

공학석사 학위논문

속도감시상황하에서 도시고속도로 IC 합류부의
속도예측모형 구축에 관한 연구

**Speed Predictive Modeling on the Merge Sections of Urban Freeway
Interchange with the Speed Surveillance Devices installed**

指導教授 金 殆 坤

2003년 2월

한 국 해 양 대 학 교 대 학 원

토 목 환 경 공 학 과 元 棟 煥

Speed Predictive Modeling on the Merge Sections of Urban Freeway Interchange with the Speed Surveillance Devices Installed

Dong-Hwan, Won

*Department of civil & Environmental Engineering
Graduate School of Korea Maritime University*

Abstract

Urban freeway plays a key role in the urban transportation system and also takes a lot of share in the urban traffic generated in the big city. However, most of the urban freeways are experiencing the transportation problems including severe traffic congestion regardless of the peak periods because the new travel demands keep increasing. Thus, the purpose of this study is to investigate the traffic characteristics, analyze the relationships between the traffic characteristics and finally construct the speed predictive models on the merge sections in the congested urban freeway interchange with the speed surveillance devices installed in city of Busan.

From the analyses of traffic characteristics, and 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 speed predictive modeling on the merge sections of urban freeway interchange under the study. Particularly the speed predictive models showed a higher explanatory power with the R^2 values greater than 0.8 on the inbound merge section when compared with those on the outbound merge section.

iv) The Urban freeway traffic management system(UFTMS) measures like the variable message sign(VMS), ramp metering system, or both were shown to be more effective on the inbound entrance ramp in the morning rush hour.

목 차

ABSTRACT	i
NOMENCLATURE	v
LIST OF FIGURES	vi
LIST OF TABLES	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	5
2.1 교통류율	6
2.2 점유율	11
2.3 속도	14
2.4 교통류율과 속도	18
3. 모형 구축	20
3.1 구축 방법	20

3.2 모형 구축	21
4. 모형 검증	23
4.1 검증 방법	23
4.2 모형 검증	23
5. 결론 및 향후 연구과제	27
참고문헌	29

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	: Dummy variable
PHF	: Peak hour factor

LIST OF FIGURES

Fig. 2.1	Merge section geometry	5
Fig. 2.2	Average flow rate distribution (inbound)	9
Fig. 2.3	Average flow rate distribution (outbound)	9
Fig. 2.4	Average ramp flow rate distribution (inbound)	10
Fig. 2.5	Average ramp flow rate distribution (outbound)	10
Fig. 2.6	Average occupancy distribution (inbound)	13
Fig. 2.7	Average occupancy distribution (outbound)	14
Fig. 2.8	Average speed distribution (inbound)	17
Fig. 2.9	Average speed distribution (outbound)	17
Fig. 2.10	Relationship between flow rate and speed	18
Fig. 4.1	Both of directions tested	24
Fig. 4.2	Inbound tested	25
Fig. 4.3	Outbound tested	25
Fig. 4.4	Daytime tested	26
Fig. 4.5	Nighttime tested	26

LIST OF TABLES

Table 2.1	Average flow rate depending on the directions and periods (vphpl)	8
Table 2.2	Average peak flow rate depending on the directions (vphpl)	8
Table 2.3	Average occupancy depending on the directions and periods (%)	12
Table 2.4	Average peak occupancy depending on the directions (%)	13
Table 2.5	Average speed depending on the directions and periods (km/hr)	16
Table 2.6	Average peak speed depending on the directions (km/hr)	16
Table 3.1	Speed predictive models depending on both of directions constructed	22
Table 3.2	Speed predictive models depending on the directions constructed	22
Table 3.3	Speed predictive models depending on the periods constructed	22
Table 4.1	Correlation coefficients depending on the directions and periods tested	24

1. 서 론

1.1 연구 배경

일반적으로 도시고속도로(urban freeway)란 대도시지역 내 가장 안전하고 효율적이며 대량의 차량통행을 허용하는 핵심 고속도로로 출퇴근시간대를 제외하고는 거의 자유류 속도(free flow speed)를 유지하는 도로를 의미한다. 오늘날 국내의 대도시 도시고속도로는 도시교통체계의 중추적인 역할을 담당해야함에도 불구하고, 불합리한 도로설계와 교통시설 및 교통관리체계 등으로 인하여 출퇴근시간대에 관계없이 심각한 도시교통문제를 겪고 있다. 그러나 이러한 도시교통문제를 해결하기 위하여 막대한 자원투자와 함께 새로운 도시고속도로를 건설한다하여도 도시교통문제를 더욱 가중시킬 우려가 많기 때문에 가용재원의 허용범위 내에서 새로운 도시고속도로의 확충 및 확장도 필요하지만, 기존 도시고속도로의 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 속도(free flow speed)가 유지되어야하나, 주변 서비스도로의 부족과 이용차량의 집중으로 인하여 도시고속도로가 제 기능을 발휘한다는 것은 결코 쉬운 일이 아니다. 특히, 차량의 집중정도가 과도한 출퇴근시간대에는 도시고속도로가 본래의 기능을 유지하는 것이 거의 불가능하고, 출퇴근시간대가 아니라 해도 도시고속도로의 본선구간(mainline section)보다는 유·출입램프와 합·분류부(merge and diverge sections)에서 주변 서비스도로의 부

족과 비효율적인 도시고속도로 교통관리체계로 인하여 교통체증은 한층 가중되고 있다.

따라서 본 연구에서는 도시고속도로의 IC 합류부에서 유입차량으로 인한 본선구간의 지체와 사고가 증가하고 있다는 사실에 근거를 두고, 연구대상지역으로 정체가 심한 부산지역 내 속도감시장치가 설치된 도시고속도로의 입체교차로를 선정하여 인위적인 교통통제가 이루어지지 않는 유입램프 합류부를 중심으로 i) 교통특성 자료조사와 분석을 실시하고, ii) 교통특성의 상호 관계를 중심으로 속도예측모형을 구축하여 검증하며, iii) 검증된 속도예측모형에 근거하여 도시고속도로의 IC 합류부에서 지체와 사고를 감축시킬 수 있는 도시고속도로의 교통관리방안을 제시하고자 한다.

1.3 문헌 조사

본 연구와 관련하여 1998년 HCM¹⁾(highway capacity manual)에서는 모형구축을 위해서 유출·입 램프(entrance & exit ramp)에 의한 합·분류부의 영향권을 노즈부(nose) 기준으로 450m(1500ft)를 설정하고 이 영향권에서 밀도예측모형과 속도예측모형을 설정하였으며, 일차적인 서비스 수준의 기준으로 밀도예측모형을 제시하였고, 부가적인 서비스 수준으로 속도예측모형을 제시하였다. 또한 램프 접속부 영향권에서 밀도 및 속도 예측시 램프 접속부의 유출·입 차량에 의한 실제적인 본선차량의 영향을 고려하기 위하여 본선 외측의 1, 2차로교통량 (V_{12})예측모형을 제시하였는데, 이 예측모형은 본선의 차로 수 및 인접 램프 접속부 형태에 따라 조금씩 달리 제시되고 있지만, 가속 및 감속차로의 길이가 밀도 및 속도 예측모형에 새로이 추가됨으로서 모형의 신뢰성이 증대되었다.

May, A. D.²⁾(1990)는 고속도로의 교통축을 중심으로 한 연구에서 고속도로를 상향(upstream)유입단과 하향(downstream)유출단 그리고 합류부를 포함하는 본선구간

으로 나누어 수요-공급 분석(demand-supply analysis)을 수행한 결과 고속도로 본선구간 속도가 40km/hr~48km/hr에서 병목현상이 발생하고, 유입 램프의 적절한 통제와 합류부의 관리가 이루어지면 지체와 통행시간이 각각 10.9%와 12.2% 감소되었다고 보고함으로써 고속도로의 합류부에 대한 관리체계의 구축을 강조하였다.

