

工學博士學位論文

도시고속도로의 합류부에 대한 LOS F의
서비스수준 확장 및 보고체계 제안

Suggestion on the Level of Service Expansion and Reporting System
under the LOS F on Merge Areas of Urban Freeway

指導教授 金 殆 坤

2005年 2月

한 국 해 양 대 학 교 대 학 원

토 목 환 경 공 학 과 金 廷 勳

本 論 文 을 金 廷 勳 의 工 學 博 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

위 원 장 金 度 三 인

위 원 李 重 雨 인

위 원 慶 甲 秀 인

위 원 金 泰 亨 인

위 원 金 殆 坤 인

2004년 12월 22일

한 국 해 양 대 학 교 대 학 원

Suggestion on the Level of Service Expansion and Reporting System under the LOS F on Merge Areas of Urban Freeway

Jung Hoon, Kim

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

Abstract

Urban freeway has played a key role in the transportation system in a big city. However, it has experienced a transportation problem due to the increased traffic exceeding the capacity since 1980's. Additionally the transportation systems management(TSM) and intelligent transportation systems(ITS) have been introduced for solving the transportation problem with the transportation facility construction and extension limited since 1990's. Despite all these efforts, urban freeway is experiencing the social and economic losses from a severe traffic congestion. Thus, urban freeway traffic management system(UFTMS) should be systematically devised for promoting the efficiency of urban freeway.

First of all, it is important to perceive and demarcate the characteristics on the operational conditions of urban freeway for constructing the UFTMS. There are the levels of service(LOS) to describe the operational conditions within traffic flow, based on the service measures such as freedom to maneuver, traffic interruptions, and comfort. However, LOS F has not kept up with the changes in the travel patterns for the past 20 years. It did not distinguish the increased

levels of congestion nor did it help to prioritize the facility improvement, mitigation or transportation solutions for the increased congestion magnitude. Thus, it is necessary to additionally add the levels of service(LOS) within the LOS system.

The purpose of this study is to expand the levels of system under LOS F and advance the reporting system by distinguishing between varying degrees of failure on uninterrupted transportation facilities, especially on merge areas of urban freeway. First, the traffic characteristics were identified on merge points of the 1st urban freeway in *Busan*, based on the principles of traffic flow theories and the existing literatures. Second, trafficability efficiency(Φ) during a traffic congestion was introduced as the measure of effectiveness(MOE) of the LOS system for quantifying a congestion with the concept of efficiency. Also, LOS F through *J* was separately conferred on the domain corresponding to each trafficability efficiency domain under the congestion condition. Third, the 15-min period-based multi-period reporting system was introduced to simultaneously report the worseness and duration of congestion. Finally, the congestion index(CI) and level(CL) were suggested to replace the lengthy alphanumeric by a simple integrated grade for the flexible periods.

From the LOS system expansion and the newly reporting system on the merge points of urban freeway, the following conclusions were drawn:

i) Congestion were not classified definitely into the density of influence areas, exclusive flow rates or average travel speed on the merge points of urban freeway.

ii) Trafficability efficiency(Φ), introduced with the concept of efficiency on roadway facilities under congestion, showed the better MOE's on ramp junctions of urban freeway because the boundaries of each level were divided clearly into quantification of congestion.

iii) Based on the relationship of flow rate and speed, it was suitable for expanding the LOS system under congestion to divide capacity and its critical speed into the five domains, respectively and to assign each domain of

trafficability efficiency to LOS F through *J*.

iv) The information of the duration as well as the worseness of congestion should be included as the level of service for congestion was reported, especially for grasping the real traffic flow characteristics every 15-min unit.

v) Integrated level of service(LOS) system, which was constructed with congestion index(CI) weighted for expanded level of service depending on the unit period and congestion level(CL) multiplied by the number of unit periods lasted, was expressed as the simple letter-typed level of service(LOS) for any congested period.

vi) Congestion level(CL) was applicable to a selection of relatively inefficient areas and a criterion of prioritization for facilities improvement or traffic management.

Keywords: LOS, urban freeway, merge area, capacity, critical speed, trafficability efficiency, congestion index, congestion level

목 차

ABSTRACT	i
List of SYMBOLS	vii
List of TABLES	x
List of FIGURES	xii
제 1 장 서 론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구내용 및 수행과정	2
1.2.1 연구의 내용	2
1.2.2 연구의 수행과정	3
제 2 장 관련문헌연구	6
2.1 교통류	6
2.1.1 Greenshields, B. D.의 연구	6
2.1.2 Hurdle, V.와 Datta, P.의 연구	11
2.1.3 Banks, J. H.의 연구	12
2.1.4 Hall, F. L., Hurdle, V. F.와 Banks J. H.의 연구	13
2.1.5 이의은의 연구	15
2.2 용량	19
2.2.1 미국 도로용량편람(USHCM)과 국내 도로용량편람(KHCM)	19
2.2.2 김상구의 연구	22

2.2.3 Carlsson, A.와 Cedersund, H. A.의 연구	22
2.3 서비스수준	24
2.3.1 서비스수준의 개요	24
2.3.2 미국의 도로용량편람(USHCM)	26
2.3.3 국내의 도로용량편람(KHCM)	30
2.3.4 Cameron, R. M.의 연구	34
2.3.5 Baumgaertner, W. E.의 연구	34
제 3 장 자료수집 및 분석방법	37
3.1 자료수집	37
3.1.1 조사지점	37
3.1.2 조사기간	37
3.1.3 관측기기	39
3.2 자료정리	41
3.2.1 1차 자료정리	41
3.2.2 2차 자료정리	42
3.3 자료의 유효화	45
3.4 자료분석방법	47
3.4.1 시간별 추이분석	47
3.4.2 산점도 및 시간궤적도 분석	47
제 4 장 교통특성분석	48
4.1 교통특성	48
4.1.1 교통류율	48
4.1.2 속도	55

