

공학석사 학위논문

실시간 교통특성에 기초한 도시고속도로 IC
합류부의 지체예측모형 구축에 관한 연구

**Delay Predictive Modeling on the Merge 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 金 京 珍

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

Kyung Jin, Kim

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

Abstract

Urban freeway, which is defined as a divided highway with full control of access and two or more lanes for the exclusive use of traffic in each direction, means a high-speed and high-volume network for travel in the big city. However, most of the urban freeways are undergoing a severe traffic congestion because of increased traffic concentrated on the urban freeway. Thus, the purpose of this study is to investigate the real-time traffic characteristics, analyze the relationships between the real-time traffic characteristics, and finally construct the travel delay predictive models on the merge sections in the most congested urban freeway interchange in Busan city.

From the traffic characteristic analyses, construction and verification for the delay predictive models on the merge 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 merge sections of urban freeway interchange under the study. Particularly the upstream flow, occupancy, and entrance ramp flow 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.

목 차

| | |
|-----------------|-----|
| ABSTRACT | i |
| NOMENCLATURE | v |
| LIST OF TABLES | vi |
| LIST OF FIGURES | vii |
| | |
| 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 | 4 |
| 2.1 교통류율 | 5 |
| 2.2 속도 | 9 |
| 2.3 점유율 | 12 |
| 2.4 지체 | 15 |
| 2.5 교통류율과 속도 | 18 |
| | |
| 3. 모형 구축 | 19 |
| 3.1 구축 방법 | 19 |
| 3.2 모형 구축 | 20 |

| | |
|----------------------|----|
| 4. 모형 검증..... | 22 |
| 4.1 검증 방법..... | 22 |
| 4.2 모형 검증..... | 23 |
| | |
| 5. 결론 및 향후 연구과제..... | 27 |
| | |
| 참고 문헌..... | 28 |

NOMENCLATURE

- V_{MSi} : Volume on merge influence area in veh/15min
 V_{MS} : Flow rate on merge influence area in veh/hour
 V_{Ui} : Upstream volume of freeway in veh/15min
 V_{Di} : Downstream volume of freeway in veh/15min
 V_{MU} : Upstream flow rate on merge influence area in veh/hour
 V_{MD} : Downstream flow rate on merge influence area in veh/hour
 ν_{MU} : Upstream peak flow rate on in veh/hour
 ν_{MD} : Downstream peak flow rate on in veh/hour
 V_{Ri} : merge ramp volume in veh/15min
 V_{RI} : merge 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_{MI} : Space mean speed on merge 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_{Mi} : Average delay(15min) on merge influence area in sec/veh
 T_{MI} : Average travel time on merge influence area in sec/veh
 T_{MS} : Maximum travel time on merge influence area in sec/veh
 L_{MI} : Length of merge influence area in 450m
 S_{MS} : Maximum travel speed of mainline section in km/hour
 D : Dummy variable
 PHF : Peak hour factor

LIST OF TABLES

| | |
|--|----|
| Table 2.1 Average flow rate depending on the directions and periods (vphpl)..... | 7 |
| Table 2.2 Average peak flow rate depending on the directions (vphpl)..... | 7 |
| Table 2.3 Average speed depending on the directions and periods (km/hr)..... | 10 |
| Table 2.4 Average peak speed depending on the directions (km/hr)..... | 10 |
| Table 2.5 Average occupancy depending on the directions and periods (%)..... | 13 |
| Table 2.6 Average peak occupancy depending on the directions (%)..... | 13 |
| Table 2.7 Average delay depending on the directions and periods (sec/veh)..... | 16 |
| Table 2.8 Average peak delay depending on the directions (sec/veh)..... | 16 |
| Table 3.1 Delay predictive models depending on the directions constructed..... | 21 |
| Table 3.2 Delay predictive models depending on the periods constructed..... | 21 |
| Table 3.3 Delay predictive models depending on both of directions constructed..... | 22 |
| Table 4.1 Correlation coefficients depending on the directions and periods tested..... | 23 |

LIST OF FIGURES

| | |
|--|----|
| Fig. 2.1 Merge section under study | 5 |
| Fig. 2.2 Average flow rate distribution (inbound) | 8 |
| Fig. 2.3 Average flow rate distribution (outbound) | 8 |
| Fig 2.4 Average speed distribution(inbound) | 11 |
| Fig 2.5 Average speed distribution(outbound) | 11 |
| Fig 2.6 Average occupancy distribution (Inbound) | 14 |
| Fig 2.7 Average occupancy distribution (Outbound) | 14 |
| Fig 2.8 Average delay distribution (Inbound) | 17 |
| Fig 2.9 Average delay distribution (Outbound) | 17 |
| Fig 2.10 Relationship between speed and flow rate | 18 |
| Fig. 4.1 Both of directions tested | 24 |
| Fig 4.2 Inbound tested | 24 |
| Fig 4.3 Outbound tested | 25 |
| Fig 4.4 Daytime tested | 25 |
| Fig 4.5 Nighttime tested | 26 |

1. 서 론

1.1 연구 배경

오늘날 도시고속도로(urban freeway)는 대도시지역의 주요 교통축으로서 도시교통 체계에 중추적인 역할을 수행하고 있으나, 차량과 통행량의 지속적인 증가에 따라 도시고속도로는 출·퇴근시간대에 관계없이 극심한 교통체증에 시달리고 있다. 게다가 투자재원의 한계와 시설공간의 제약 등으로 인하여 도로시설을 무한정으로 확충할 수 없기 때문에 가용재원과 시설공간의 허용범위 내에서 새로운 도시고속도로의 확충과 더불어 기존 도시고속도로의 효율성을 증대시키는 방안에 대한 연구가 절실히 요구되고 있는 상황이다.

따라서 대도시지역에서는 이러한 도시교통문제를 해결하기 위하여 새로운 도시고속도로와 우회도로의 건설도 중요하지만, 기존 도시고속도로의 보다 효율적인 교통관리체계(urban freeway traffic management System, UFTMS)를 수립하여 효율성을 증대시키는 것이 더욱 중요한 연구과제로 대두되고 있다.

1.2 연구 목적 및 필요성

일반적으로 도시고속도로에서 차량통행은 자유류 상태가 유지되어야 하는데, 출·퇴근시간대에는 이용차량의 집중으로 인하여 도시고속도로가 제 기능을 발휘하지 못하고 있는 실정이다. 더구나, 도시고속도로는 출·퇴근시간대가 아니라 해도 우회도로의 부족과 램프 접속부와 돌발사고 구간 등으로 인하여 교통체증은 한층 심화되고 있다. 그런데 도시고속도로의 램프 접속부는 엇갈림 현상이 발생하기 때문에 불안정한 교통류로 인한 지체와 사고의 위험이 높은 구간으로 도시고속도로 교통관리체계(urban freeway traffic management system, UFTMS)에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다. 그러나 대다수의 국내 연구들이 고속도로 램프 접속부의 용량 산정에 그치고 있으며, 도시고속도로 램프 접속부에서 발생하는 교통류율, 통행속도, 점유율, 지체 등의 교통특성분석에 대한 연구가 거의 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 도시고속도로 합류부에서 차량으로 인한 지체와 사고가 증가하고 있다는 사실에 근거를 두고, 연구대상지역으로 정체가 심한 부산지역 내 도시고속도로의 입체교차로를 선정하여 인위적인 교통통제가 이루어지지 않는 램프 합류부를 중심으로 i) 실시간 교통특성자료의 조사와 분석을 실시하고, ii) 실시간 교통특성의 상호 관계를 중심으로 도시고속도로 합류부에서의 지체예측모형을 구축하며, iii) 구축된 지체예측모형에 근거하여 도시고속도로 교통관리방안을 제시하고자 한다.

1.3 문헌 조사

본 연구와 관련하여 우리나라 도로용량편람(KHCM)¹⁾(1992)에서는 램프 접속부의 분석으로 1985년 HCM²⁾의 분석방법론을 근간으로 하고 있으며, 이는 국내의 차로 운행 등의 접속운행특성과 운전자의 운전습관 등을 바탕으로 하여 확인 지점에서 본선 접속차로 교통량(V_1) 예측모형 및 서비스 수준을 평가하기 위한 효과척도로 합류·분류부의 최대서비스 교통량을 우리 실정에 맞게 수정하여 제시하고 있다. 그러나 우리나라의 분석방법은 독립된 합·분류부만을 대상으로 조사가 이루어 졌으며, 독립된 램프 접속부이외의 형태에 관한 적용지침에 대해서는 1985년 HCM을 따르도록 규정하고 있다.

1998년 HCM(Highway Capacity Manual)³⁾ 모형에서는 모형구축을 위해서 유출·입 램프 접속부에 의한 합·분류부의 영향권을 노즈부(Nose)를 기준으로 450m로 설정하고 이 영향권에서 밀도예측모형과 속도예측모형을 설정하였으며, 일차적인 서비스 수준의 기준으로 밀도예측모형을 제시하였고, 부가적인 서비스 수준으로 속도예측모형을 제시하였다. 또한 램프 접속부의 영향권에서 밀도 및 속도 예측시 램프 접속부의 진·출입 차량에 의한 실제적인 본선차량의 영향을 고려하기 위하여 본선 외측의 1, 2차로 교통량(V_{12}) 예측모형을 제시하였으며, 이 예측모형은 본선의 차로 수 및 인접 램프 접속부의 형태에 따라 조금씩 달리 제시하고 있다. 게다가 가속 및 감속차로의 길이도 밀도 및 속도 예측모형에 새로이 추가되어 실제상황을 정확히 반영하려 하였다.

