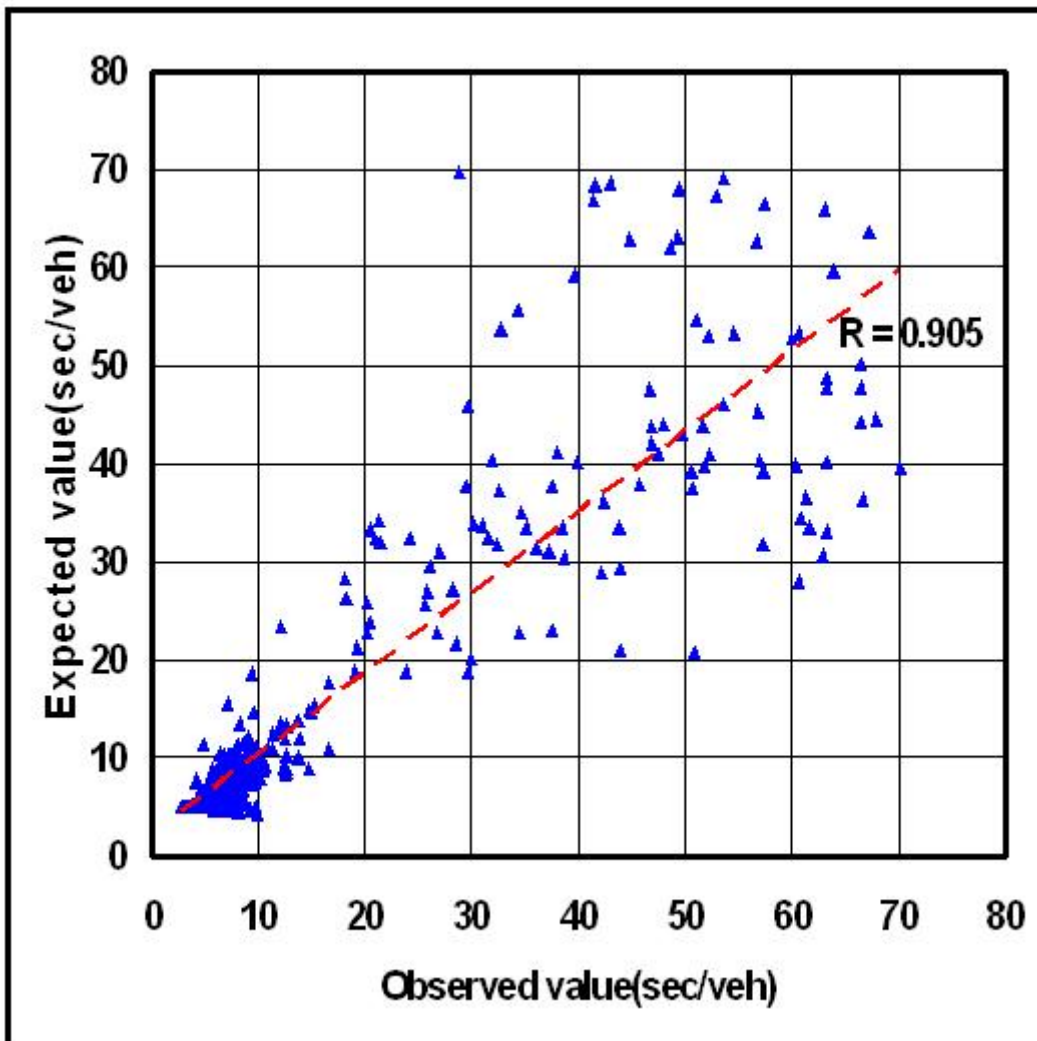


Fig. 4.2 Inbound tested

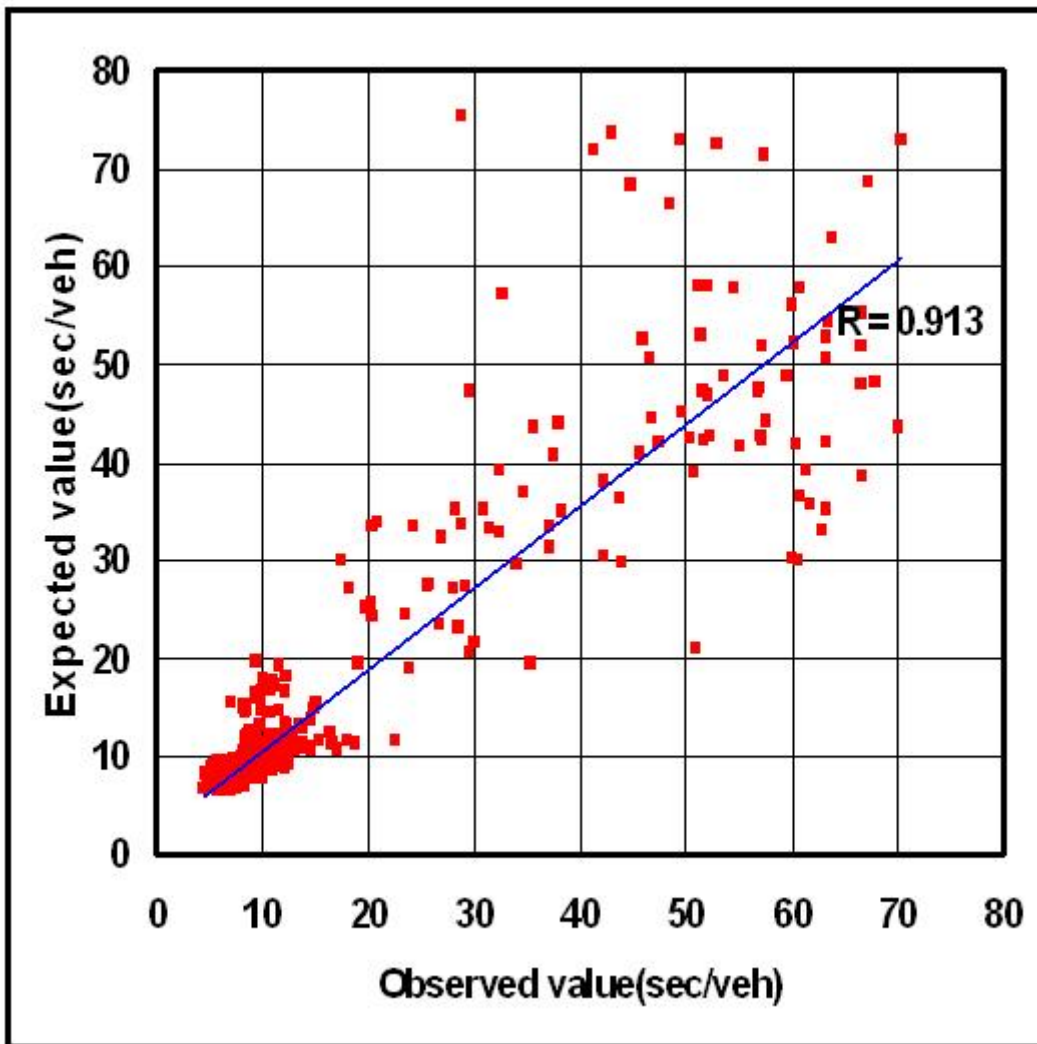


Fig. 4.3 Daytime tested

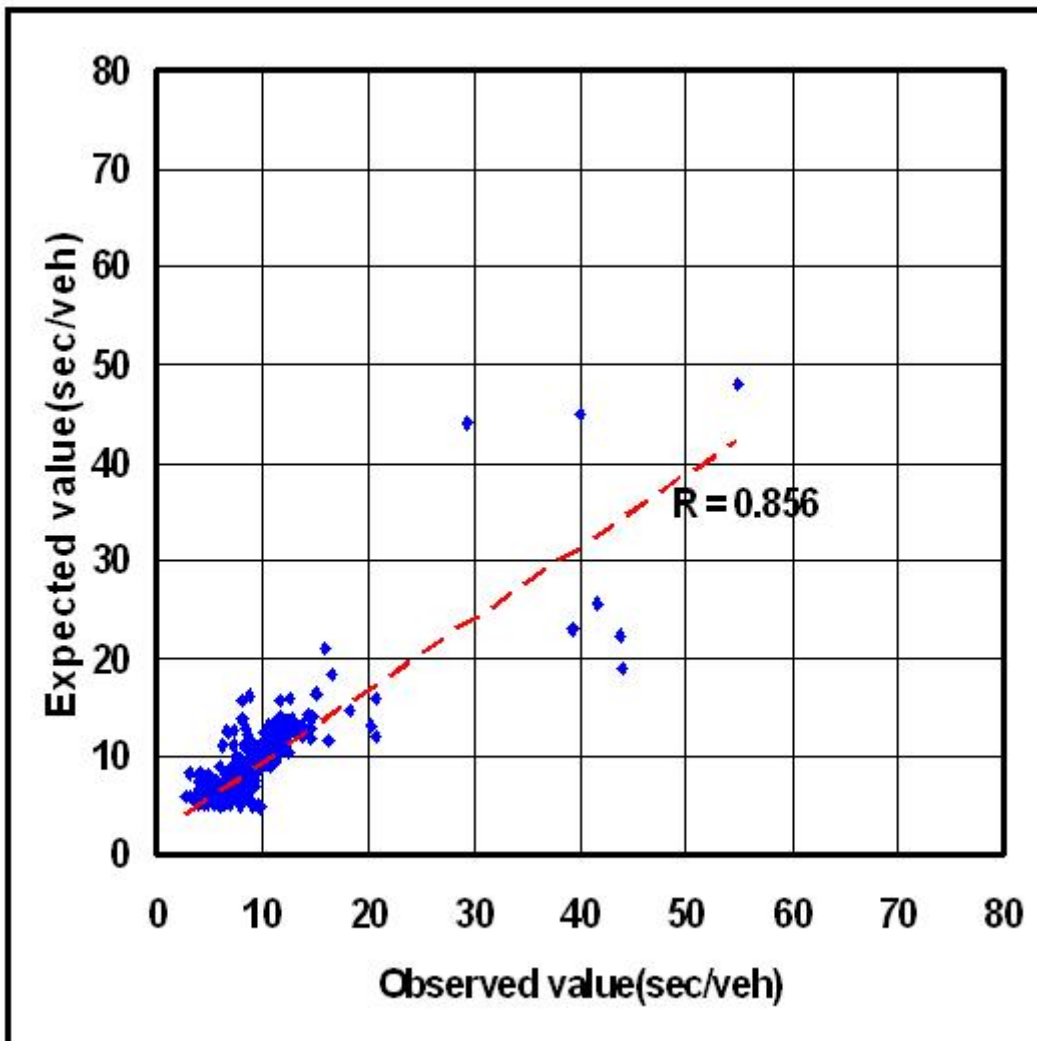


Fig. 4.4 Nighttime tested

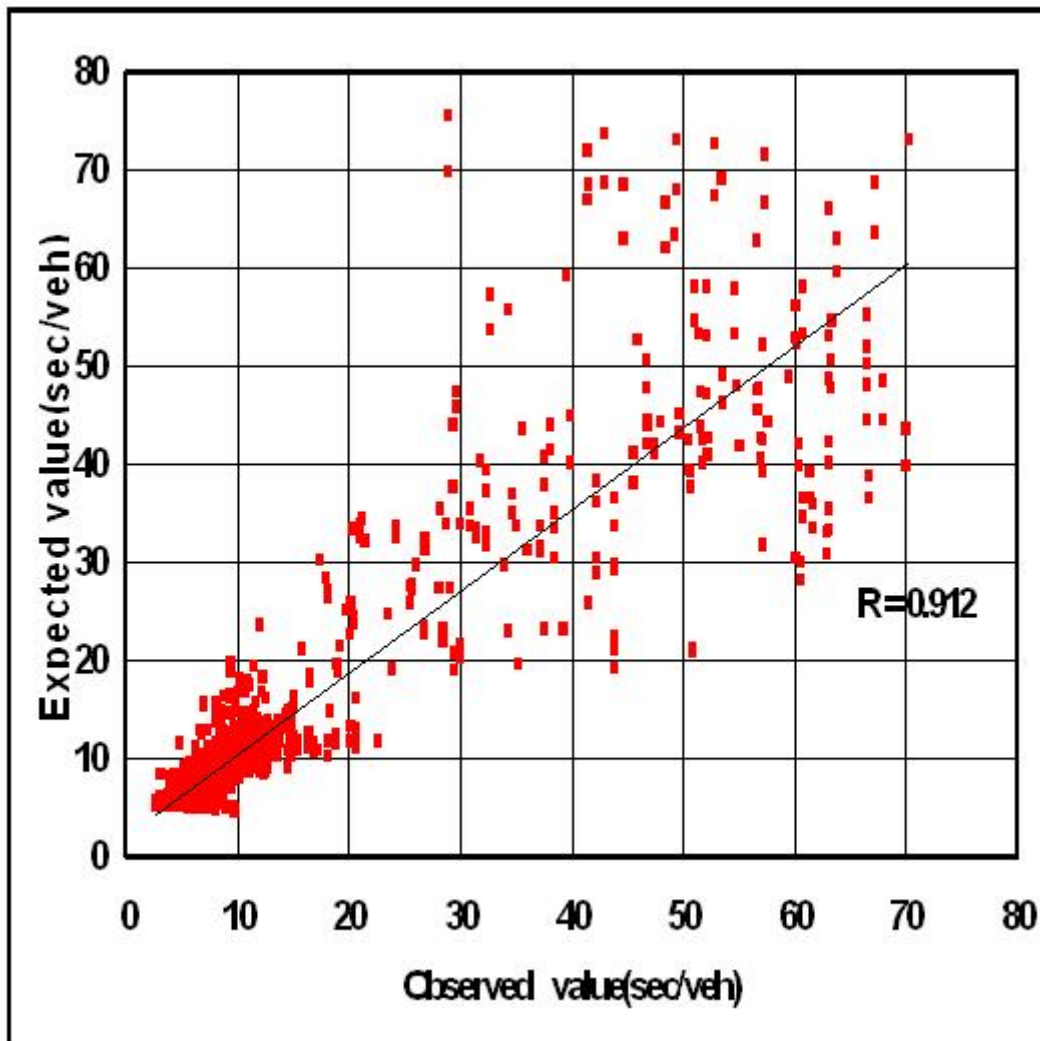


Fig. 4.5 Both of directions tested

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구대상 도시고속도로의 IC 분류부에서 실시간의 교통특성분석과 지체예측모형의 구축 및 검증을 통해 다음과 같은 결론에 도달하였다.

(교통특성분석 결과)