4.1.3	점유율	64
4.2	상호관계	70
4.2.1	교통류율과 속도	70
4.2.2	교통류율과 점유율	76
4.2.3	속도와 점유율	81
4.2.4	교통류율, 속도, 점유율의 3차원 관계	86
4.3	용량 산정	89
제 5 장	서비스수준의 확장 및 보고체계	92
5.1	효과척도	92
5.2	서비스수준의 체계	101
5.2.1	서비스수준의 확장	101
5.2.2	보고체계의 확대	109
5.2.3	정체수준의 도입	110
5.2.4	적용사례 분석	111
제 6 장	결론	117
참고문헌	119

List of SYMBOLS

C_{ap}	Merge capacity
D	Density
D_j	Jam density
D_l	Segment length
d	Length of a detector
E_{T_1}	Passenger-car equivalent of medium size vehicle(T_1)
E_{T_2}	Passenger-car equivalent of large size vehicle(T_2)
F	Flow rate
F_1	Flow rate on lane 1
F_2	Flow rate on lane 2
F_c	Flow rate under capacity condition
F_{max}	Maximum flow rate observed
F_{minc}	Minimum flow rate under congestion
f_{HV_i}	Heavy-vehicle adjustment factor
f_t	Average flow rate in unit time period t
j	Speed interval
kph	Kilometers per hour
L_i	Length of vehicle i
mph	Miles per hour
N	Number of vehicles observed
O	Occupancy
O_c	Critical occupancy

O_j	Jam occupancy
$pcphpl$	Passenger-cars per hour per lane
$pcpkmpl$	Passenger-cars per kilometer per lane
$pcpmipl$	Passenger-cars per mile per lane
P_{T_1}	Component ratio of medium size vehicle(T_1)
P_{T_2}	Component ratio of large size vehicle(T_2)
S	Speed
S_c	Critical speed
S_f	Free flow speed
S_m	Space mean speed
S_R	Space mean speed within interval observed
S_t	Average spot speed in unit time period t
S_1	Speed on lane 1
S_2	Speed on lane 1
s_i	Spot speed of vehicle i
s_{1j}	Average spot speed of speed interval j per 15-min. on lane 1
s_{2j}	Average spot speed of speed interval j per 15-min. on lane 2
T	Critical space
T_1	Medium size vehicle
T_2	Large size vehicle
t	Unit time period (15-min.)
t_i	Time-duration of vehicle i taken by passing a segment
V	Volume
Vol	Volume on lane 1 (shoulder lane)

V_m	Maximum volume
V_1	Volume per 15-min. on lane 1
V_2	Volume per 15-min. on lane 2
vph	Vehicles per hour
$vpkm$	Vehicles per kilometer
$vp15min$	Vehicles per 15-minute
v/c	Volume-to-capacity ratio
V_r	On-ramp volume
v_{1j}	Volume of speed interval j per 15-min. on lane 1
v_{2j}	Volume of speed interval j per 15-min. on lane 2
Φ_r	Trafficability efficiency relative to capacity under congestion

List of TABLES

Table 2.1	Capacity of basic freeway segment in <i>USHCM</i> (2000)	20
Table 2.2	Capacity of basic freeway segment in <i>KHCM</i> (2001)	20
Table 2.3	Mainline capacity of on-ramp junction	21
Table 2.4	Flow condition for the levels of service	25
Table 2.5	Level of service for basic freeway segment in <i>USHCM</i> (1985)	28
Table 2.6	Level of service for basic freeway segment in <i>USHCM</i> (2000)	29
Table 2.7	Level of service for basic freeway segment in <i>KHCM</i> (1992)	32
Table 2.8	Level of service for basic freeway segment in <i>KHCM</i> (2001)	32
Table 2.9	Level of service for merge area in <i>KHCM</i> (2001)	33
Table 2.10	Freeway level of service suggested by <i>Cameron</i>	35
Table 2.11	Range of congestion index suggested by <i>Baumgaertner</i>	36
Table 3.1	Geometric structure under the study section	38
Table 3.2	Features of <i>NC-97</i>	40
Table 3.3	Range of speed intervals	41
Table 3.4	Vehicle type and passenger-car equivalent on level terrain	43
Table 4.1	Shift in flow rate between lanes per area	49
Table 4.2	Maximum flow rate observed per lane per area	50
Table 4.3	Speed per time period per lane per area	58
Table 4.4	Shift in speed between lanes per time period per area	59
Table 4.5	Occupancy per time period per lane per area	65
Table 4.6	Critical speed per area	71

Table 4.7	Maximum vs minimum flow rate under congestion per area	71
Table 4.8	Correlation coefficient between flow rate and occupancy	76
Table 4.9	Correlation coefficient between speed and occupancy	81
Table 4.10	Maximum flow rate, critical speed and capacity per area	90
Table 5.1	Range of Φ_r per level of service	101
Table 5.2	Relative weight of observed periods for expanded LOS	104
Table 5.3	Congestion index and congestion level by level of service	111
Table 5.4	Level of service per rush-hour per day(area <i>A</i>)	113
Table 5.5	Level of service per rush-hour per day(area <i>B</i>)	114
Table 5.6	Level of service per rush-hour per day(area <i>C</i>)	115
Table 5.7	Level of service per rush-hour per day(area <i>D</i>)	116