Davis, G. A. et al.³⁾(1990)은 고속도로 접속부에서 점유율(occupancy)과 유출·입 교통량(inflowing and outflowing traffic)이 고속도로의 교통체증(congestion)에 상당한 영향을 미치고 있다는 전제하에 실시간 관측 자료를 바탕으로 고속도로의 체증 발생을 사전에 예측할 수 있는 교통관리체계구축의 필요성을 강조하였다.

Masao K. et al.⁴⁾(1991)는 동경도 고속도로의 속도와 용량특성을 비교·분석하였는데, 특히 고속도로의 접속부에서의 용량은 본선구간의 용량에 비하여 진·출입차량의 엇갈림(weaving)으로 인하여 12%~26%정도 감소하였다고 보고하였다.

신치현⁵⁾(1995)은 가속차선이 합류부의 램프 전체의 운영에 미치는 영향을 수치화하고 체계적으로 평가하기 위해서 미국의 6차로 고속도로에서 다양한 현장 조사 자료를 바탕으로 한 실험적 연구를 실시하였다. 그 결과 가속차로가 고속도로 합류부의 램프 운영에 미치는 영향분석을 통해서 다중회귀모형을 구성하는 독립변수로 가속차로의 길이를 사용하는 것이 타당하다는 결론과 함께 합류부의 운영의 질인 속도를 예측하기 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.

김상구⁶⁾(1997)는 고속도로 합류부의 합류교통량 평가에 관한 연구에서 선형회귀 모형식을 사용하여 본선교통량과 램프 교통량과의 상호관계를 제시하였고, 합류 교통량에 대하여 램프 교통량이 본선교통량보다 더 많은 영향을 나타내는 것으로 분석하여 보다 나은 고속도로 합류부 운영에 대한 방안을 제시하였다.

김승길과 김태곤⁷⁾(2000)은 미국 Michigan주 Detroit지역의 제한속도 70mph를 가지는 도시고속도로 I-94상의 검지기(loop detector)에서 수집된 실시간 자료를 이용하여 유·출입램프 접속부(합·분류부) 영향권 내에서 보다 신뢰성 있는 속도예측모형(speed

predictive model, SPM)을 구축하였으며, HCM(1998)의 속도예측모형과의 상호 비교를 통해 제한속도 상향에 따른 기존 HCM의 속도예측모형이 재조정될 필요성이 있음을 제기하였다.

1.4 연구 내용 및 방법

본 연구에서는 부산지역 내 양방향 4차로(차로폭원 3.7m, 도심방향 가속차로 200m, 부도심방향 가속차로 240m) 도시고속도로인 원동 IC의 트럼펫 A형 입체교차로(본선 제한속도는 80km/hr이고 램프 제한속도는 50km/hr이며 주요 지점에 속도 감시 카메라가 설치·가동되고 있음) 합류부(merge sections)에 450m의 간격으로 설치된 검지기(NC-97)를 통해 매 15분 단위시간으로 1일 24시간씩 그리고 2주일동안 실시간으로 관측된 교통량, 속도 및 점유율 자료를 도심방향(inbound)과 부도심방향(outbound)으로 분류하였고, 또한, 첨두시간대의 구분이 명확하지 않기 때문에 주간시간대(daytime; 07:00~19:00)와 야간시간대(nighttime; 19:00~07:00)로 분류하여 교통류율의 특성분석과 속도예측모형을 구축하였고, 구축된 모형을 적절한 신뢰 수준에서 실측자료와 비교·분석을 통해 검증을 실시하였다.

본 연구에서는 교통특성 분석과 모형 구축을 위해 Microsoft Office XP와 SPSS ver 10.0이 실시간 관측 자료와 함께 사용되었다.

2. 교통특성분석

본 교통특성분석에서는 도시고속도로의 IC 합류부에 설치된 검지기로부터 관측된 교통특성자료 분석이 수행되었고, 교통특성 자료내의 상호 관계분석이 수행되었으며, 특히 합류부내에서 본선 교통류율, 램프 교통류율, 속도와 점유율의 상호 관계분석이 수행되었는데, 연구대상 도시고속도로의 IC 합류부 개념도는 다음과 같다(참조 Fig. 2.1).

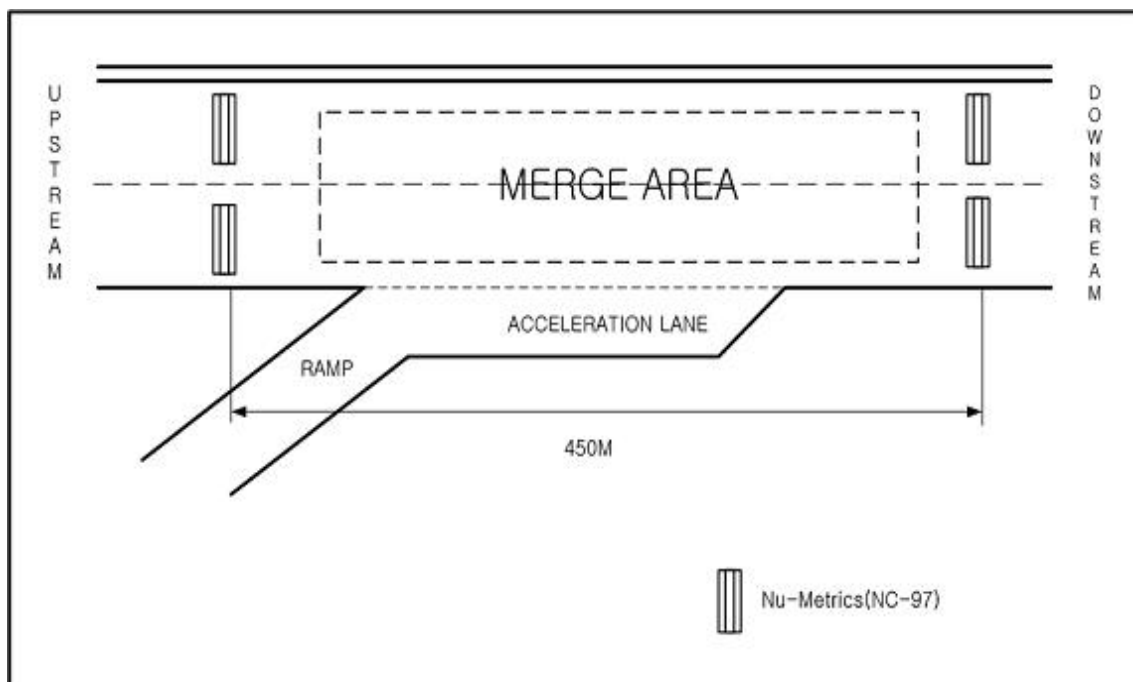


Fig. 2.1 Merge section geometry

2.1 교통류율

교통류율(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 상향 교통량(veh/15min)

V_{Di} : 단위시간의 하향 교통량(veh/15min)

- V_{MU} : 합류부의 상향 교통류율(vph)
- V_{MD} : 합류부의 하향 교통류율(vph)
- ν_{MU} : 합류부의 상향 첨두교통류율(vph)
- ν_{MD} : 합류부의 하향 첨두교통류율(vph)
- PHF : 첨두시간계수
- V_{Ri} : 단위시간의 유입램프 교통량(veh/15min)
- V_{RI} : 유입램프 교통류율(vph)

연구대상 도시고속도로의 IC 합류부를 중심으로 산정된 단위시간동안 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 합류부 램프교통류율(entrance ramp flow)의 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 22.6%, 부도심방향에서 약 44.1%의 높은 집중률을 나타낸 반면에 오후 퇴근시간대의 경우 도심방향에서 약 21.3%, 부도심방향에서 약 10.1%의 상대적으로 낮은 집중률을 나타내고 있었다(참조 Table 2.2).