- i) 연구대상 도시고속도로의 IC 분류부에서는 도심방향보다 부도심방향의 평균교통류율이 약 30% 이상 높게 나타났고, 야간시간대보다 주간시간대 평균교통류율이 약 70% 이상 높게 나타났으며, 특히 오후 퇴근시간대의 도심방향 평균교통류율이 오전 출근시간대보다 높게 나타남으로써 시간대별·방향별 교통류율의 변화에 따른 적합한 도시고속도로와 주변 서비스도로의 교통관리체계가 수립되어야 할 것으로 생각되었다.
- ii) 연구대상 도시고속도로의 IC 분류부에서 평균속도는 도심방향의 오전 출근시간대(07:00~10:00)를 제외하고는 대체적으로 약 60km/hr 이상을 유지하고 있었고, 주·야간시간대도 평균속도의 차가 겨우 약 6km/hr 정도를 보임으로써 도심방향의 오전 출근시간대(07:00~10:00)를 중심으로 진출램프 소통능력을 향상시킬 수 있는 도시고속도로와 주변 서비스도로의 교통관리체계가 수립되어야 할 것으로 생각되었다.
- iii) 연구대상 도시고속도로의 IC 분류부에서 도심방향의 평균점유율은 부도심방향보다 약 5% 이상 높게 나타났고, 주간시간대의 평균점유율은 야간시간대보다 약 9% 이상 높게 나타났으며, 특히 도심방향의 오전 출근시간대(07:00~10:00)에 약 25% 이상의 높은 점유율을 보임으로써 도심방향의 오전 출근시간대(07:00~10:00)를 중심으로 진출램프 소통능력을 향상시킬 수 있는 도시고속도로와 주변 서비스도로의 교통관리체계가 수립되어야 할 것으로 생각되었다.

(예측모형구축 결과)

- i) 연구대상 도시고속도로의 IC 분류부에서 지체예측모형은 점유율(occupancy)을 기준으로 구축하는 것이 더 높은 설명력을 보이는 것으로 나타남으로써 분류부의 지체감소를 위해 도시고속도로와 주변 서비스도로의 교통관리체계 구축이 필요하다고 생각되었다.
- ii) 연구대상 도시고속도로의 IC 분류부의 지체예측모형은 전일시간대, 도심방향과 주간시간대에 상대적으로 높은 설명력을 보인 반면, 부도심방향과 야간시간대에 다소 낮은 설명력을 보이는 것으로 나타남으로써 도심방향의 주간시간대를 중심으로 도시고속도로와 주변 서비스도로의 교통관리체계의 구축이 필요하다고 생각되었다.
- iii) 연구대상 도시고속도로의 IC 분류부에 도시고속도로와 주변 서비스도로의 실시간 교통정보를 제공하여 소통능력을 향상시킬 수 있는 가변정보신호판(variable message sign, VMS)과 같은 도시고속도로 교통관리체계(urban freeway traffic management system, UFTMS)가 구축되어야 할 것으로 생각되었다.