List of FIGURES

Fig. 1.1	Step-by-step study process	5
Fig. 2.1	Speed-density suggested by Greenshields	7
Fig. 2.2	Speed-flow suggested by Greenshields	8
Fig. 2.3	Speed-flow on freeway in USHCM(1965)	10
Fig. 2.4	Speed-flow on freeway in USHCM(1985)	10
Fig. 2.5	Speed-flow on six-lane freeway(near Toronto) in 1982	11
Fig. 2.6	Speed-flow on San Diego freeway(interstate freeway)	12
Fig. 2.7	General speed-flow suggested by Hall, Hurdle, and Banks	14
Fig. 2.8	General speed-flow-occupancy	16
Fig. 2.9	Estimation of speed-flow-density for models	17
Fig. 2.10	Mainline segment capacity on merge area in USHCM and KHCM	21
Fig. 2.11	Density by level of service for basic freeway segment in USHCM	27
Fig. 2.12	Density by level of service for basic freeway segment in KHCM	31
Fig. 3.1	Location of detectors	39
Fig. 4.1	Flow rate distribution per time period(area A)	51
Fig. 4.2	Flow rate distribution per time period(area B)	52
Fig. 4.3	Flow rate distribution per time period(area C)	53
Fig. 4.4	Flow rate distribution per time period(area D)	54
Fig. 4.5	Free flow speed per area	56
Fig. 4.6	Distribution of space mean speed per time period(area A)	60

Fig. 4.7	Distribution of space mean speed per time period(area <i>B</i>)	61
Fig. 4.8	Distribution of space mean speed per time period(area <i>C</i>)	62
Fig. 4.9	Distribution of space mean speed per time period(area <i>D</i>)	63
Fig. 4.10	Occupancy distribution per time period(area <i>A</i>)	66
Fig. 4.11	Occupancy distribution per time period(area <i>B</i>)	67
Fig. 4.12	Occupancy distribution per time period(area <i>C</i>)	68
Fig. 4.13	Occupancy distribution per time period(area <i>D</i>)	69
Fig. 4.14	Flow rate-speed per time period and scatter plot(area <i>A</i>)	72
Fig. 4.15	Flow rate-speed per time period and scatter plot(area <i>B</i>)	73
Fig. 4.16	Flow rate-speed per time period and scatter plot(area <i>C</i>)	74
Fig. 4.17	Flow rate-speed per time period and scatter plot(area <i>D</i>)	75
Fig. 4.18	Flow rate-occupancy per time period and scatter plot(area <i>A</i>)	77
Fig. 4.19	Flow rate-occupancy per time period and scatter plot(area <i>B</i>)	78
Fig. 4.20	Flow rate-occupancy per time period and scatter plot(area <i>C</i>)	79
Fig. 4.21	Flow rate-occupancy per time period and scatter plot(area <i>D</i>)	80
Fig. 4.22	Speed-occupancy per time period and scatter plot(area <i>A</i>)	82
Fig. 4.23	Speed-occupancy per time period and scatter plot(area <i>B</i>)	83
Fig. 4.24	Speed-occupancy per time period and scatter plot(area <i>C</i>)	84
Fig. 4.25	Speed-occupancy per time period and scatter plot(area <i>D</i>)	85
Fig. 4.26	3-dimensional speed-occupancy-flow rate and scatter-plot matrices (area <i>A</i>)	87
Fig. 4.27	3-dimensional speed-occupancy-flow rate and scatter-plot matrices (area <i>B</i>)	87

Fig. 4.28	3-dimensional speed-occupancy-flow rate and scatter-plot matrices (area <i>C</i>)	88
Fig. 4.29	3-dimensional speed-occupancy-flow rate and scatter-plot matrices (area <i>D</i>)	88
Fig. 4.30	Concept diagram for capacity calculation	90
Fig. 4.31	Critical speed and capacity per area	91
Fig. 5.1	Box-and-whisker plot	93
Fig. 5.2	Distribution and box-and-whisker plot	94
Fig. 5.3	Speed-flow rate per interval under congestion(area <i>A</i>)	95
Fig. 5.4	Speed-flow rate per interval under congestion(area <i>B</i>)	96
Fig. 5.5	Speed-flow rate per interval under congestion(area <i>C</i>)	97
Fig. 5.6	Speed-flow rate per interval under congestion(area <i>D</i>)	98
Fig. 5.7	Assumed diagram by traffic congestion worseness	100
Fig. 5.8	Level of service domain expanded for traffic congestion	102
Fig. 5.9	Level of service domain for data observed(area <i>C</i>)	103
Fig. 5.10	Weight diagram for expanded levels of service(area <i>A</i>)	105
Fig. 5.11	Weight diagram for expanded levels of service(area <i>B</i>)	106
Fig. 5.12	Weight diagram for expanded levels of service(area <i>C</i>)	107
Fig. 5.13	Weight diagram for expanded levels of service(area <i>D</i>)	108

제 1 장 서 론

1.1 연구배경 및 목적

우리나라의 교통문제는 1980년대 초반까지 그리 심각하지 않았으나, 그 이후 지속적인 차량의 증가 및 교통관리능력의 부족으로 인해 교통정체가 심화되고 있다. 우리나라의 자동차등록대수는 1997년에 1,000만대가 넘었고, 2003년에는 승용차 보유대수만도 1,000만대가 넘어섰다. 반면 교통시설의 공급은 제대로 이루어지지 않아 1990년대부터는 대도시는 물론 지역 간 교통에서도 심각한 교통정체현상이 만연하게 되었다. 특히 대도시 교통체계에 중추적인 역할을 수행하며, 개인교통수단의 이동성(mobility) 향상과 화물수송수단의 수송능력 증대에 상당한 기여를 하고 있는 도시고속도로(urban freeway)의 정체는 도로용량을 초과하는 교통수요의 증가로 인해 점점 심화되고 있다.