위의 결과로부터, 연구대상 합류부에서는 상향 교통류율과 유입 램프교통류율(ramp flow rate)의 변화에 따라 지역별, 시간대별로 적절한 도시고속도로 관리체제

가 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 관리체계가 수립되어야 하며, 도심방향의 오전 출근 시간대(07:00~10:00)에서는 합류부에서 지체와 사고를 감축시킬 수 있도록 도시 고속도로 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	AM peak	Change (%)	PM peak	Change (%)
inbound	862	1057	22.2	1046	21.4
outbound	646	931	44.1	711	10.1

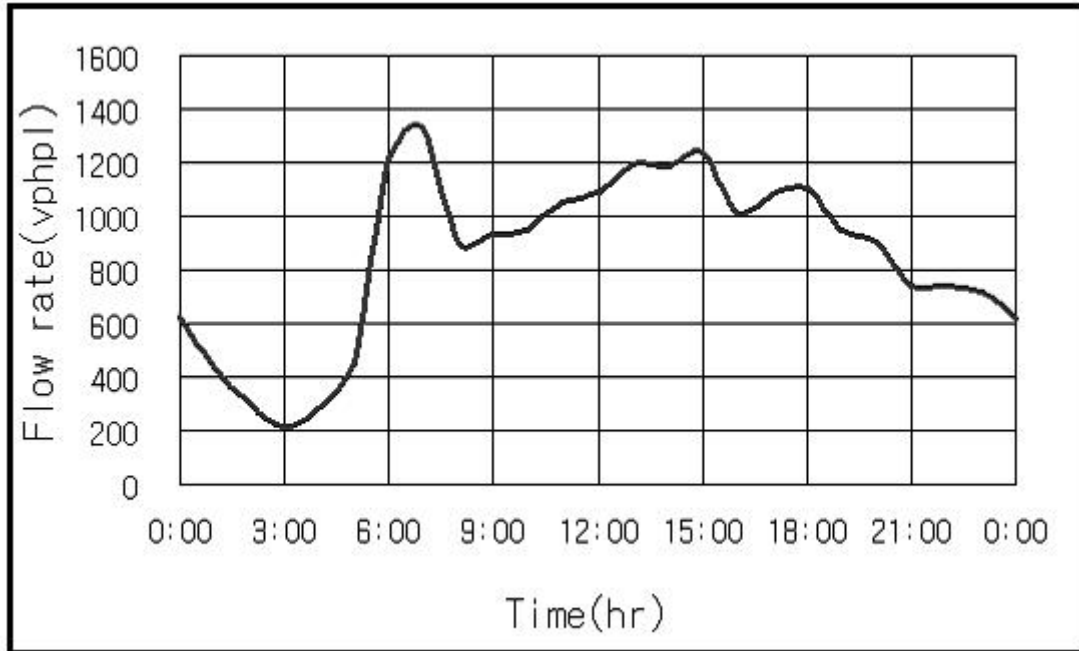


Fig. 2.2 Average flow rate distribution (inbound)

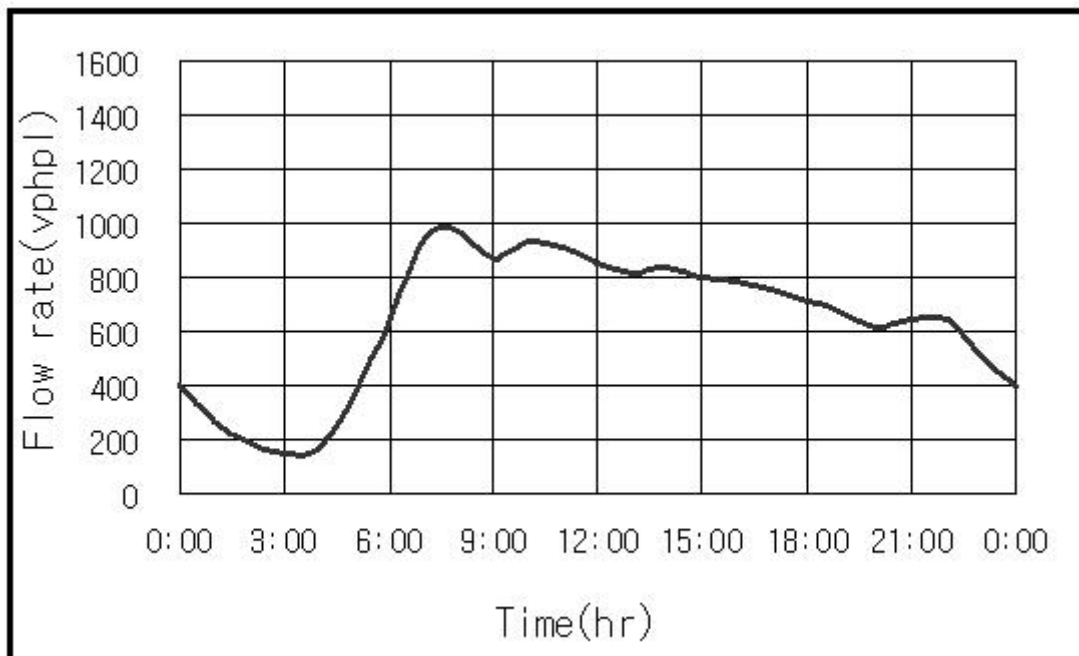


Fig. 2.3 Average flow rate distribution (outbound)

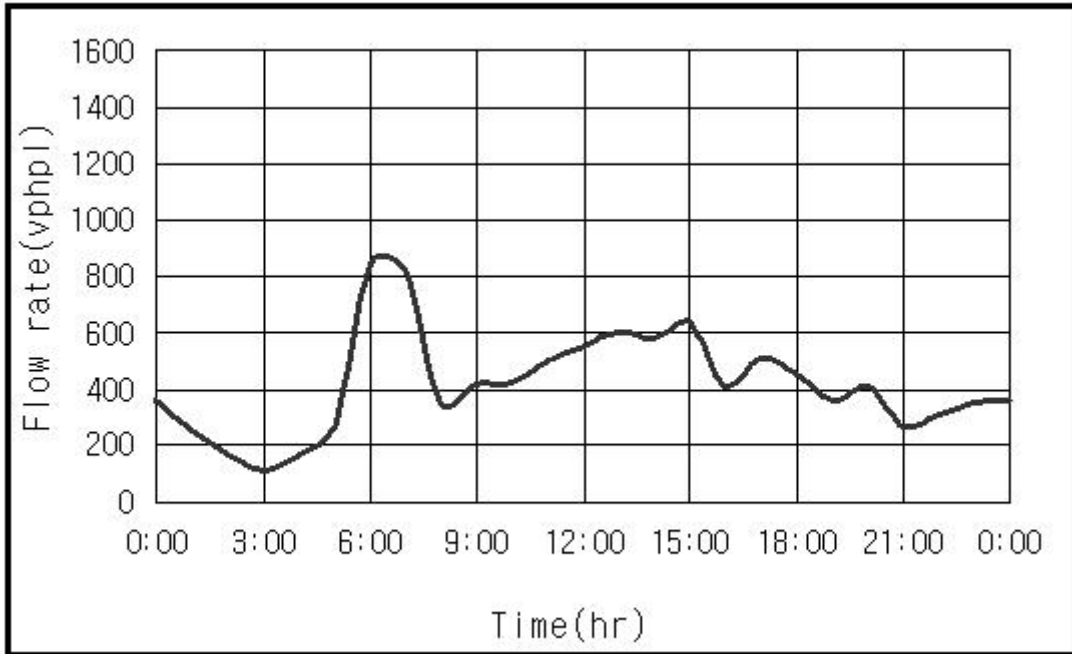


Fig. 2.4 Average ramp flow rate distribution (inbound)