김정훈과 김태곤⁴⁾(2000)은 미국의 디트로이트 권역내 동서방향으로 부도심지역(suburban area)과 도심지역(urban area)을 통과하는 고속도로 I-94(미국 미시간 주 디트로이트 지역에서 일리노이 주 시카고까지 연결되는 제한속도가 70 mph이며 양방향 6차로인 고속도로)를 연구대상 고속도로로 선정하여 다양한 실시간 조사 자료를 바탕으로 한 실험적 연구를 실시하였다. 그 결과 고속도로의 합·분류부에서의 교통특성 변화와 그에 따른 영향이 반영된 합·분류부의 하향 점유율 9%를 기준으로 모형을 구축하는 것이 높은 설명력을 보인다고 고속도로 유출·입 램프 접속부의 지체예측모형 구축 방안에 대해 제시하였다.

Wattleworth, J. A. et al.⁵⁾(1967)은 미국 내 휴스턴과 시카고의 고속도로를 연구대상으로 하여 고속도로의 평균속도가 40 mph로 감소할 경우 교통류(traffic flow)상에 지체가 발생하는 것으로 가정하여 오후 2:30~6:30 사이에 접속부에 대한 적절한 통제를 가함으로써 고속도로의 지체가 약 45% 정도 감소되었음을 확인하였다.

Lindley, J. A.⁶⁾(1989)는 고속도로의 반복되는 교통체증으로 1987년에 미국에서는 약 7억 vehicle-hours 이상의 지체가 발생하였고, 시간과 연료소비 등의 사회적, 경제적 비용을 감안할 때 대략 59억불(US\$)의 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.

Davis, G. A. et al.⁷⁾(1990)은 고속도로 접속부의 점유율(occupancy)과 유·출입 교통량(inflowing and outflowing traffic)이 고속도로의 교통체증(congestion)에 상당한 영향을 미치고 있다는 전제하에 실시간 관측 자료를 바탕으로 선형 시계열(linear time series) 분석을 실시함으로써 사전에 고속도로의 체증발생을 예측할 수 있는 방법에 대해서 연구하였다.

1.4 연구내용 및 방법

본 연구대상지역은 부산지역 내 양방향 4차로 도시고속도로인 원동 IC(도시고속도로의 주요 지점에 속도 감시 카메라가 설치·가동되고 있음)의 트럼펫 A형 입체교차로(차로폭원 3.6m, 도심방향 감속차로 160m, 부도심방향 감속차로 130m, 본선 제한속도 80km/hr, 램프 제한속도 50km/hr)의 합류부(merge sections)로 450m 간격으로 검지기(NC-97)를 설치하였다. 설치된 검지기로부터 매 15분 단위로 1일 24시간씩 2주일동안 실시간으로 관측된 교통량, 속도 및 점유율 자료를 중심으로 방향별로 도심방향(inbound)과 부도심방향(outbound), 시간대별로 주간시간대(daytime ; 07:00~19:00)와 야간시간대(nighttime ; 19:00~07:00)로 분류하여 분석대상 자료를 구축하였다. 이 분석대상 자료를 토대로 교통특성분석, 모형구축 및 검증이 이루어졌다. 특히, 교통특성분석과 모형구축 및 검증을 위해 SAS(ver 6.12)와 Microsoft Excel이 사용되었다.

2. 교통 특성 분석

본 교통특성분석에서는 도시고속도로의 IC 합류부에 설치된 검지기(NC-97)로부터 관측된 교통특성자료의 분석이 수행되었고, 특성자료내의 본선 교통류율, 램프 교통류율, 속도와 점유율의 상호 관계분석이 수행되었는데, 연구대상 도시고속도로의 IC 합류부 개념도는 다음과 같다(참조 Fig. 2.1).

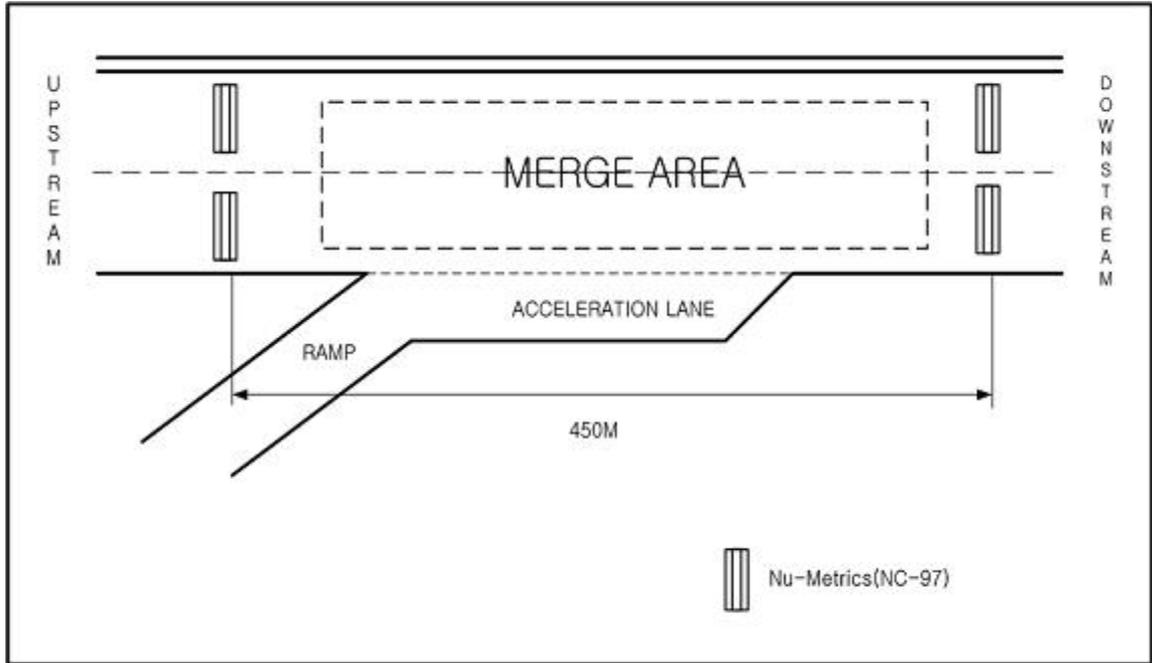


Fig. 2.1 Merge section under study

2.1 교통류율

교통류율(traffic flow rate)은 단위시간동안 검지기를 통과한 차량의 수를 의미하고, 대체적으로 교통류율의 단위는 vehicle per hour(vph)로 표현되며, 유입 램프교통류율은 단위시간동안의 상·하향 교통류율로부터 다음과 같이 산정된다.

$$V_{MSi} = V_{Di} - V_{Ri} \quad (2.1)$$

$$V_{MS} = V_{MD} - V_{RI} \quad (2.2)$$

$$V_{MU} = \sum_{i=1}^4 V_{Ui} \quad (2.3)$$

$$V_{MD} = \sum_{i=1}^4 V_{Di} \quad (2.4)$$

$$\nu_{MU} = \frac{V_{MU}}{PHF} \quad (2.5)$$

$$\nu_{MD} = \frac{V_{MD}}{PHF} \quad (2.6)$$

$$V_{RI} = \sum_{i=1}^4 V_{Ri} \quad (2.7)$$

V_{MSi} : 단위시간의 합류부 교통량(veh/15min)

V_{MS} : 합류부의 교통류율(vph)

V_{Ui} : 단위시간의 합류부 상향 교통량(veh/15min)

V_{Di} : 단위시간의 합류부 하향 교통량(veh/15min)

V_{MU} : 합류부의 상향 교통류율(vph)

V_{MD} : 합류부의 하향 교통류율(vph)

ν_{MU} : 합류부의 상향 침투교통류율(vph)

ν_{MD} : 합류부의 하향 침투교통류율(vph)

PHF : 침투시간계수

V_{Ri} : 단위시간의 유입램프 교통량(veh/15min)

V_{RI} : 유입램프 교통류율(vph)

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

연구대상 도시고속도로의 IC 합류부를 중심으로 산정된 교통류율의 특성을 비교해보면, 도심방향(inbound)의 교통류율은 부도심방향(outbound)보다 약 20% 정도 높게 나타났고, 주간시간대(daytime)교통류율은 야간시간대(nighttime)보다 80%정도 높게 나타났다. 특히, 도심방향과 부도심방향의 교통류율은 주간시간대 전체에 걸쳐 집중하고 있는 반면에, 야간시간대에는 상대적으로 낮은 집중률을 나타냈다. 또한 합류부의 램프교통류율의 특성을 살펴보면, 도심방향의 램프교통류율은 부도심방향과 비교하여 약 90% 높게 나타났으며, 주간시간대에 유입하는 램프교통류율의 비율이 상대적으로 높은 것으로 나타났다(참조 Table 2.1, Fig. 2.1, 2.2).