이와 같이 날로 급증하는 도시고속도로의 교통수요를 대처하기 위해서는 도로시설의 신설 및 확장이 요구되나 이에선 막대한 자원과 오랜 기간이 소요되기 때문에 물리적인 시설물 공급만으로는 한계가 있다. 또한 교통문제를 해결하기 위한 교통체계관리(Transportation Systems Management, TSM)방안이나 지능형 교통체계(Intelligent Transportation Systems, ITS)가 도입되어 교통시설의 효율과 서비스를 극대화시키려 노력이 계속되고 있다. 그러나 이러한 노력에도 불구하고 대도시의 도시고속도로에서 반복적으로 발생하는 교통정체로 인하여 사회적, 경제적 손실이 증가되고 있다. 따라서 기존 도시고속도로의 기능 향상을 위한 도시고속도로 교통관리시스템(Urban Freeway Traffic Management System, UFTMS)을 체계적으로 수립함으로써 그 효율을 극대화 시키는 방안이 적극 고려되어야 할 상황이다.

이를 위해서는 먼저 도시고속도로의 교통운행상태에 대한 질적인 특성 파악 및 구분이 중요하다. 그러므로 이러한 운행상태(operational conditions)를 설명하기 위하여 교통류 안에서 도로를 주행하는 운전자가 느끼는 운행상태를 객관적으로 표시하는 서비스수준(Level of Service, LOS)이 현재 사용되고 있다. 이것은 1950년 미국

의 도로용량편람(*Highway Capacity Manual, HCM*)에 처음으로 도입된 이래 우리나라를 비롯한 여러 국가에서 교통소통상태를 구분하는 표준으로 사용되고 있다. 기존의 서비스수준은 운행상태에 따라 LOS A에서 F까지 여섯 단계로 구분되어 있고, 여기에서 LOS F는 교통수요가 도로의 용량을 초과한 와해(breakdown)상태를 나타내고 있다. 그러나 정체상태를 나타내는 LOS F는 하루 중 발생비중이 과거 20년 전의 LOS F보다 상대적으로 커짐에 따라 그 중요성이 상대적으로 높아져 교통정체상태가 심화되고, 지속되는 시간이 점차 길어지는 오늘날의 교통특성에 대해 단지 첨두시간만을 중심으로 분석하며, 또한 정체상태를 LOS F의 단일 등급만으로 구분하는 기존의 서비스수준 체계는 교통관리 및 운영적 측면에서 볼 때 적절하지 않다.

따라서 본 연구의 목적은 도시고속도로의 합류부(merge areas)를 대상으로 정체의 정도(worseness)와 지속시간(duration)이 동시에 고려되는 효과척도를 이용하여 LOS F에 대한 서비스수준을 확장(expansion)하며, 교통관리 및 운영에 적절한 보고체계(reporting system)를 제시하고 이를 응용하는데 있다.

1.2 연구내용 및 수행과정

1.2.1 연구의 내용

본 연구의 내용은 크게 관련문헌연구, 자료수집 및 분석방법, 교통특성분석, 서비스수준의 체계제시, 그리고 결론 및 향후 연구과제로 구성되었으며, 각 단계에서 다루게 될 내용은 대략적으로 다음과 같다.

가. 관련문헌연구

고속도로에 대한 기존의 연속류 교통특성과 관련한 국내외의 연구를 살펴보았는데 크게 다음과 같은 항목으로 분류하여 관련 선행연구자료 등을 고찰하였다.

(1) 교통류

- (2) 용량
- (3) 서비스수준

나. 자료수집 및 분석방법

교통정체가 발생하는 도시고속도로의 합류부를 대상으로 현장에서 교통특성자료를 수집하고 본 연구의 수행에 적합한 자료로 정리하였다. 그리고 시간별 각 교통특성 변수들의 분포도와 산점의 시간궤적도(time tracking plot) 등을 통해 교통특성변수의 특성변화에 대한 분석방법론을 검토하였다.

다. 교통특성분석

교통특성분석에서는 합류부에서 합류직후 지점의 교통류율, 속도 그리고 점유율 등의 특성을 파악하고, 이들 상호간의 관계를 이해하는 작업을 수행하였다. 또한 합류부의 임계속도(critical speed)와 용량(capacity)을 산정하는 방법에 대해 연구하여 제시하였다.

라. 서비스수준의 체계제안

본 연구에서 파악된 합류부의 교통특성(traffic characteristics)을 바탕으로 교통정체상태를 계량적으로 구분할 수 있는 소통효율(trafficability efficiency) 및 정체수준(congestion level)을 통해 LOS F의 서비스수준 확장 및 보고체계를 제시하였다.

마. 결론

결론에서는 연구의 결과 및 의의를 정리하고, 향후 연구과제를 제시하였다.

1.2.2 연구의 수행과정

본 연구에서는 도시고속도로 합류부의 교통특성을 토대로 교통정체상태에 대한 서비스수준 체계를 제시하고자 한 바, 먼저 기존의 문헌을 고찰하고 수집된 자료를 이

용해서 교통특성을 분석하였다. 그리고 교통정체를 계량적으로 구분하여 LOS F의 기존 서비스수준을 확장하고 이에 대한 보고체계를 제시하는 순서로 진행되었다. 본 연구의 전체적인 수행과정을 그림으로 나타내면 Fig. 1.1과 같다.