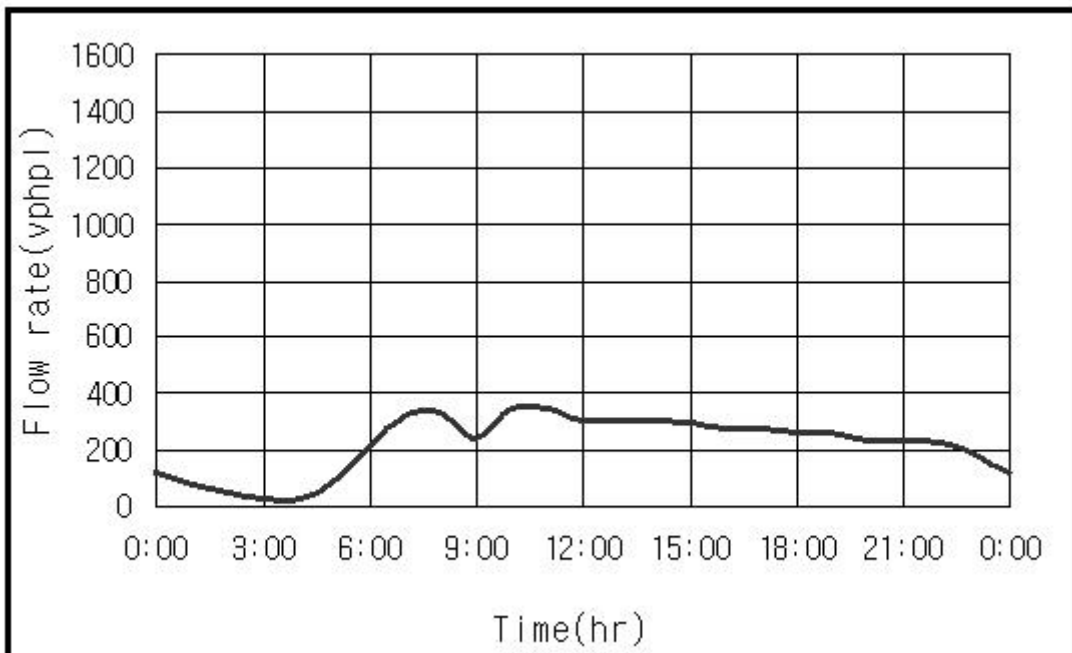


Fig. 2.5 Average ramp flow rate distribution (outbound)

2.2 점유율

점유율(occupancy)은 차량이 도로의 검지기상에서 머무르는 시간의 비율로서 그 단위는 퍼센트(%)로 표현되며, 관측시간동안 각각의 개별차량에 대해서 차량의 속도, 차량의 길이, 그리고 검지기의 길이를 이용하여 다음과 같이 산정된다.

$$O_{Ui} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} (L_i + d) / S_{Ui}}{T} \quad (2.8)$$

$$O_{Di} = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} (L_i + d) / S_{Di}}{T} \quad (2.9)$$

O_{Ui} : 합류부의 상향 평균 점유율(%)

O_{Di} : 합류부의 하향 평균 점유율(%)

L_i : 개별 차량의 길이(m)

d : 검지기 길이(m)

T : 단위시간(15min)

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 점유율특성은 많은 차이

가 있는 것으로 나타났다. 특히 도심방향에서는 유입교통류율과 관계없이 정체로 인하여 상·하향 평균 점유율이 약 11%로 유사하게 나타났으며, 부도심방향에서는 유입 교통류율의 증가로 인하여 하향 평균 점유율이 약 13% 증가하였다. 또한 주간시간대와 야간시간대에는 약 5~8%의 낮은 증가율을 나타내었다(참조 Table 2.3, Fig 2.3, 2.4).

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 2.4).

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 2.3 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 2.4 Average peak occupancy depending on the directions (%)

Directions	Periods				
	24 Hours average occupancy	AM peak	Change (%)	PM peak	Change (%)
inbound	11.8	28.1	138.1	14.5	22.9
outbound	16.6	22.1	33.1	30.2	81.9

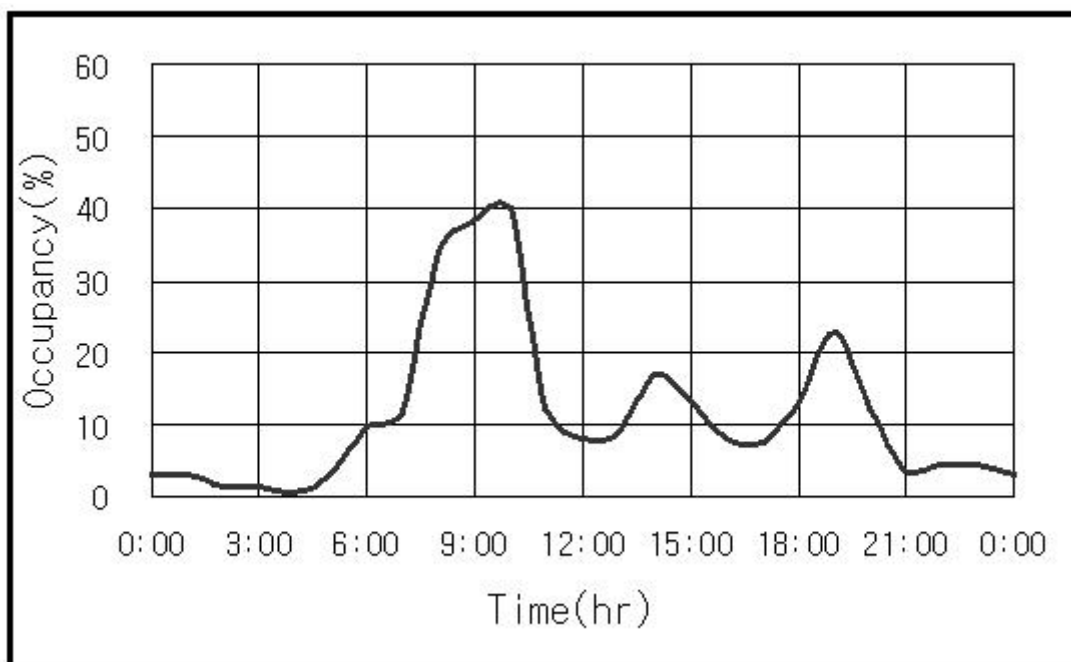


Fig 2.6 Average occupancy distribution (inbound)

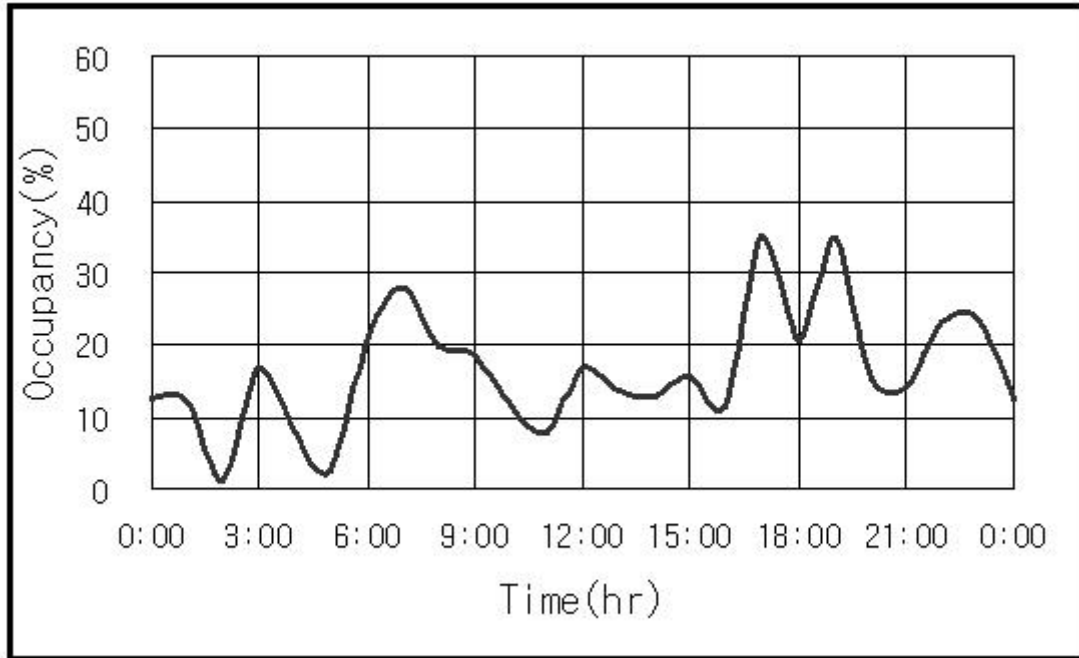


Fig 2.7 Average occupancy distribution (outbound)