특히, 합류부의 교통류율분석 결과 첨두시간계수(PHF)는 0.8~0.99로 나타났으며, 전일시간대를 기준으로 오전 출근시간대와 오후 퇴근시간대를 비교해 볼 때, 오전 출근시간대의 경우 도심방향에서 약 23%, 부도심방향에서 약 44%의 높은 집중률을 나타낸 반면에 오후 퇴근시간대의 경우 도심방향에서 약 21%, 부도심방향에서 약 10%의 상대적으로 낮은 집중률을 나타내고 있었다(참조 Table 2.2).

위의 결과로부터, 연구대상 합류부에서는 상향 교통류율과 유입 램프교통류율의 변화에 따라 지역별, 시간대별로 적절한 도시고속도로 교통관리체계가 수립되어야 하고, 또한 램프미터링 시스템의 적용범위($240\text{vph} \leq \text{ramp volume} \leq 900\text{vph}$)내에 있는 도심방향의 출근시간대를 제외한 시간대에서는 램프교통류율을 적절히 조절하는 도시고속도로 교통관리체계가 수립되어야 하며, 특히 도심지역의 오전 출근시간대에서는 도시고속도로의 IC 합류부에서 지체와 사고를 감축시킬 수 있는 도시고속도로 교통관리체계가 수립되어야 할 것으로 생각되었다.

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

| Directions | | | |
|------------|----------|------------|------|
| | upstream | downstream | ramp |
| inbound | 440 | 862 | 422 |
| outbound | 422 | 646 | 224 |
| Periods | | | |
| | upstream | downstream | ramp |
| daytime | 559 | 970 | 411 |
| nighttime | 303 | 537 | 234 |

Table 2.2 Average peak flow rate depending on the directions (vphpl)

| Directions | Periods | | | | |
|------------|----------------------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
| | 24 Hours average flow rate | AM peak flow rate | Change (%) | PM peak flow rate | Change (%) |
| inbound | 862 | 1057 | 22.62 | 1046 | 21.35 |
| outbound | 646 | 931 | 44.12 | 711 | 10.06 |

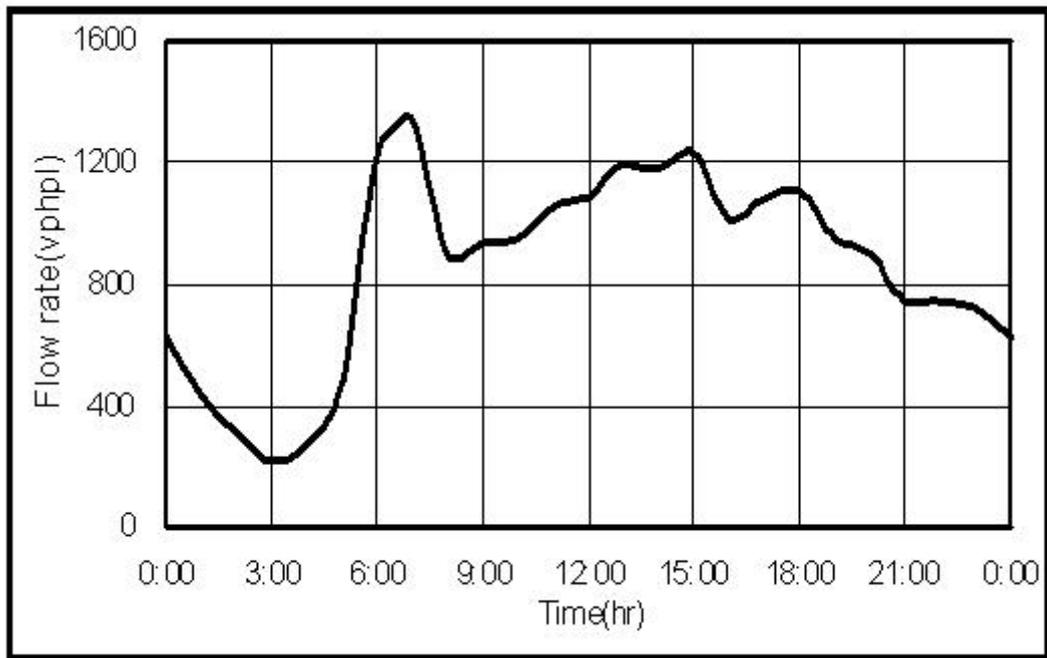


Fig. 2.2 Average flow rate distribution (inbound)

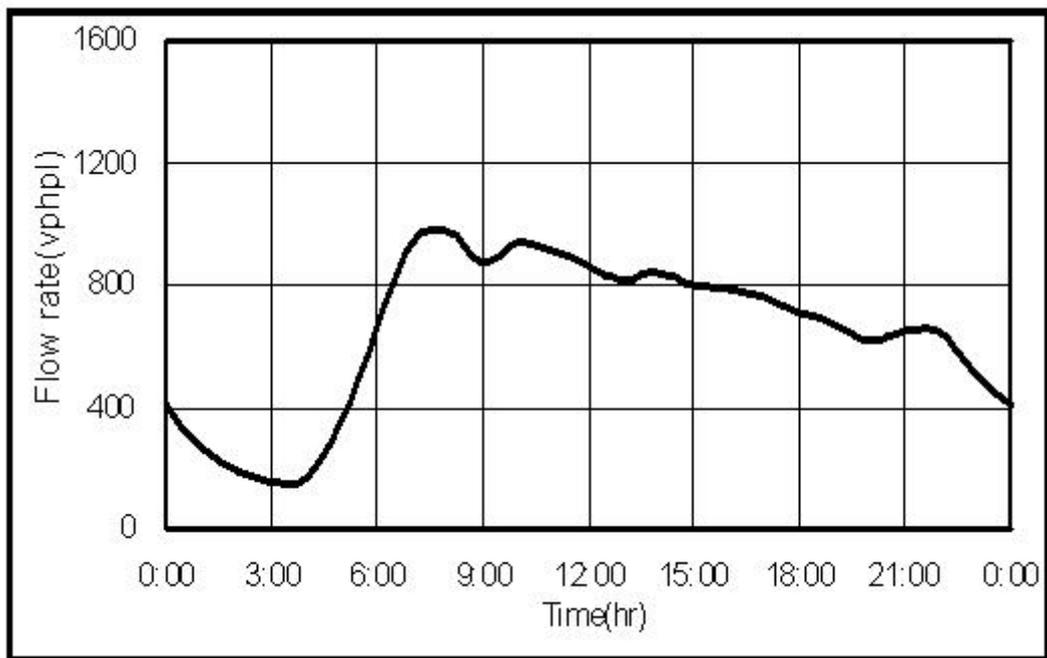


Fig. 2.3 Average flow rate distribution (outbound)

2.2 속도

속도(Speed)는 차량의 단위시간당 주행거리로서 그 단위는 kilometer per hour(km/hr)로 표현되며, 본 연구대상 도시고속도로의 IC 합류부에서 관측된 지점속도와 공간평균속도는 다음과 같다.

$$S_{MI} = \frac{1}{\frac{1}{n_1 + n_2} \left(\frac{n_1}{S_U} + \frac{n_2}{S_D} \right)} \quad (2. 8)$$

$$S_U = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} S_{Ui}}{n_1} \quad (2. 9)$$

$$S_D = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} S_{Di}}{n_2} \quad (2. 10)$$

S_{MI} : 합류부의 공간평균속도(km/hr)

S_U : 합류부의 상향 지점속도(km/hr)

S_D : 합류부의 하향 지점속도(km/hr)

S_{Ui} : 합류부의 상향 차량의 개별 속도(km/hr)

S_{Di} : 합류부의 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 합류부를 중심으로 산정된 공간평균속도의 특성을 살펴보면, 도심방향이 부도심방향보다 다소 높게 나타났고 야간시간대가 주간시간대보다 높게 나타났다. 한편, 도시고속도로의 IC 합류부에서 공간평균속도는 상향 지

점속도와 비교해서 도심방향에서는 유입차량으로 인하여 감소를 나타낸 반면에 부도심 방향에서는 유입차량에 관계없이 증가하는 것으로 나타났다(참조 Table 2.3, Fig 2.4, 2.5).

특히 전일시간대를 기준으로 오전 출근시간대와 오후 퇴근시간대의 공간평균속도를 비교해 볼 때, 오전 출근시간대의 경우 출근차량의 집중으로 인하여 도심방향에서 20km/hr 정도의 속도 차를 보인 반면에, 오전 출근시간대의 부도심방향과 오후 퇴근시간대의 경우는 속도 차의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다(참조 Table 2.4).

따라서 도시고속도로의 IC 합류부에서 속도관리방안은 방향별, 시간대별로 분리해야하고, 특히 도심방향의 오전 출근시간대에 도시고속도로 본선 및 유입 램프교통류의 집중도를 적절히 조절하여 본선상의 통행속도를 최대로 유지시킬 수 있는 도시고속도로 교통관리체계를 수립해야 할 것으로 생각되었다.