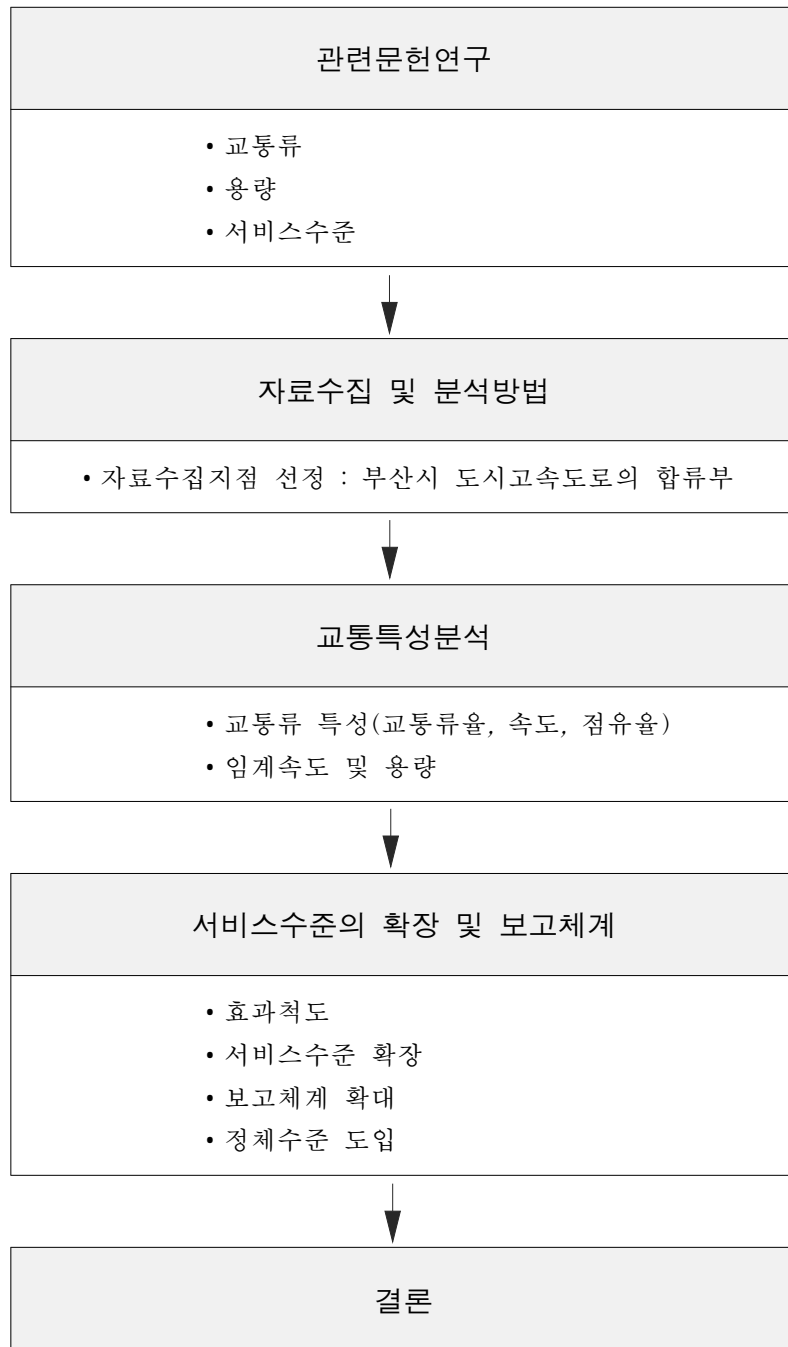


Fig. 1.1 Step-by-step study process

제 2 장 관련문헌연구

도시고속도로와 같이 교통흐름(traffic stream)에 외적 장애요소가 없는 연속류(uninterrupted flow)의 교통특성을 파악하는 방법으로는 크게 거시적 방법과 미시적 방법이 있다. 거시적 방법은 교통량, 속도, 점유율(또는 밀도)등 교통특성변수들 사이의 상호관계를 비교 분석하는 반면, 미시적 방법은 교통류 안에서 통행하는 개별 차량(individual vehicles)의 상호작용에 의한 행태를 분석하는 방법이라 할 수 있다.

본 연구에서는 거시적 관점에서 교통특성을 비교·분석하여 이를 바탕으로 LOS F의 정체상태에 대한 서비스수준 확장 및 보고체계를 제시하는데 목적이 있으므로 지금까지 국내·외에서의 교통류, 용량, 서비스수준과 관련된 기존 연구자들 또는 관련문헌의 연구내용들을 검토하였다.

2.1 교통류

2.1.1 Greenshields, B. D.의 연구

Greenshields(1934)는 용량을 연구하면서 속도-밀도 사이의 관계를 선형(linear)으로 가정하여 식(2.1)을 최초로 제시하였다(참조 Fig. 2.1). 그리고 이 선형의 속도-밀도관계를 토대로 속도-교통량에 대한 포물선 식(2.2)를 유도하였다. Fig. 2.2에서 보여주는 포물선형 모형은 단순성(單純性)의 이점과 함께 현장관측 자료와 상당히 부합하였다.

$$S = S_f \left(1 - \frac{D}{D_j}\right) \quad (2.1)$$

여기서,

- S : 속도(mph)
- S_f : 자유속도(mph)
- D : 밀도(vpkh)
- D_j : 최대밀도(vpkh)

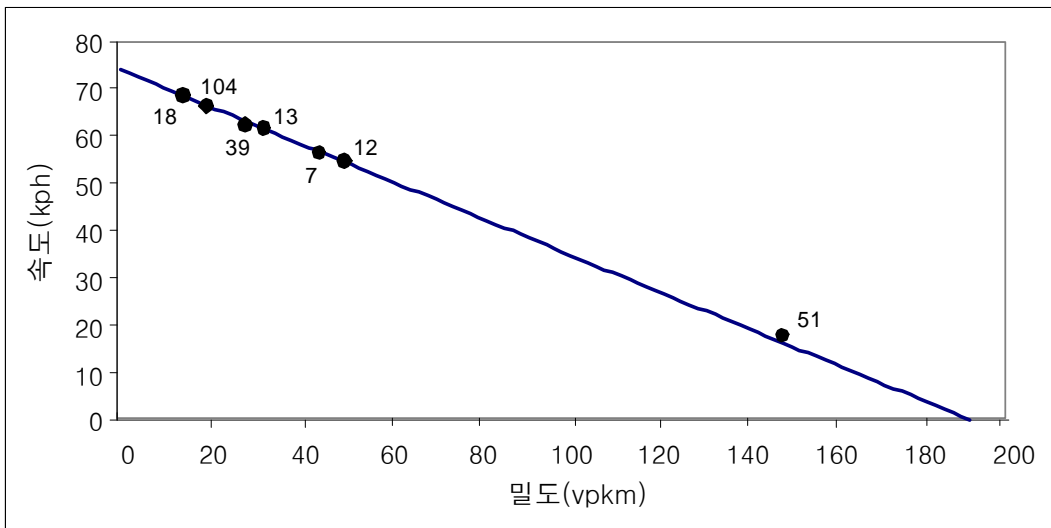


Fig. 2.1 Speed-density suggested by Greenshields

$$V = D_j \left(S - \frac{S^2}{S_f} \right) \quad (2.2)$$

여기서,

V : 교통량(vph)