2.3 속도

속도(Speed)는 차량의 단위시간당 주행거리로서 그 단위는 kilometer per hour(km/hr)로 표현된다. 본 연구대상 도시고속도로의 IC 합류부에서 관측된 지점속도와 공간평균속도(space mean speed)는 다음과 같이 산정된다.

$$S_{MI} = \frac{1}{\frac{1}{n_1 + n_2} \left(\frac{n_1}{S_U} + \frac{n_2}{S_D} \right)} \quad (2.10)$$

$$S_U = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} S_{Ui}}{n_1} \quad (2.11)$$

$$S_D = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} S_{Di}}{n_2} \quad (2.12)$$

S_{MI} : 합류부의 공간평균속도(km/hr)

S_U : 합류부의 상향 지점속도(km/hr)

S_D : 합류부의 하향 지점속도(km/hr)

본 연구대상 도시고속도로의 IC 합류부를 중심으로 산정된 공간평균속도의 특성을 살펴보면, 도심방향이 부도심방향보다 다소 낮게 나타났고 야간시간대가 주간시간대보다 높게 나타났다. 한편, 도시고속도로의 IC 합류부에서 평균속도는 상향 지점속도와 비교해서 도심방향에서는 유입차량으로 인하여 감소를 나타낸 반면에 부도심 방향에서는 유입차량에 관계없이 증가하는 것으로 나타났다(참조 Table 2.5, Fig 2.5, 2.6).

특히 전일시간대를 기준으로 오전 출근시간대와 오후 퇴근시간대의 속도를 비교해 볼 때, 오전 출근시간대의 경우 출근차량의 집중으로 인해서 도심방향에서 약 20km/hr 정도의 속도 감소를 보인 반면에, 부도심방향에서 오전 출근시간대와 오후 퇴근시간대의 경우는 속도 차의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다(참조 Table 2.6).

따라서 도시고속도로의 IC 합류부에서 속도관리방안은 방향별, 시간대별로 검토하여 도시고속도로 본선 및 유입 램프교통류율의 집중도를 적절히 조절하여 본선상의 통행속도를 최대로 유지시킬 수 있는 도시고속도로 교통관리체계를 수립해야 할 것

으로 생각되었다.

Table 2.5 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 2.6 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

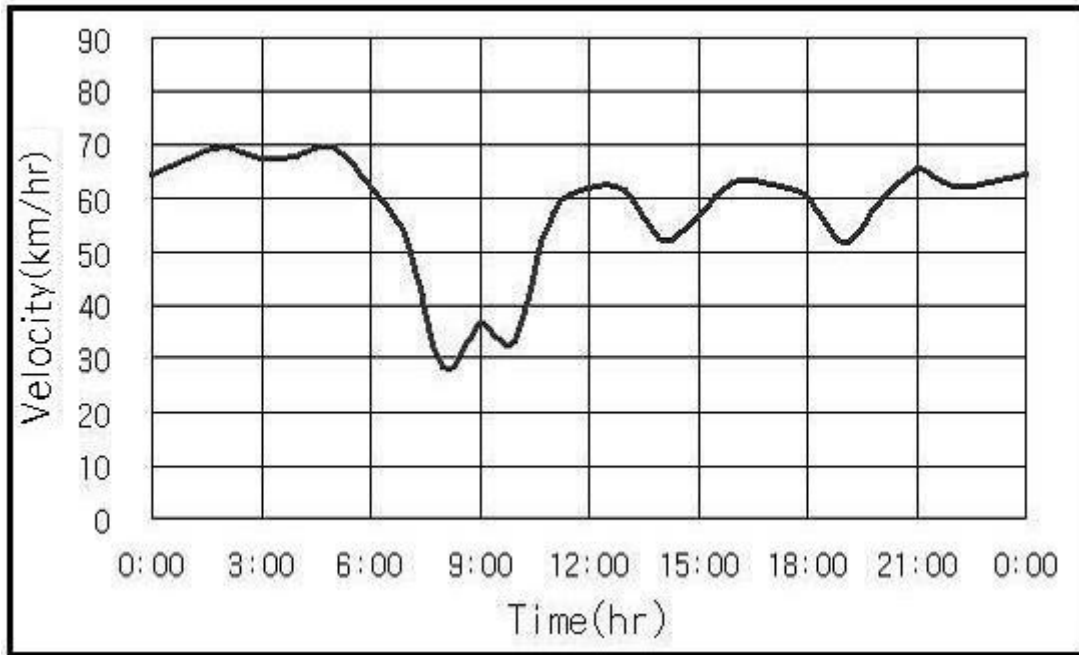


Fig 2.8 Average speed distribution (inbound)

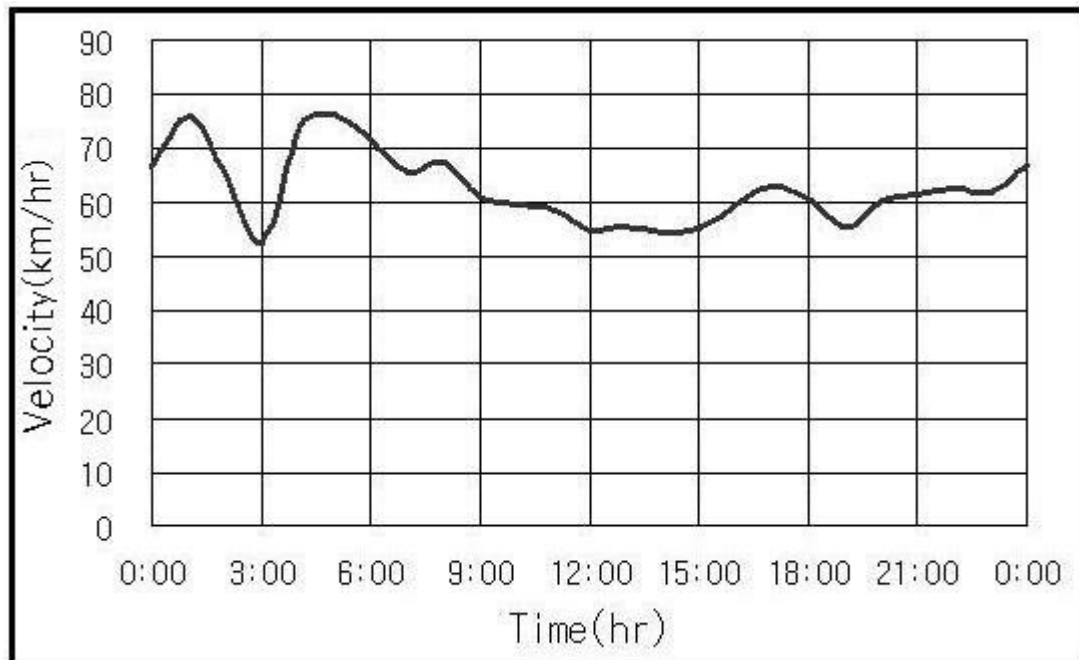


Fig 2.9 Average speed distribution (outbound)

2.4 교통류율과 속도

본 연구대상 도시고속도로의 IC 합류부(merge section)에서 교통류율과 속도관계는 일반적인 도시고속도로의 전형적인 포물선 형태를 나타내고 있었다. 특히, 교통류율이 약 1,000 vphpl(veh/hour/lane)에 도달할 때까지 뚜렷한 속도변화를 보이지 않다가, 교통류율이 거의 포화상태인 약 1,700 vphpl에 도달할 때까지 점차 속도가 감소하였으며, 그 후 유입 교통류율의 증가와 더불어 합류부의 속도가 약 20km/hr 정도에 도달하는 것으로 나타났다(참조 Fig 2.10).