Table 2.3 Average speed depending on the directions and periods (km/hr)

| Directions | | | |
|------------|----------|---------------|------------|
| | upstream | Merge section | downstream |
| inbound | 60 | 58 | 57 |
| outbound | 50 | 62 | 78 |
| Periods | | | |
| | upstream | merge section | downstream |
| daytime | 51 | 56 | 63 |
| nighttime | 60 | 65 | 72 |

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

| Directions | Periods | | | | |
|------------|------------------------|---------|------------|---------|------------|
| | 24 Hours average speed | AM peak | Change (%) | PM peak | Change (%) |
| inbound | 57.4 | 37.6 | -34.5 | 55.9 | 2.61 |
| outbound | 77.9 | 76.4 | -1.92 | 77.7 | -0.26 |

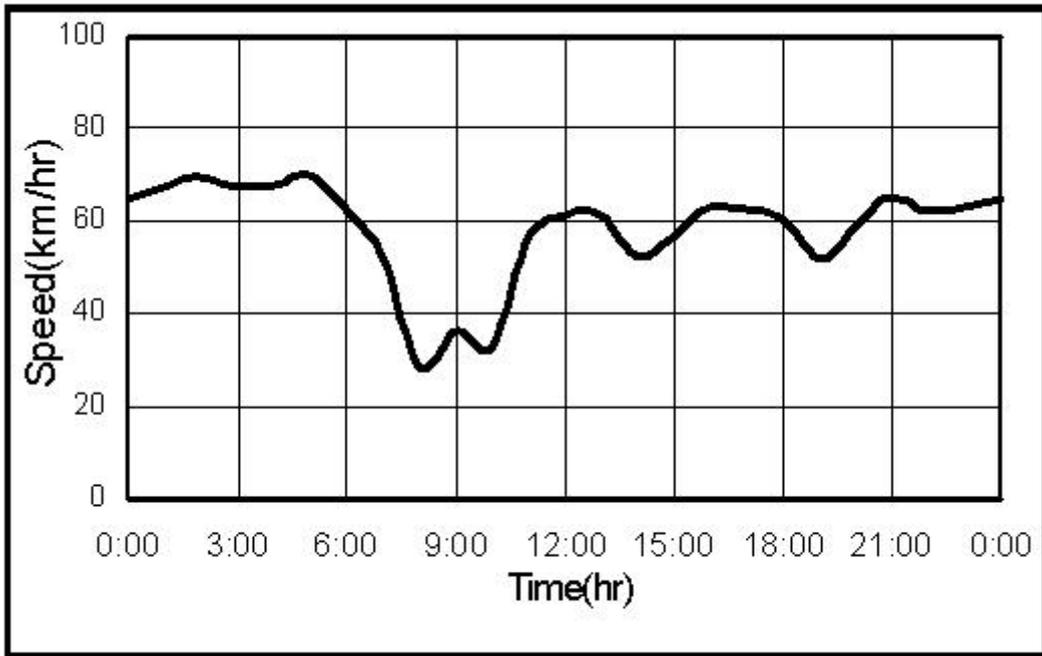


Fig 2.4 Average speed distribution(inbound)

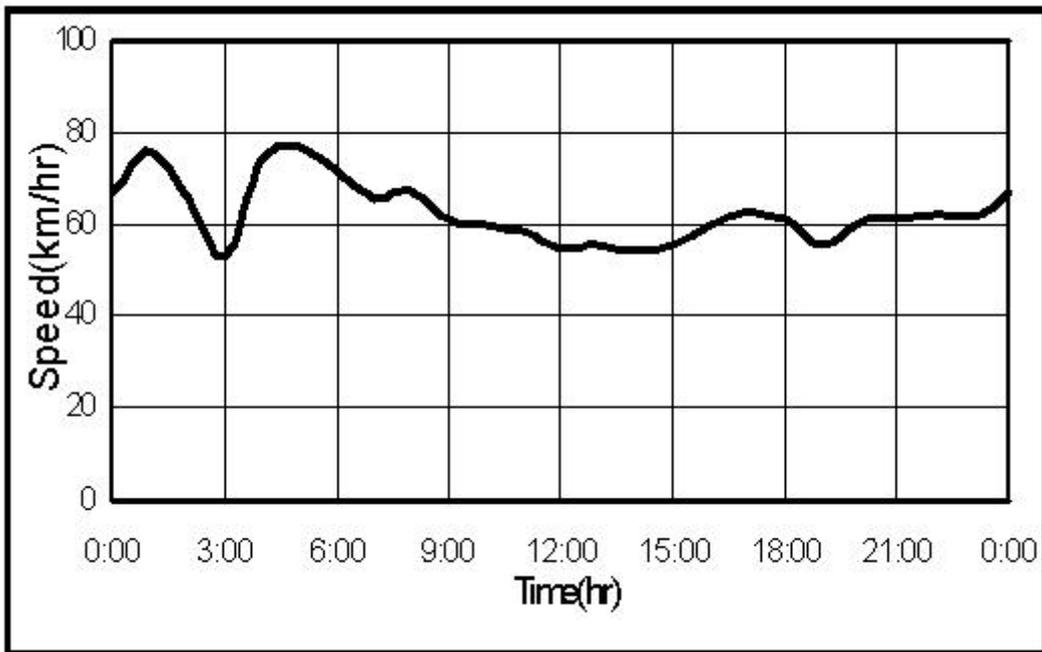


Fig 2.5 Average speed distribution(outbound)

2.3 점유율

점유율(Occupancy)은 차량이 도로의 검지기에서 머무르는 시간의 비율로서 퍼센트(%)로 표현되며, 관측시간동안 각각의 차량의 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} : 합류부 상향 평균 점유율(%)

O_{Di} : 합류부 하향 평균 점유율(%)

L_i : 개별 차량의 길이(m)

d : 검지기 길이(m)

T : 단위시간(15min)

본 연구대상 도시고속도로의 IC 합류부를 중심으로 산정된 점유율특성은 많은 차이가 있는 것으로 나타났다. 특히 도심방향에서는 유입교통류율과 관계없이 정체로 인하여 상·하향 평균 점유율이 약 11%로 유사하게 나타났으며, 부도심방향에서는 유입교통류율의 증가로 인하여 하향 평균 점유율이 약 13% 증가하였다. 또한 주간시간대와 야간시간대에는 약 5~8%의 낮은 증가율을 나타내었다(참조 Table 2.5, Fig 2.6, 2.7).

특히, 전일시간대를 중심으로 도심방향의 오전 출근시간대에는 약 17%, 부도심방향의 오후 퇴근시간대에는 약 14%의 높은 점유율 증가를 나타낸 반면에 도심방향의 오후 퇴근시간대와 부도심방향의 오전 출근시간대에는 약 3~6%의 낮은 증가율을 나타냈다(참조 Table

2.6).

이러한 결과는 연구대상 합류부가 부도심방향(outbound)에서 도심방향(inbound)으로 향하는 지역에 위치하고 있어 출근 차량 때문에 오전 출근시간대에 도심방향에 많은 차량이 집중하는 것으로 분석되어지며, 오후 퇴근시간대는 퇴근 차량 때문에 부도심방향에 많은 차량이 집중하는 것으로 분석되어진다. 따라서 상·하향 점유율의 변화에 따른 방향별, 시간대별 도시고속도로의 교통관리체계가 수립되어야 할 것으로 생각되었다

Table 2.5 Average occupancy depending on the directions and periods (%)

| Directions | | |
|------------|----------|------------|
| | Upstream | Downstream |
| inbound | 11.1 | 11.8 |
| outbound | 3.7 | 16.6 |
| Periods | | |
| | Upstream | Downstream |
| day-time | 12.4 | 17.7 |
| night-time | 2.4 | 10.7 |

Table 2.6 Average peak occupancy depending on the directions (%)

| Directions | Periods | | | | |
|------------|----------------------------|---------|--------|---------|--------|
| | 24 Hours average occupancy | AM peak | Change | PM peak | Change |
| inbound | 11.8 | 28.1 | 16.3 | 14.5 | 2.7 |
| outbound | 16.6 | 22.1 | 5.5 | 30.2 | 13.6 |

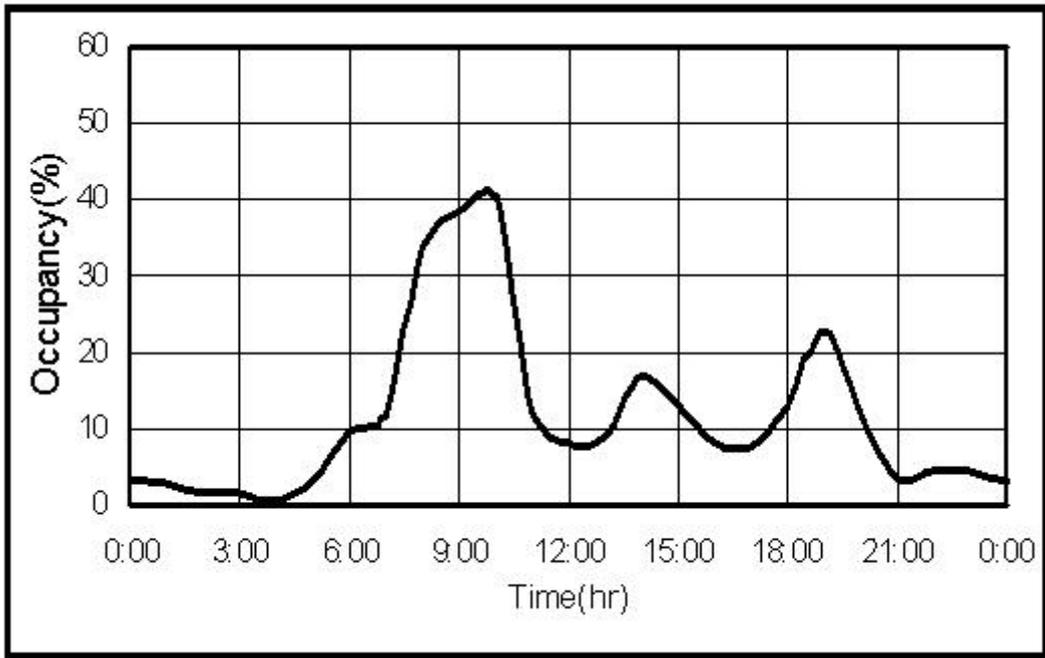


Fig 2.6 Average occupancy distribution (Inbound)