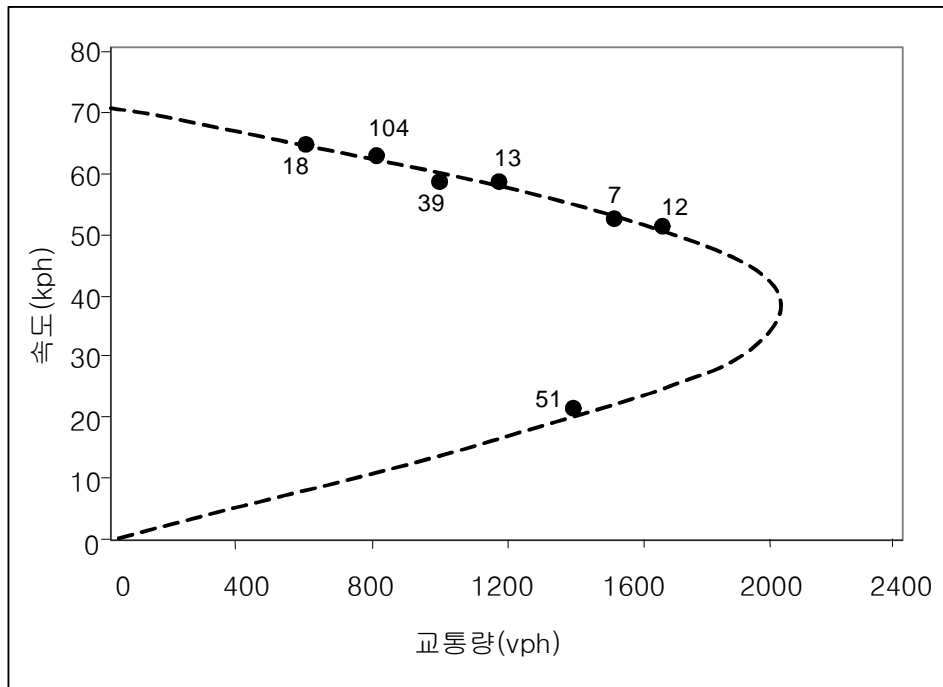


Fig. 2.2 Speed-flow suggested by Greenshields

Fig. 2.2는 유도된 곡선과 이에 중첩시킨 데이터 7개를 보여준다. 데이터 점(data points) 근처에 표시된 숫자들은 양방향 2차로인 국도(two-way two-lane rural highway)의 한 방향에서 1934년 노동절(Labor Day)에 관측된 100대 차량 그룹(100-vehicle groups)의 수를 의미한다. Greenshields는 도로에서 차량을 계수할 때, 매 10번째 차량을 새로운 그룹의 시작으로 설정하여 결국 두 개의 인접 그룹 사이에 90%를 중복시켰다. 그리고 이 데이터를 200vph의 교통량 범위로 묶고 산점(散

點) 시키기 이전에 수집된 이들 그룹들의 평균을 내었다. 또한 다른 날, 다른 도로에서 수집한 정체상태의 한 점(a congested point)을 표시하였다.

따라서 Greenshields의 연구는 몇 가지의 문제점을 보여준다. 첫째, 단일 차로의 교통류에 대한 그의 연구결과가 연속류에 직접적으로 채택되었으나, 실제 분석된 자료는 고속도로에서 수집되지 않았다는 것이다. 둘째, 데이터 수집 및 분석과정에서 데이터 그룹을 중첩(重疊)하고 평균하는 방법은 현재의 연구방법론에서는 허용되지 않는다. 마지막으로 속도와 교통량으로 밀도를 계산하여 속도-밀도 사이의 선형모형을 구한 후에, 이를 다시 속도-교통량 함수로 전환하는 방법은 속도-교통량 함수를 직접 추정하는 것과 상대적으로 큰 편이(偏異)를 보인다(Duncan(1976, 1979))는 것이다.

이와 같이 여러 가지 문제점이 있음에도 불구하고 Greenshields의 연구는 50년 이상 동안 교통류 이론을 지배하였다. 예를 들면 USHCM(1965)에서는 다른 현장에서 보여주는 자료결과가 Greenshields의 포물선형에 맞지 않았음에도 불구하고 Fig. 2.2에서 나타난 형태가 정확하게 표현되었다(참조 Fig. 2.3). 그리고 교통류 모형에 대한 이해의 폭이 어느 정도 넓어진 USHCM(1985)에서도 여전히 Fig. 2.4와 같은 포물선 형태가 유지되었다.