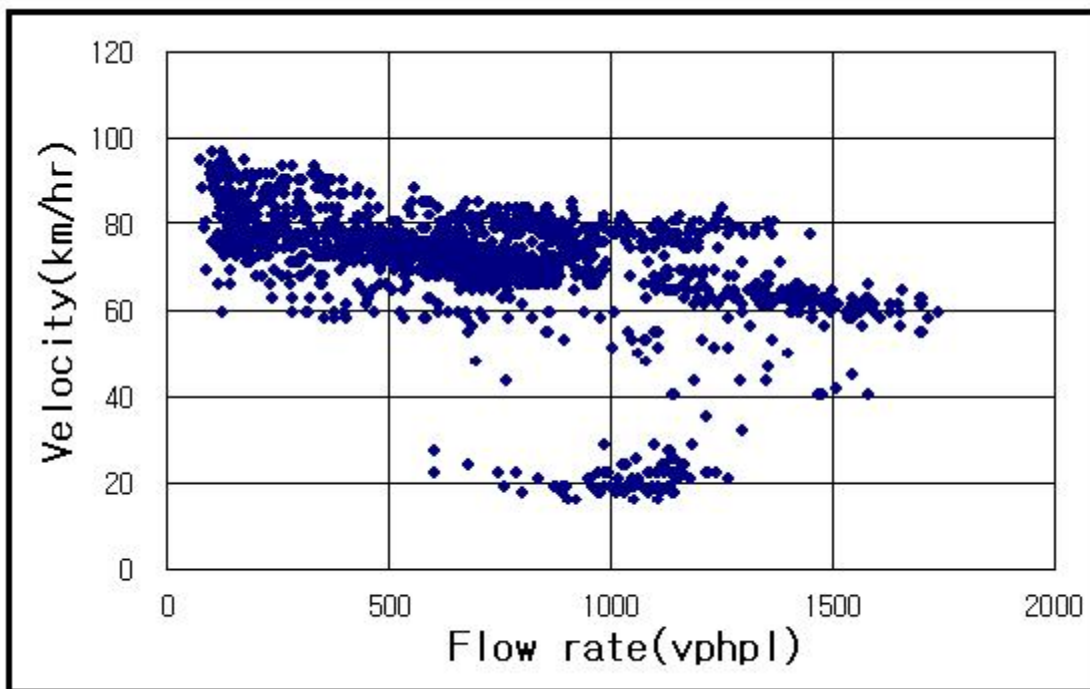


Fig 2.10 Relationship between flow rate and speed

위의 교통류율과 속도관계로부터 연구대상 도시고속도로의 IC 합류부에서는 유입차량의 엇갈림(weaving) 현상으로 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 교통특성분석결과로부터 방향별, 시간대별 교통관리체계가 계획될 수 있겠지만, 특히 도심방향의 오전 출근시간대(07:00~10:00)에는 교통관리체계가 적극 검토되어야 할 것으로 판단되었다.

3. 모형 구축

본 연구대상 도시고속도로의 IC 합류부에서 교통특성분석결과를 바탕으로 전 방향/전일시간대(both of directions), 도심방향(inbound), 부도심방향(outbound), 주간시간대(daytime), 야간시간대(nighttime)로 분류하여 방향별, 시간대별 속도예측모형을 SPSS ver. 10.0을 사용하여 구축하였다.

3.1 구축 방법

본 연구대상 도시고속도로의 IC 합류부에서 교통특성분석을 바탕으로 모형구축을 위해 사용된 변수들은 다음과 같다.

S_{Mi} : 합류부의 공간평균속도(km/hr)

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} : 유입램프 교통량(veh/15min)

D : Dummy 변수

본 연구에서는 도시고속도로의 IC 합류부에서의 속도예측을 위해서 다중회귀모형을 구축하였다. 모형에 유효한 독립변수들을 선택하여 주는 계산절차로써 단계별 회귀, 뒤로부터 제거하는 방법 등의 변수선택방법을 사용하였으며 결정계수(R^2)를 기

본으로 하여 현재 모형의 유의 정도를 나타내는 아카이케정보기준(Akaike Information Criterion, AIC)값 및 조정된 상관 자승과 반대의 성격을 띤 Mallows의 Cp 통계량 등의 벌칙함수들을 변수 선택하는 판정기준으로 고려하였다. 모형의 적합도를 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 합류부의 방향별, 시간대별 속도예측모형과 함께 실시한 분산분석(ANOVA)의 $F-sig.$ 결과 유의수준이 분석한 모든 지역에서 거의 0.000으로 모형의 종속변수와 독립변수 사이에는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

또한, 모형의 결정계수인 R^2 의 값이 도심방향, 부도심방향에서 0.9이상으로 나타남으로써 선택된 독립변수들이 모형 구축에 많은 기여를 하였다고 생각되었으며, 모형 구축에 기여도가 높은 변수는 상향 속도 (S_U)와 합류부 평균속도 (S_M)로 나타났다. 특히, 구축된 모형 내에서 개별 독립변수들 간의 유의성(significance)을 나타내는 $t-sig.$ 은 단계적 회귀기법에 의해 변수들 간의 유의한 차이를 보여주었다. 그리고 방향별, 시간대별 모형의 구축 결과 상향 속도 (S_U)는 양의 상관관계(positive correlation)로 합류부 평균속도는 음의 상관관계(negative correlation)로 모형 구축에 기여하고 있었으며, 그 외의 변수들은 속도변화의 정도에 따라 다양한 형태를 취하고 있었다.

Table 3.1 Speed predictive models depending on both of directions constructed

	Models					
Both of directions	$68.728 - 0.0396 V_{U_i} - 0.008492 V_{D_i} + 0.199 O_{U_i} - 0.608 O_{D_i} + 18.956 D$ (0.000) ²⁾ (0.000) (0.000) (0.000) (0.000) (0.000)					
	R^2	0.907	$F - sig.$	0.000	$DW value$ ¹⁾	2.028

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

Table 3.2 Speed predictive models depending on the directions constructed

	Models					
inbound	$71.015 - 0.0414 V_{U_i} - 0.199 O_{U_i} - 0.581 O_{D_i}$ (0.000) ²⁾ (0.000) (0.000) (0.000)					
	R^2	0.834	$F - sig.$	0.000	$DW value$	2.002
outbound	$86.474 - 0.0497 V_{U_i} + 0.0614 V_{R_i}$ (0.000) (0.000) (0.000)					
	R^2	0.600	$F - sig.$	0.000	$DW value$	2.090

Table 3.3 Speed predictive models depending on the periods constructed

	Models					
daytime	$66.343 - 0.0683 V_{U_i} - 0.172 O_{U_i} - 0.621 O_{D_i} + 0.02736 V_{D_i} + 23.283 D$ (0.000) (0.000) (0.000) (0.000) (0.001) (0.000)					
	R^2	0.933	$F - sig.$	0.000	$DW value$	1.996
nighttime	$69.641 - 0.042 V_{U_i} - 0.192 O_{U_i} - 0.495 O_{D_i} + 18.563 D$ (0.000) (0.000) (0.000) (0.000) (0.000)					
	R^2	0.845	$F - sig.$	0.000	$DW value$	2.058

4. 모형 검증

본 연구대상 도시고속도로의 IC 합류부에서 구축된 지체예측모형의 추정값과 관측값을 바탕으로 방향별로는 도심방향(inbound)과 부도심방향(outbound), 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 속도예측모형을 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 속도예측모형으로부터 예측된 예측치 간의 상관관계분석(correlation analysis)을 통해서 모형을 검증하였다.