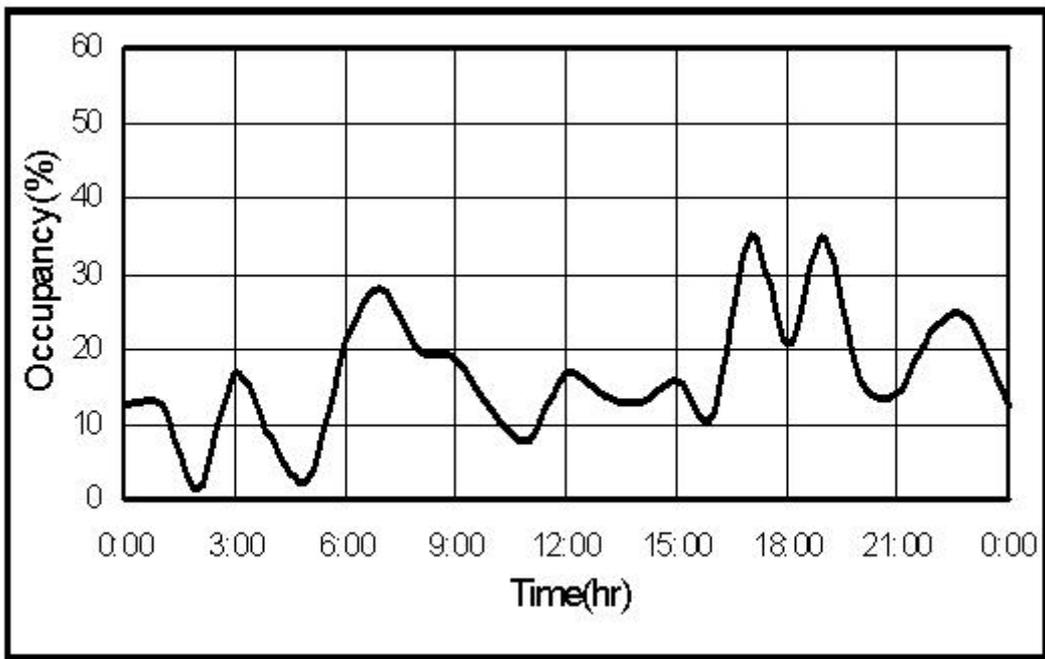


Fig 2.7 Average occupancy distribution (Outbound)

2.4 지체

지체(delay)는 도시고속도로의 IC 합류부에서 공간평균속도와 본선구간의 최대통행속도와의 차로 인한 통행지체(travel time delay)로서 그 단위는 second per vehicle(sec/veh)로 표현되고 다음과 같이 나타낸다.

$$D_{Mi} = T_{MI} - T_{MS} \quad (2. 13)$$

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

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

D_{Mi} : 단위시간(15min)동안 합류부의 평균통행지체(sec/veh)

T_{MI} : 합류부의 평균통행시간(sec/veh)

T_{MS} : 합류부의 최대통행시간(sec/veh)

L_{MI} : 검지기가 설치된 합류부의 길이(450m)

S_{MI} : 합류부의 공간평균속도(km/hr)

S_{MS} : 합류부의 본선구간 최대통행속도(km/hr)

본 연구대상 도시고속도로의 IC 합류부를 중심으로 산정된 지체 특성은 다음과 같이 나타났다. 특히, 차량의 집중으로 부도심방향에 비하여 도심방향의 통행지체가 다소 높게 나타났으며, 주간시간대가 야간시간대에 비하여 상대적으로 지체가 높게 나타났다(참조 Table 2.7).

특히, 전일시간대를 중심으로 도심방향에서는 오전 출근시간대 약 125%의 높은 지체증가율을 보였으나, 오후 퇴근시간대 약 25% 지체감소율을 보였으며, 부도심방향에서는 오전 출근시간대 약 24%의 지체감소율을 보였고 오후 퇴근시간대에는 약 4%의 지체감소율을 보였다(참조 Table 2.8).

위의 결과에서 알 수 있듯이, 도시고속도로의 IC 합류부에서 도심방향에서는 오전

출근시간대(07:00~10:00)에 진입교통류율의 집중으로 심한 지체가 발생하고 있었으나, 부도심방향에서는 오전 새벽시간(02:00~04:00)을 제외하고 시간대별로 큰 차이를 보이지 않았으므로 도심방향의 오전 출근시간대를 중심으로 도시고속도로의 교통관리체계가 수립되어야 할 것으로 생각되었다(참조 Fig 2.8, 2.9).

Table 2.7 Average delay depending on the directions and periods (sec/veh)

| Directions | Delay | Periods | Delay |
|------------|-------|-----------|-------|
| Inbound | 12.3 | Daytime | 12.0 |
| Outbound | 9.6 | Nighttime | 8.6 |

Table 2.8 Average peak delay depending on the directions (sec/veh)

| Directions | Periods | | | | |
|------------|------------------------|---------|------------|---------|------------|
| | 24 Hours average delay | AM peak | Change (%) | PM peak | Change (%) |
| Inbound | 12.3 | 27.7 | 125.2 | 9.2 | -25.2 |
| Outbound | 9.6 | 7.3 | -23.6 | 9.2 | -4.2 |

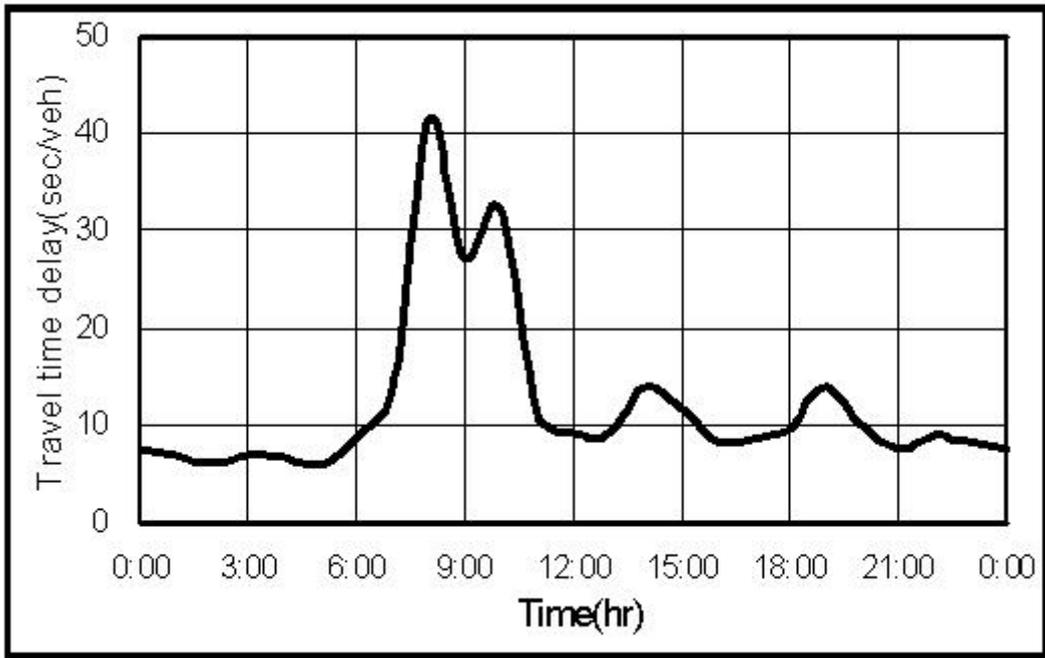


Fig 2.8 Average Delay distribution (Inbound)