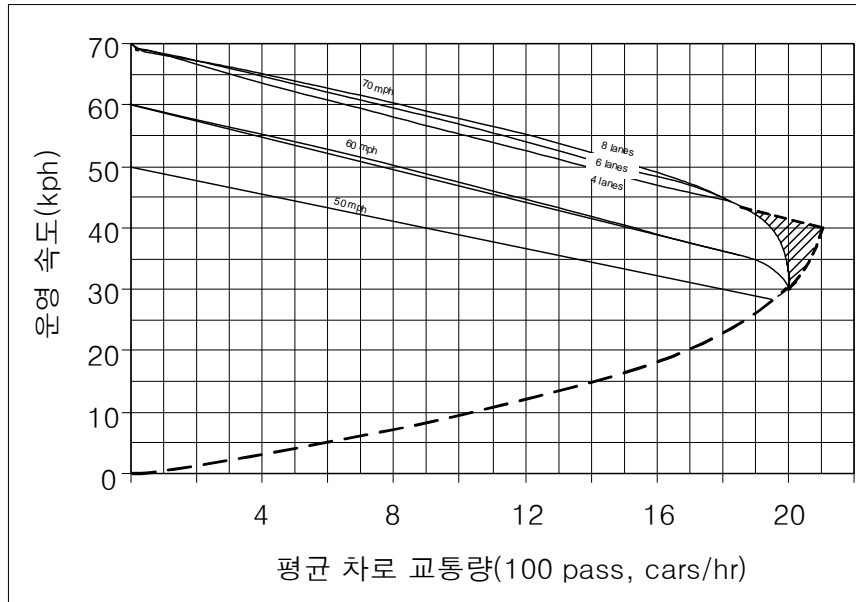


Fig. 2.3 Speed-flow on freeway in USHCM(1965)

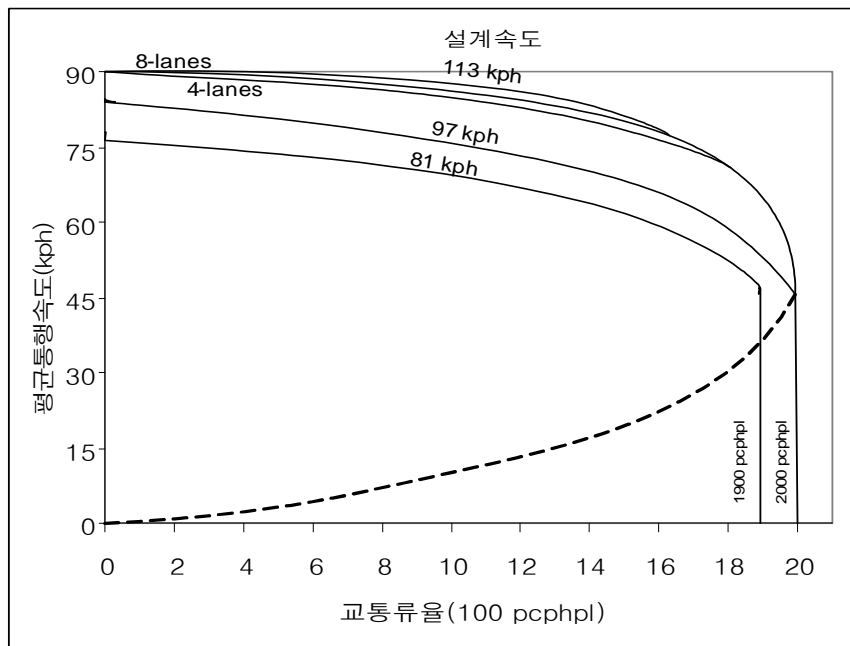


Fig. 2.4 Speed-flow on freeway in USHCM(1985)

2.1.2 Hurdle, V.와 Datta, P.의 연구

Hurdle과 Datta(1983)는 캐나다 토론토 근교에 있는 6차로의 고속도로를 대상으로 교통류 연구를 수행하였다. 특히, Hurdle과 Datta는 속도-교통량 관계로부터 교통량이 약 1,525vphpl에 도달할 때까지 속도는 거의 일정하였으나, 교통량이 1,525vphpl을 초과해서는 속도-교통량 곡선의 형태와 위치를 확정하는 것이 어렵다는 것을 알게 되었다. 말하자면, 속도-교통량 데이터(data points)가 넓게 산재되어서 Fig. 2.5의 곡선 A에서 곡선 E까지 각기 상이한 특성을 보인 여러 곡선이 예상될 수 있었다. 결론적으로 Hurdle과 Datta은 속도가 용량의 75%까지는 거의 일정하고 그 이후 용량상태에 도달할 때까지는 점차 감소하는 것으로 보았으며, 또한 임계속도를 약 80kph로 설정하여 기존 연구에서의 임계속도보다 상당히 높게 제시하였다.