4.2 모형검증

본 연구대상 도시고속도로의 IC 합류부에서 구축된 속도예측모형을 검증하기 위해서 실측치와 예측치 간의 상관관계분석(correlation analysis)을 실시한 결과, 부도심방향을 제외하고 0.9이상으로 높은 상관성을 보였으며, 유의수준은 방향별, 시간대별로 다양하게 분포되고 있는 것으로 분석되었다. 그리고 도심방향의 검증결과가 부도심방향의 검증결과보다 다소 높게 나타났고, 주간시간대의 검증결과가 야간시간대와 비교

하여 설명력이 높은 것으로 분석되었다(참조 Table 4.1, Fig. 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 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>	0.928	0.842	0.968	0.918	0.948

Note: *R* = correlation coefficient

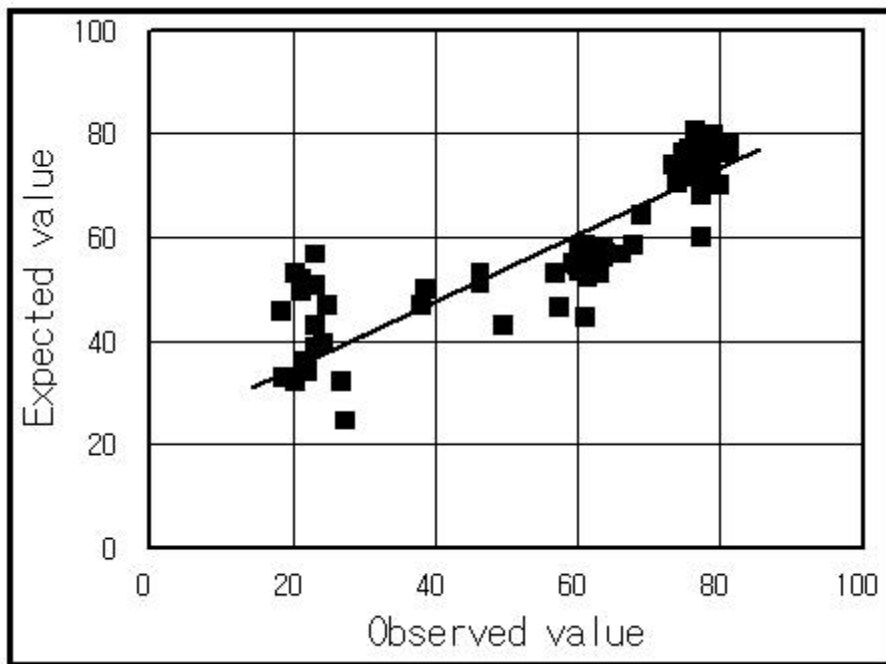


Fig 4.1 Both of directions tested

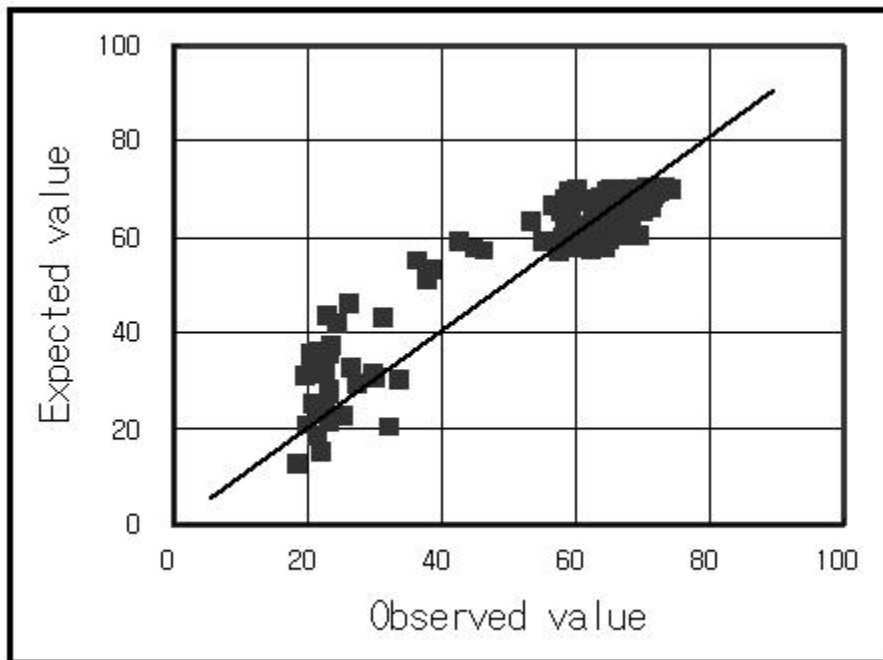


Fig 4.2 Inbound tested

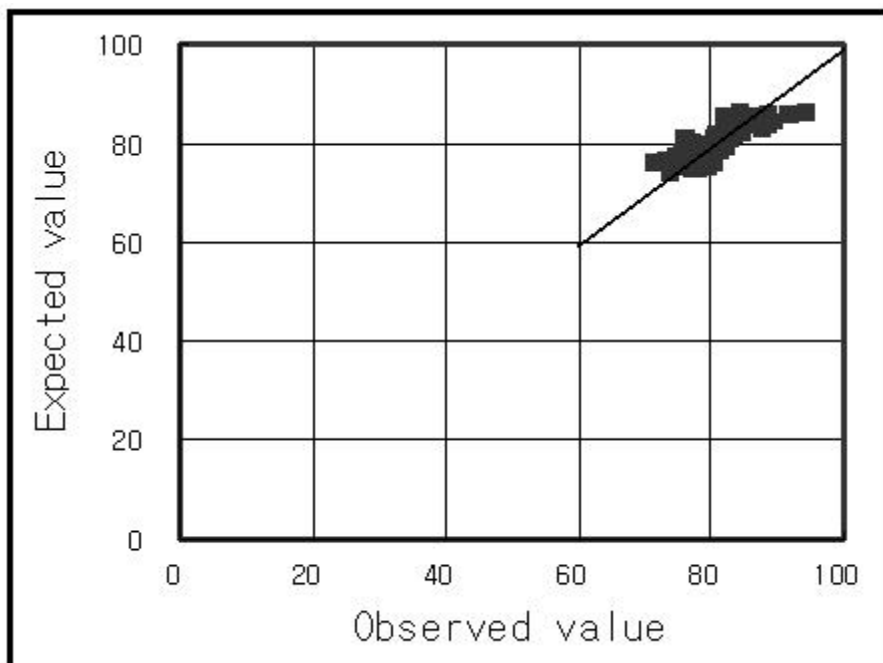


Fig 4.3 Outbound tested

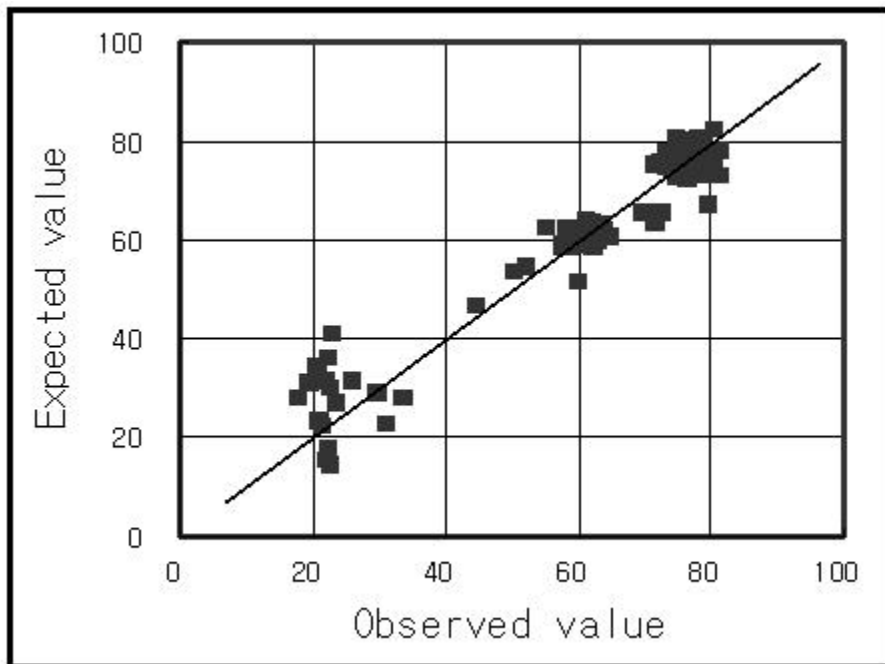


Fig 4.4 Daytime tested

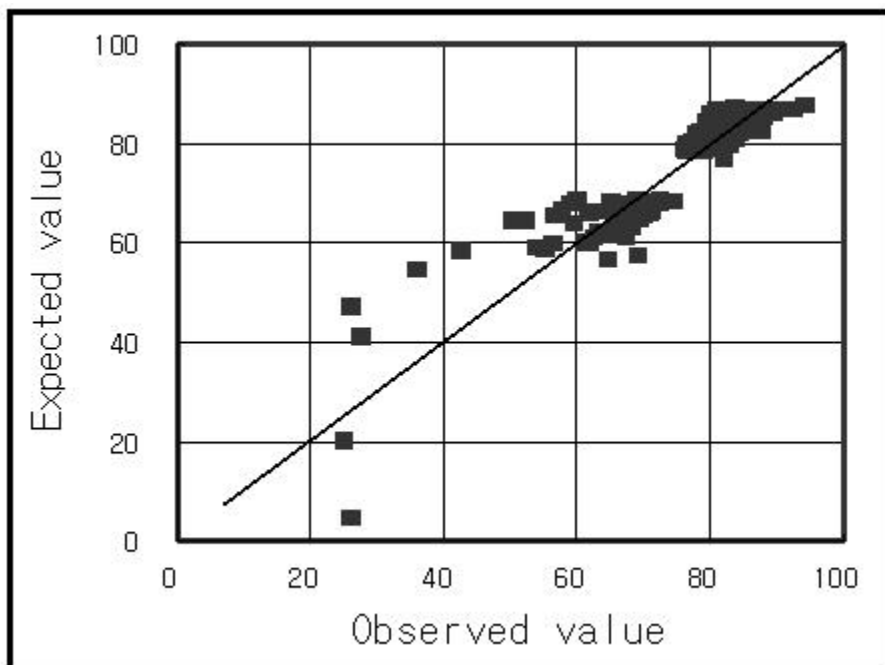


Fig 4.5 Nighttime tested

5. 결론 및 향후연구과제

국내의 경우 연속류에 대한 대다수의 연구들이 고속도로 램프 접속부의 합류부 용량산정을 하는 정도에 그치고 있으며, 도시고속도로 램프 접속부에서 발생하는 지체나 통행속도, 밀도 등에 대한 연구가 거의 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 도시고속도로의 IC 합류부에서 교통특성분석과 속도예측모형의 구축 및 검증을 통해서 다음과 같은 결론에 도달하게 되었다.

- i) 교통류율의 분포는 시간대별로 많은 차이를 보이고 있었으며 뚜렷한 침두현상 없이 다만 주간시간대에 걸쳐 다소 높게 발생하고 있었으며, 특히 도심방향의 교통류율이 부도심방향에 비하여 상대적으로 높게 나타났고, 주간시간대가 야간시간대에 비해 교통류율의 집중이 높게 나타났다.
- ii) 속도예측모형에 있어서 R^2 값이 부도심방향을 제외하고는 0.9이상으로 나타남으로써 선택된 변수들이 모형구축에 높은 설명력을 나타내고 있었으나, 부도심방향은 주변 교통시설의 여건들로 인해 구축된 속도예측모형의 설명력이 다소 낮게 나타났다.
- iii) 합류부의 영향권에서 속도예측모형에 대한 분산분석(ANOVA)을 실시한 결과, 유의확률이 거의 0.000정도로 회귀식이 의미가 있는 것으로 나타났고, 상향 속도 (S_u)를 포함하여 모형구축에 사용된 변수들의 높은 설명력을 확인할 수 있었다

본 연구에서는 도시고속도로의 IC 합류부에서 구축된 속도예측모형을 바탕으로 하여 다음과 같은 도시고속도로 관리체계방안을 제안하고자 한다.

- i) 도시고속도로의 IC 합류부의 교통관리체계를 향상시키기 위해서는 교통류율의 특성을 방향별, 시간대별로 분류하여 속도변화에 대한 실시간의 정보를 가변정

보표지판(variable message sign, VMS)에 제공하는 방안이 검토되어야 할 것이다.

- ii) 도시고속도로의 본선 교통류율과 램프교통류율의 집중으로 속도가 크게 감소하는 합류부에서는 오전 출근시간대를 중심으로 램프교통류율을 적절히 조절하는 램프미터링 시스템을 도입하는 방안을 강구하여야 할 것이다.