본 연구에서 구축된 지체예측모형은 유사한 기하구조와 교통특성을 가지는 도시고속도로의 IC 분류부의 서비스 수준을 평가할 수 있는 효과적으로 사용되어질 수 있을 것으로 판단되지만, 본 연구는 독립된 진출램프만을 대상으로 연구가 수행되었기 때문에 향후 다양한 기하구조특성을 고려하고 더 나아가 주중, 주말, 기후, 계절의 영향에 대한 변화 추이를 살펴보는 추가적인 연구가 진출램프에 대해 수행되어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Lindley, J. A., "Urban Freeway Congestion Problem and Solution : An Update", ITE Journal, December 1989. pp. 21 ~ 23.
2. Wattleworth, J. A., Wallace, C. E., and Levin, M., "DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A RAMP METERING SYSTEM ON THE LODGE FREEWAY", Texas Transportation Institute Research Report 488-3, 1967.
3. Davis, G. A., Nihan, N. L., Hamed, M. M., and Jacobson, L. N., "Adaptive Forecasting of Freeway Traffic Congestion", TRB NO. 1287, 1990, pp. 96 ~ 107, 151 ~ 166.
4. TRB, "Highway Capacity Manual", Special Report 209, Washington. D. C., 1998, pp. 5-1 ~ 5-14.
5. Thompson, N., "Ramp up the volume", ITS International, 1997, pp. 40 ~ 42.
6. Masao Kuwahara, Masaki Koshi, and Takashi Suzuki, "Capacity and Speed of Weaving Sections of the Tokyo Metropolitan Expressway", ITE Journal, Mar. 1991, pp. 27 ~ 32.
7. 건설부, "도로용량편람", 1992, pp. 197 ~ 235.
8. TRB, "Highway Capacity Manual", Special Report 209, Washington. D. C., 1985, pp. 5-1 ~ 5-16.
9. 김정훈과 김태곤, "고속도로 진출입램프 접속부상의 지체예측모형 구축에 관한 연구", 한국항만학회지, 제 14권 제 2호, 2000, pp. 175 ~ 185.
10. 김충련, "SAS라는 통계상자", 데이터 리서치, 1994, pp. 247 ~ 298.

11. 김승길과 김태곤, “70mph 제한속도를 갖는 고속도로 연결로 접속부 상에서의 속도추정모형에 관한 연구”, 한국항만학회지, 제 14권 제 1호, 2000, pp. 65~75.
12. 김갑수와 신판식, “도시고속도로 기본구간의 교통특성분석”, 대한교통학회지, 제 16권 제 4호, 1998.
13. 도철웅, “교통공학원론(上)”, 청문각, 1999, pp. 54~108.
14. 원제무와 최재성, “교통공학”, 박영사, 2001, pp. 77~134.
15. 박성현, “회귀분석”, 민영사, 1998, pp. 71~313.
16. 김종덕, “SAS를 이용한 선형 회귀분석”, 자유아카데미, 2001, pp. 221~280

감사의 글

좀 더 폭 넓고 깊은 공부를 위해 걸어온 대학원 생활은 저에게 학문과 삶을 연결시켜 주는 소중한 열쇠와 같은 의미 있는 것이었습니다. 2년 동안 세상에 태어나 혼자 걸을 수 있는 자신감을 갖게 되었으며, 부족한 저에게 분에 넘치는 깊은 관심과 쉴 새 없이 아낌없는 지도로 이끌어 주신 김태곤 교수님과 사모님께 진심으로 감사드립니다. 바쁘신 중에도 관심어린 말씀으로 힘을 북돋아 주신 김도삼 교수님과 경갑수 교수님, 이중우 교수님께 감사드립니다. 그리고 재학기간동안 많은 관심과 가르침을 주신 장용구 교수님과 토목환경공학부 교수님들께도 깊은 감사를 드립니다.

예측모형구축에서 기본과 응용의 길잡이인 회귀분석을 가르쳐 주신 응용수학과 박찬근 교수님께도 깊은 감사를 드립니다. 미우나 고우나 한 식구처럼 동거동락하며 지내온 동기들인 대호형, 경진형, 동환이에게 진정으로 감사드립니다. 특히, 후배를 위해 마음을 써 주신 안현철, 이은진 선배님, 연구실 생활을 하는 동안 도움을 아끼지 않은 김아영, 김정훈, 권인영, 신광식, 김동수, 김승길, 차진풍, 심양주, 권덕 선배님께 감사의 마음을 전합니다. 부족한 저를 믿고 따라준 권순범, 박여정, 이지영, 원현아에게 고마움을 전하고 싶습니다.

마지막으로 부족한 저를 뒷바라지 하시느라 밤낮으로 고생하신 아버지, 어머니와 여동생 은주와 매제, 물심양면으로 많은 신경을 써주신 친가, 외가 어르신들과 사촌형님에게도 깊은 감사를 드리며, 철길같은 친구들인 강석태, 권호성, 변영환, 변영철, 김현정의 아낌없는 격려에 많은 힘을 얻었으며, 웅촌에서 차진풍, 이재석, 원동환, 저의 건강과 성공을 빌어주시는 부모님께 감사의 말씀을 전하고 싶습니다.