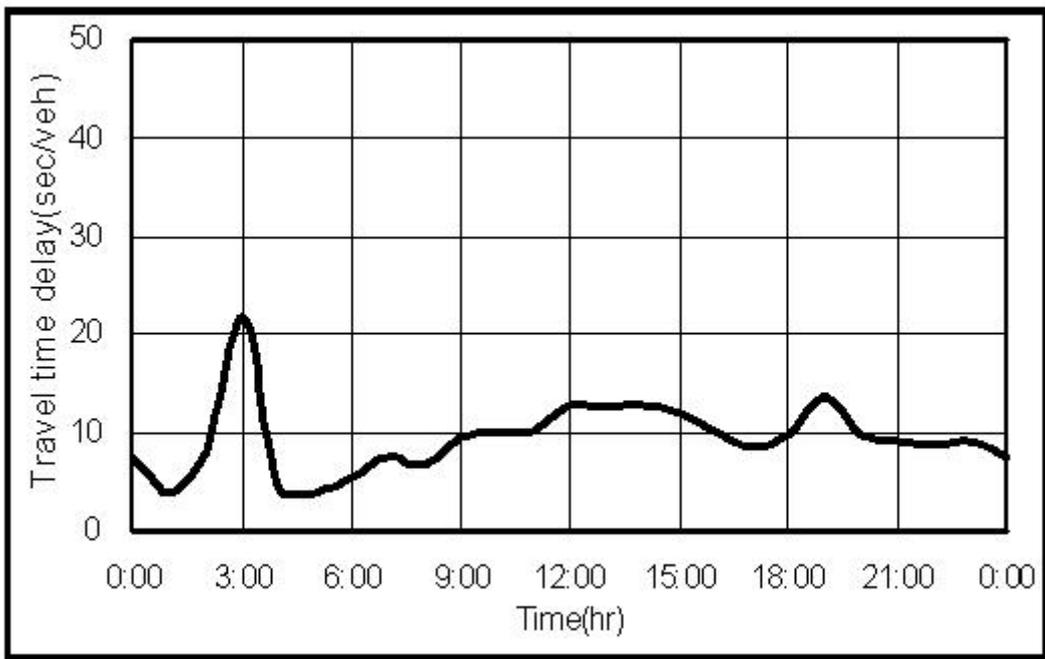


Fig 2.9 Average Delay distribution (Outbound)

2.5 교통류율과 속도

본 연구대상 도시고속도로의 IC 합류부(merge section)에서 교통류율과 속도관계는 일반적인 도시고속도로의 전형적인 포물선 형태를 나타내고 있었다. 특히, 교통류율이 약 1000 vphpl(veh/hour/lane)에 도달할 때까지 뚜렷한 속도변화를 보이지 않다가, 그 후 교통류율이 거의 포화상태인 약 1700 vphpl에 도달할 때까지 점차 속도가 감소하였으며, 그 이후로 유입 교통류율의 증가와 더불어 합류부의 속도가 약 20km/hr 정도에 도달하는 것으로 나타났다(참조 Fig 2.10).

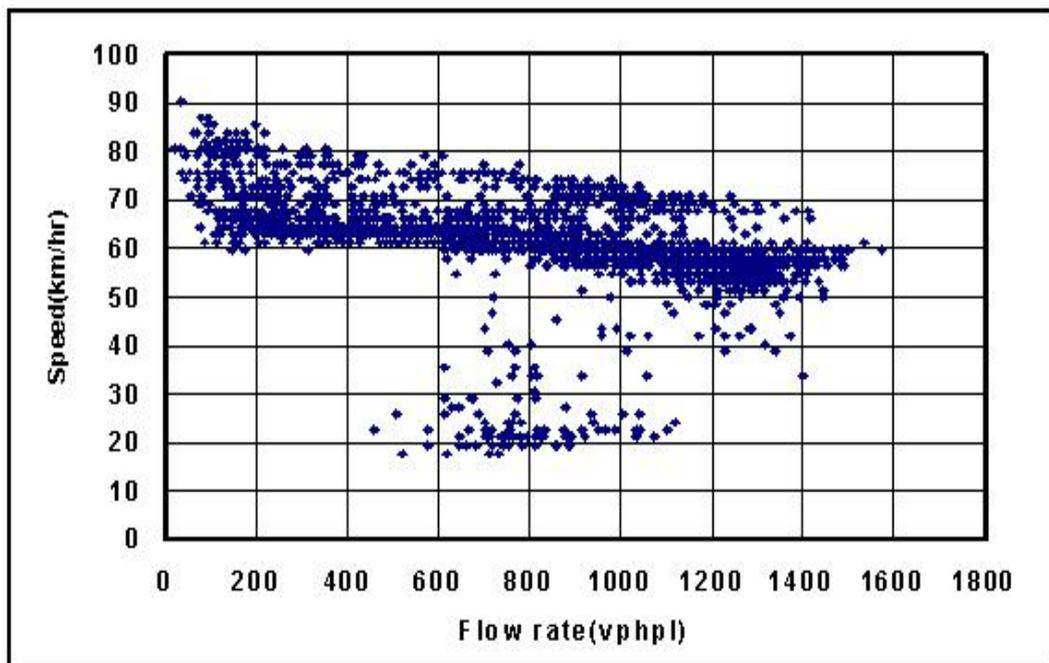


Fig 2.10 Relationship between speed and flow rate

위의 교통류율과 속도관계로부터 연구대상 합류부에서는 용량이 감소한다는 사실과 용량을 초과하여 차량이 계속 유입되게 되면 속도가 급격히 감소한다는 사실을 확인할 수 있었으므로 이를 바탕으로 하여 도시고속도로의 IC 합류부 교통관리체계를 방향별, 시간대별로 구분하여 수립해야 할 것으로 생각되었다.

따라서 본 연구대상 도시고속도로의 IC 합류부에 대한 교통특성분석결과 부도심방향에 대해서도 검토가 필요하겠지만, 특히 도심방향의 오전 출근시간대(07:00~10:00)를 중심으로 교통관리체계가 수립되어야 할 것으로 판단되었다.

3. 모형 구축

본 연구대상 도시고속도로의 IC 합류부에서 교통특성분석을 바탕으로 전일시간대 (both of directions), 도심방향(inbound), 부도심방향(outbound), 주간시간대 (daytime), 야간시간대(nighttime)로 분류하여 방향별, 시간대별 지체예측모형을 SAS ver 6.12를 사용하여 구축하였다.

3.1 구축 방법

본 연구대상 도시고속도로의 IC 합류부에서 지체예측모형을 구축하기 위해 사용된 변수들은 다음과 같다.

D_{Mi} : 단위시간(15min)동안 합류부의 평균통행지체(sec/veh)

V_{Ui} : 합류부의 상향 교통량(veh/15min)

V_{Di} : 합류부의 하향 교통량(veh/15min)

O_{Ui} : 합류부의 상향 점유율(%)

O_{Di} : 합류부의 하향 점유율(%)

V_{Ri} : 합류부의 유입램프 교통량(veh/15min)

D : Dummy 변수

본 연구에서는 도시고속도로의 IC 합류부에서의 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 변수 선택하는 판정기준으로 고려하였다. 모형의 적합

도를 검정하기 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 합류부에서 방향별, 시간대별 지체예측모형의 분산분석(ANOVA)의 *F-sig.* 결과 유의확률이 0.0001로 회귀식이 의미가 있는 것으로 나타났다. 또한 합류부의 시간대별 모형 결정계수 (R^2) 값들은 주간시간대에 0.925로 다소 높게 나타났고 야간시간대에 0.798로 다소 낮게 나타남으로써 선택된 독립변수들이 주간시간대 모형구축에 상당히 높은 설명력을 나타낸 반면, 방향별 모형의 결정계수 (R^2) 값들은 도심 방향(outbound)에서 0.863으로 다소 높게 나타났고, 부도심 방향(inbound)에서 0.568로 낮게 나타남으로써 도심방향에서 설명력이 높게 나타났다. 특히, 구축된 모형 내 개별 독립변수들 사이의 유의성을 검증한 결과 선택된 독립변수들이 통계적으로 유의한 것으로 나타났으며, 합류부에서 모형구축에 기여도가 높은 변수로는 상향 점유율 (O_{MU})과 하향 점유율 (O_{MD})로 나타났다. 그리고 합류부에서 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 | | | | | |
|------------|--|-------|------------|--------|---------------------------|-------|
| Inbound | $D_{Mi} = 4.82720 + 0.06977 V_{Ui} + 0.23254 O_{Ui} + 0.57581 O_{Di} - 0.03819 V_{Ri}$ <p style="text-align: center;">(0.000)²⁾ (0.000) (0.000) (0.000) (0.000)</p> | | | | | |
| | R^2 | 0.863 | $F - sig.$ | 0.0001 | $DW\ value$ ¹⁾ | 2.041 |
| Outbound | $D_{Mi} = 1.45867 + 0.01265 V_{Ui} - 0.01653 V_{Ri}$ <p style="text-align: center;">(0.000) (0.000) (0.000)</p> | | | | | |
| | R^2 | 0.568 | $F - sig.$ | 0.0001 | $DW\ value$ | 2.207 |

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

Table 3.2 Delay predictive models depending on the periods constructed

| Periods | Models | | | | | |
|-----------|--|-------|------------|--------|-------------|-------|
| Daytime | $D_{Mi} = 10.625 + 0.064 V_{Ui} - 0.045 V_{Di} + 0.311 O_{Ui} + 0.603 O_{Di} - 14.733 D$ <p style="text-align: center;">(0.000) (0.000) (0.000) (0.000) (0.000) (0.000)</p> | | | | | |
| | R^2 | 0.925 | $F - sig.$ | 0.0001 | $DW\ value$ | 2.101 |
| Nighttime | $D_{Mi} = 6.17 + 0.012 V_{Di} + 0.157 O_{Ui} + 0.518 O_{Di} - 0.022 V_{Ri} - 6.296 D$ <p style="text-align: center;">(0.000) (0.029) (0.000) (0.000) (0.004) (0.000)</p> | | | | | |
| | R^2 | 0.798 | $F - sig.$ | 0.0001 | $DW\ value$ | 2.115 |

Table 3.3 Delay predictive models depending on both of directions constructed

| | Models | | | | | |
|--------------------|---|-------|------------|--------|-------------|-------|
| Both of directions | $D_{Mi} = 4.343 - 0.023V_{Ui} + 0.288O_{Ui} + 0.692O_{Di}$ <p style="text-align: center;">(0.000) (0.000) (0.000) (0.000)</p> | | | | | |
| | R^2 | 0.848 | $F - sig.$ | 0.0001 | $DW\ value$ | 2.033 |

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 합류부에서 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 나타내는지 판단하기 위하여 관측치와 지체예측모형으로부터 예측된 예측치 간의

상관관계분석(correlation analysis)을 통해서 모형을 검증하였다.