- iii) 본 연구는 도시고속도로의 IC 합류부만을 대상으로 연구가 수행되었기 때문에 향후 다양한 기하구조특성과 계절, 기후, 주중, 주말의 영향에 대한 변화를 고려한 합류부에 대해서도 지속적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단되었다.
- iv) 향후 보다 효과적인 도시고속도로의 교통관리체계를 수립하기 위해서는 다양한 형태의 도시고속도로 합류부에서 속도예측모형의 구축과 함께 실시간의 가변정보표지판 설치와 램프미터링 시스템에 대한 연구가 계속 수행될 필요가 있다.

참 고 문 헌

- 1) Transportation Research Board, "Highway Capacity Manual", Special Report 209, Washington. D. C., 1998, pp. 5-1~5-14.
- 2) May, A. D., "Traffic Fundamentals", 1990, pp. 232-246.
- 3) Davis, G. A., Nihan, N. L., Hamed, M. M., and Jacobson, L. N., "Adaptive Forecasting of Freeway of Traffic Congestion", TRB NO .1287, 1990, pp. 96-107, 151-166.
- 4) 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.
- 5) 신치현, "고속도로 램프 접속부에서의 속도예측모형", 대한교통학회지 제13권, 제3호, 1995, pp. 99-120.
- 6) 김상구, "고속도로 합류부의 합류교통량 평가에 관한 연구", 대한교통학회지 제15권, 제3호, 1997, pp. 105-127.
- 7) 김승길과 김태곤, "70mph 제한속도를 갖는 고속도로 램프 접속부에서의 속도 예측모형에 대한 연구", 한국항만학회지 제 14권 제 1호, 2000, pp. 65-75.
- 8) 정충영과 최이규, "SPSSWIN을 이용한 통계분석", 무역 경영사, 1997, pp. 202-228.
- 9) 최병선, "회귀분석(상,하)", 세경사, 1997.
- 10) McShane, W. R., Roess, R. P., and Prassas, E. S., "Traffic Engineering", 1998.
- 11) Gordon, R. L., Ross, R. A., and Froch, R. L., "Traffic Control Systems Handbook", 1996.
- 12) Carvell, J. D., Balke, J. K., and Ullman, J., "Freeway Management

- Handbook", 1997.
- 13) Messer, C. J., "Traffic Flow Theory" Special Report 165, 1997.
 - 14) American Association of State Highway and Transportation Officials, "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets", 1994.
 - 15) 건설부, "도로의 구조 시설기준에 관한 규정", 1990.
 - 16) 이영준, "기초자료분석", 석정, 1993, pp. 327~366, 373-376.
 - 17) 안상우, "현대통계학", 학연사, 1993.
 - 18) 도철웅, "교통공학원론(상)", 청문각, 1999, pp. 54-108.
 - 19) 건설부, "도로용량편람(KHCM)", 1992, pp. 197-235.