4.2 모형검증

본 연구대상 도시고속도로의 IC 합류부에서 구축된 지체예측모형을 검증하기 위해서 실측치와 예측치 간의 상관관계분석(correlation analysis)을 실시한 결과, 도심방향과 주간 시간대가 0.9이상으로 높은 상관성을 보였으며, 유의수준은 방향별, 시간대별로 다양하게 분포되고 있는 것으로 분석되었다. 그리고 도심방향의 검증결과가 부도심방향의 검증결과보다 다소 높게 나타났고, 주간시간대의 검증결과가 야간시간대와 비교하여 설명력이 높은 것으로 분석되었다(참조 Table 4.1, Fig. 4.1~4.5).

Table 4.1 Correlation coefficients depending on the directions and periods tested

| Condition Statistical parameter | Directions | | Periods | | Both of Directions |
|---------------------------------------|------------|----------|---------|-----------|-----------------------|
| | Inbound | Outbound | Daytime | Nighttime | |
| <i>R</i> | 0.945 | 0.827 | 0.953 | 0.89 | 0.945 |

Note: *R* = correlation coefficient

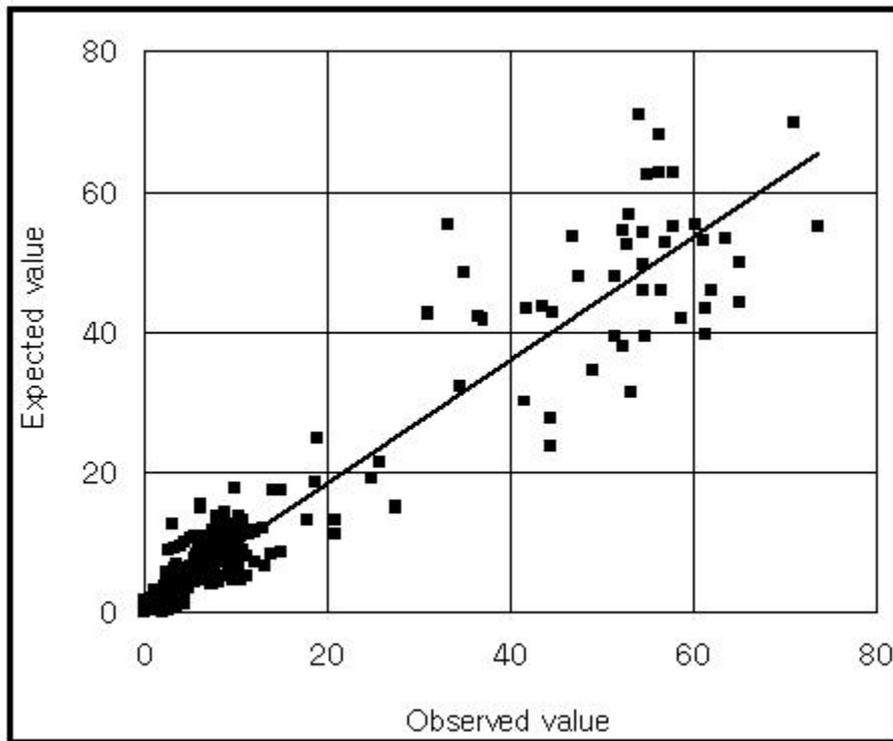


Fig. 4.1 Both of directions tested

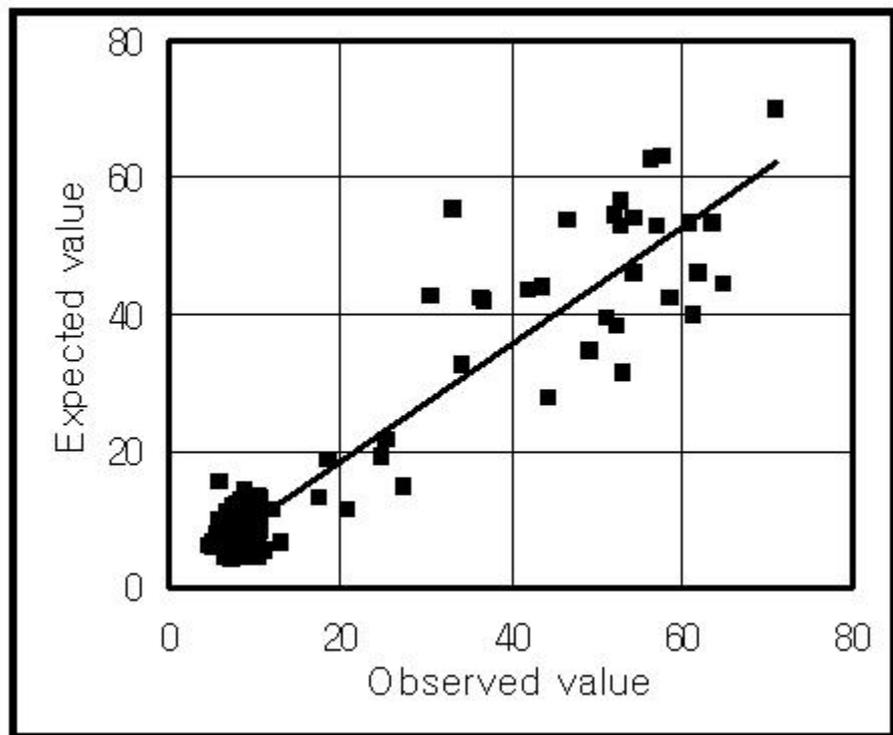


Fig 4.2 Inbound tested

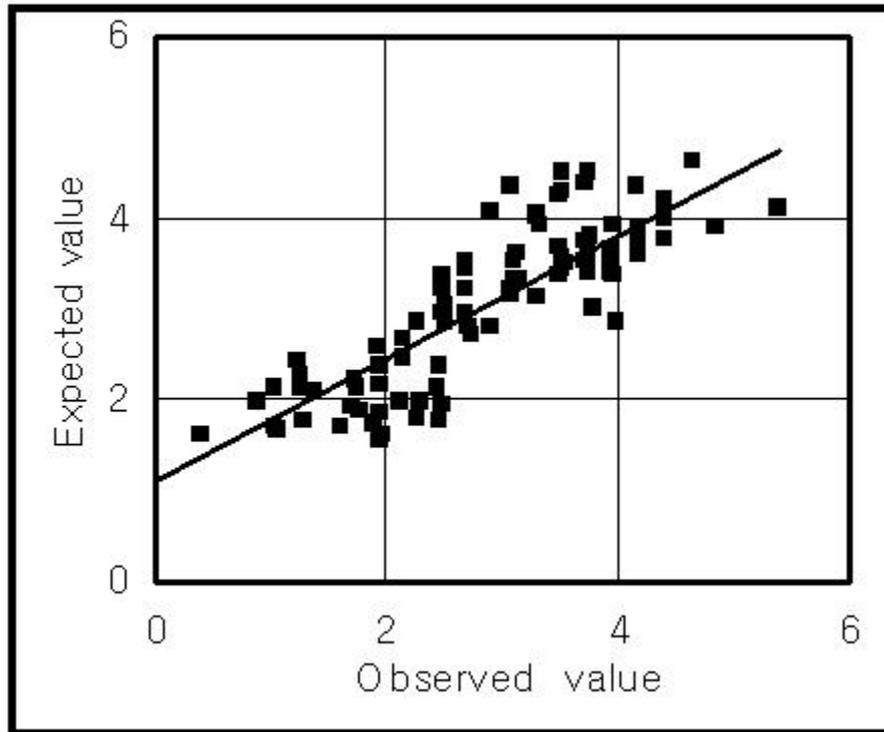


Fig 4.3 Outbound tested

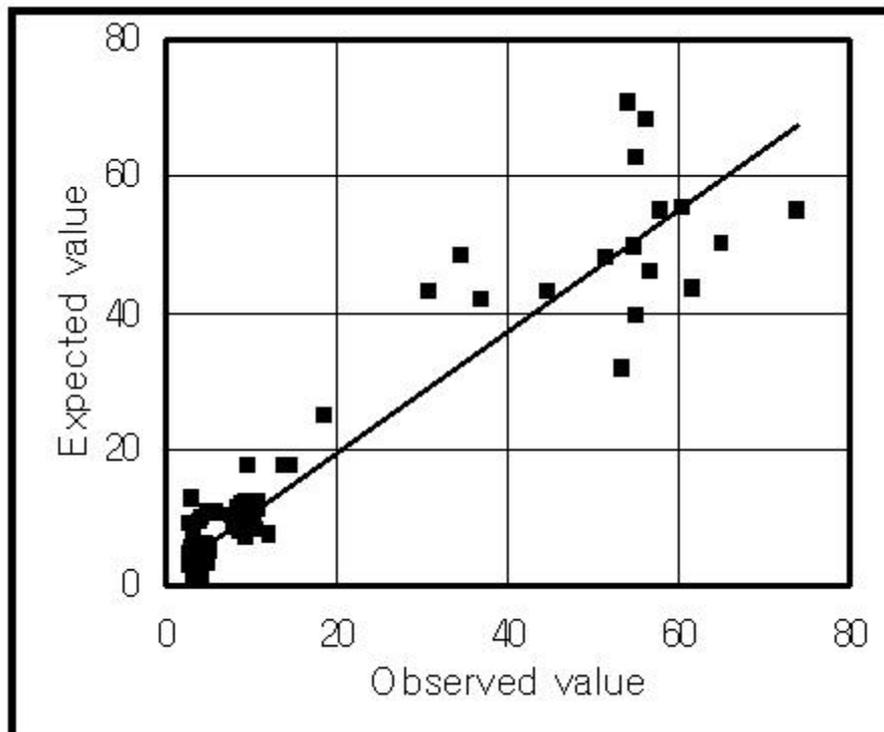


Fig 4.4 Daytime tested

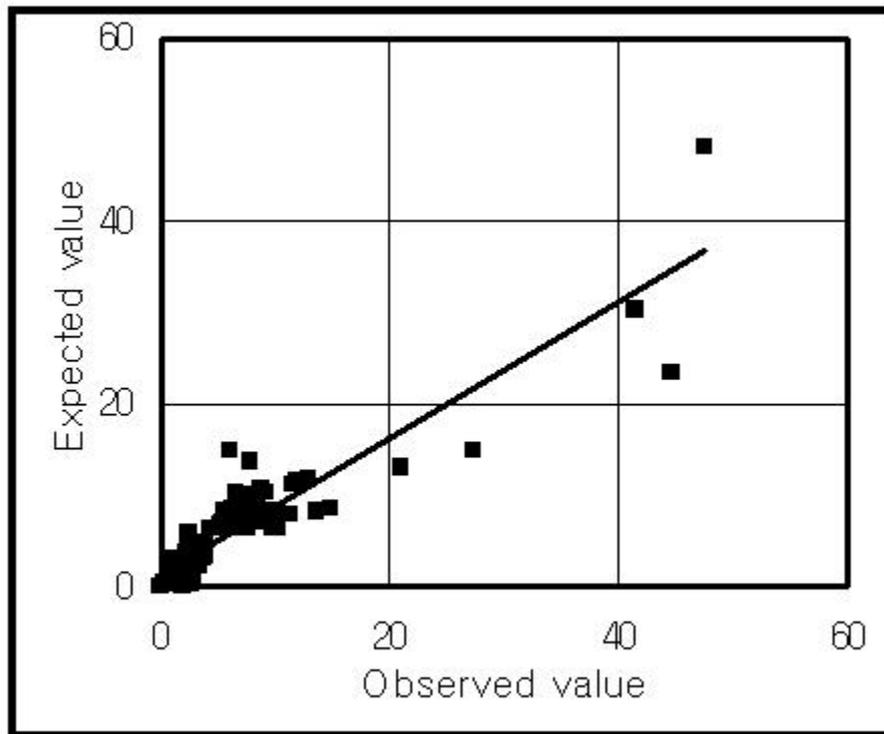


Fig 4.5 Nighttime tested

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구대상 도시고속도로의 IC 합류부에서 실시간의 교통특성분석과 지체예측모형의 구축 및 검증 통해 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- i) 교통류율의 분포는 시간대별로 많은 차이를 보이고 있었으며 뚜렷한 첨두현상 없이 다만 주간시간대에 걸쳐 다소 높게 발생하고 있었으며, 특히 도심방향의 교통류율이 부도심방향에 비하여 상대적으로 높게 나타났고, 주간시간대가 야간시간대에 비해 교통류율의 집중이 높게 나타났다.
- ii) 지체예측모형에 있어서 R^2 값이 도심방향과 주간 시간대에 0.8이상으로 나타남으로써 선택된 변수들이 모형구축에 높은 설명력을 나타내고 있었으나, 부도심방향과 야간 시간대는 구축된 지체예측모형의 설명력이 다소 낮게 나타났다.
- iii) 도시고속도로 입체교차로의 합류부에서 지체예측모형은 상향 교통류율, 점유율 및 유입 램프교통류율을 기준으로 구축하는 것이 높은 설명력을 보이는 것으로 나타났다.
- iv) 연구대상 도시고속도로의 IC 합류부의 지체예측모형은 전일시간대(both of directions), 도심방향(inbound)과 주간시간대(daytime)에 상대적으로 높은 설명력을 보인 반면, 부도심방향(outbound)과 야간시간대(nighttime)에 다소 낮은 설명력을 보이는 것으로 나타남으로써 도심방향의 주간시간대를 중심으로 도시고속도로의 교통관리체계의 구축이 필요하다고 생각되었다.
- v) 연구대상 도시고속도로의 도심방향 합류부에 도시고속도로의 실시간 교통정보를 제공하여 소통능력을 향상시킬 수 있는 가변정보신호판(variable message sign, VMS)과 같은 교통관리체계(urban freeway traffic management system, UFTMS)가 구축되어야 할 것으로 생각되었다.

본 연구에서 구축된 지체예측모형은 유사한 기하구조와 교통특성을 가지는 대도시 도시고속도로의 IC 합류부의 서비스 수준을 평가할 수 있는 효과적으로 사용되어질 수 있을 것으로 판단되지만, 본 연구에서는 IC의 합류부만을 대상으로 연구가 수행되었기 때문에 향후 다양한 기하구조특성과 계절별·요일별 차이, 기상 상태 등을 고려한 합류부에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 건설부, “도로용량편람”, 1992, pp. 197~235.
2. TRB, “Highway Capacity Manual”, Special Report 209, Washington. D. C., 1985, pp. 5-1~5-16.
3. TRB, “Highway Capacity Manual”, Special Report 209, Washington. D. C., 1998, pp. 5-1~5-14.
4. 김정훈과 김태곤, “고속도로 진출입램프 접속부상의 지체예측모형 구축에 관한 연구”, 한국항만학회지, 제 14권 제 2호, 2000, pp 175~185.
5. Wattleworth, J. A., Wallace, C. E., and Moshe, L., “DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A RAMP METERING SYSTEM ON THE LODGE FREEWAY”, Texas Transportation Institute Research Report 488-3, 1967.
6. Lindley, J. A., “Urban Freeway Congestion Problem and Solution : An Update”, ITE Journal, December 1989.
7. 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.
8. Thompson, N., “Ramp up the volume”, ITS International, 1997, 40~42.
9. 김충련, “SAS라는 통계상자”, 데이터 리서치, 1994, pp. 247~298.
10. 김승길과 김태곤, “70mph 제한속도를 갖는 고속도로 램프 접속부상에 서의 속도추정모형에 관한 연구”, 한국항만학회지, 제 14권 제 1호, 2000. pp 65 ~75.
11. 도철웅, “교통공학원론(上)”, 청문각, 1999, pp. 54~108.
12. 김갑수와 신판식, “도시고속도로 기본구간의 교통특성분석”, 대한교통학회지, 제 16권 제 4호, 1998.
13. 조인호, “SAS강좌와 통계컨설팅”, 한화경제연구원, 1996, pp 20-3~20-50.

14. 김중섭, “통계자료분석방법”, 학문사, 1998, pp 317~372.
15. 김중덕, “SAS를 이용한 선형회귀분석”, 자유 아카데미, 2001, pp 89~175, 221~253.

감사의 글

대학원에 진학하여 2년 동안 많은 것을 경험하고, 배우게 해주신 김태곤 교수님께 가장 먼저 감사의 마음을 전합니다. 그리고 김도삼 교수님, 경갑수 교수님께도 감사드립니다.

여기까지 올 수 있도록 뒷바라지 해주신 부모님께 깊은 감사를 드리고, 항상 저를 믿고 지켜봐 주신 누님들과 동생 그리고 자형들에게도 감사드립니다.

2년 동안 동문수학한 대호형, 동환, 태준, 그리고 따가운 질책과 격려로 길을 인도해 주신 안현철, 이은진, 김아영, 권인영, 신광식, 김정훈, 김동수, 김승길, 차진풍, 권덕 선배님들께 감사드리고 심양주, 허인석, 윤병순, 그리고 순범, 여정, 지영, 현아에게도 감사드립니다.

그리고 어려울 때 항상 힘이 되어준 친구들인 명권, 영화, 지원, 효평, 우상, 평진, 태곤, 정길이에게도 감사드립니다.

끝으로, 아버님, 어머님, 그리고 가족 모두에게 다시 한번 감사드립니다.