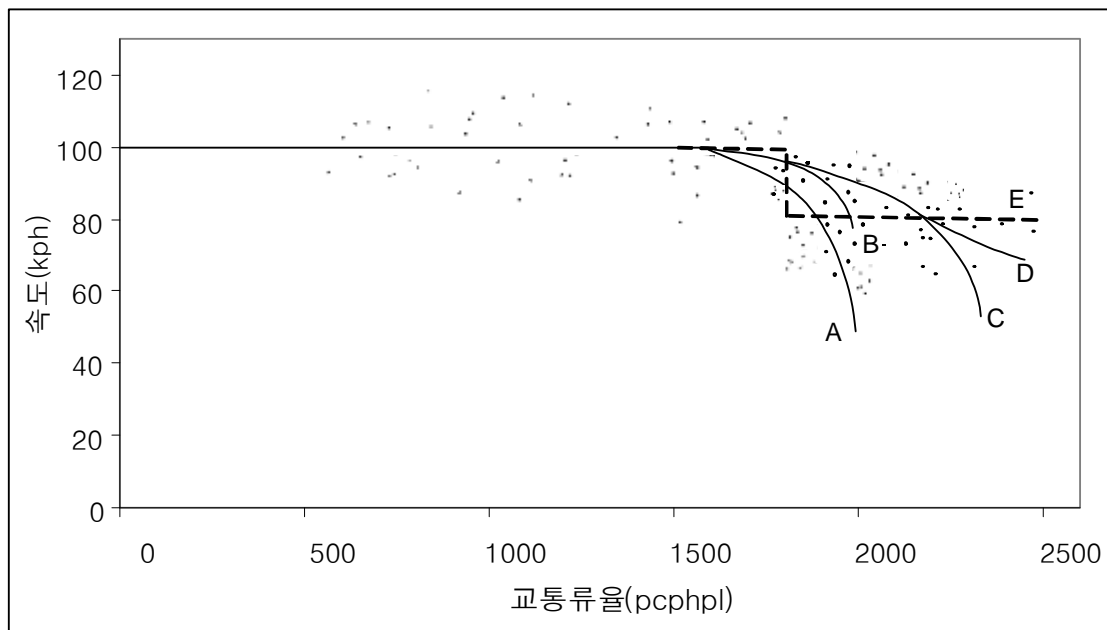


Fig. 2.5 Speed-flow on six-lane freeway(near Toronto) in 1982

2.1.3 Banks, J. H.의 연구

Banks(1989)는 미국 캘리포니아주 샌디에고(San Diego)지역 내 고속도로를 대상으로 교통류 연구를 수행하였다. 교통량과 점유율 자료는 매 30초 간격으로 수집되었으나 평균 6분 단위자료가 사용되었다. 또한 속도는 교통량과 점유율을 통하여 산출되었으며 차량의 평균길이는 25.75ft로 가정되었다. 특히, Banks의 속도-교통량 관계분석에서는 Fig. 2.6이 보여주듯이 용량을 초과하여 속도가 현저히 감소되는 이론적 곡선(theoretical curve)의 아래 부분에 상당한 자료를 내포하고 있었고, 속도-교통량 관계를 통해서 용량상태에 도달할 때까지는 높은 속도를 보였으며 임계속도의 약 절반속도에서 속도-교통량 데이터의 군집이 형성된다는 사실을 확인하였다.

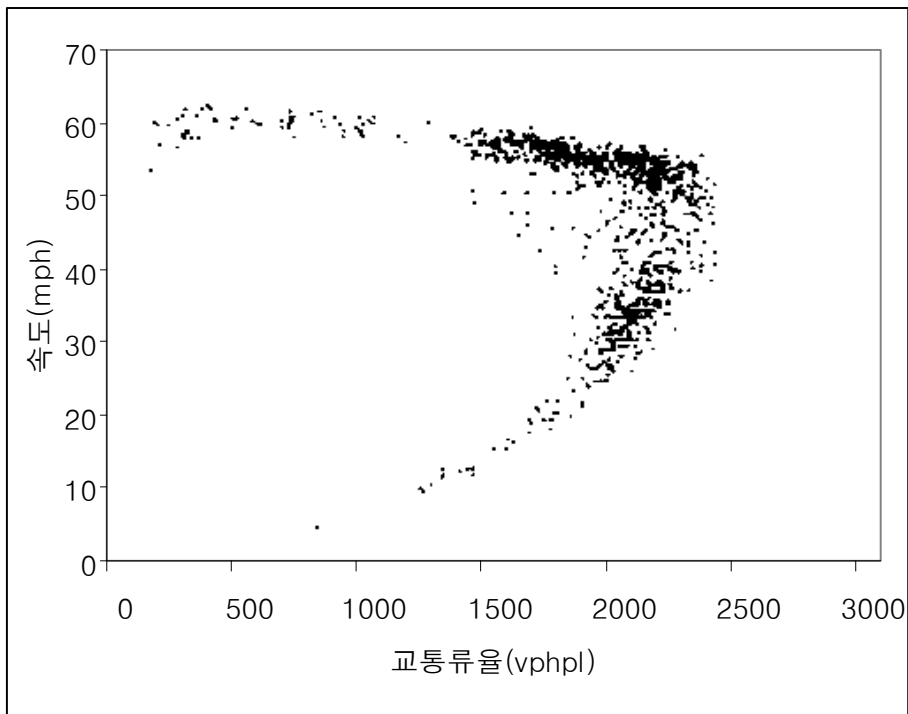


Fig. 2.6 Speed-flow on San Diego freeway(interstate freeway)

2.1.4 Hall, F. L., Hurdle, V. F.와 Banks, J. H.의 연구

Hall, Hurdle과 Banks(1992)는 이전에 수행되어 온 속도-교통량-집중도의 관계에 대한 여러 사고(思考)를 종합하여 교통류 관계를 재해석하였다. 먼저 이들은 구체적인 수치적 모형을 구축하기 전에 교통류 관계에 대한 바른 그림을 가지는 것이 중요하고 기존 대부분의 교통공학 교과서와 USHCM에서 보여주는 전통적인 그림이 심각한 결점을 가지고 있다고 주장하였다. 그러나 결론적으로 이전의 연구와의 차이점은 단지 교통류의 해석에서 오는 차이임을 밝혔다. Hall, Hurdle과 Banks는 비정체영역(uncongested regime), 대기행렬 풀림영역(queue discharge regime), 대기행렬내 영역(within the queue regime) 등 세 영역으로 구분한 일반화된 속도-교통량 관계를 제시하였다(참조 Fig. 2.7). 특히, 비정체영역(* 모양)에서는 속도가 감소할 때의 교통량, 교통량의 정확한 감소형태와 감소정도 그리고 용량의 값을 결정하는 문제점을 언급하면서 속도-교통량 곡선의 우측단(右側端)에서 대략적으로 동일한 기하구조의 고속도로에 대해 속도가 유사하다면 속도저하의 정도는 단순히 자유속도의 함수로서 표현되고, 대기행렬 풀림영역(□ 모양)에서는 이 영역의 교통류가 기존의 교통특성자료에서도 명확하게 보여주고 있으며, 마지막으로 대기행렬내 영역(▲ 모양)의 교통류 행태는 용량의 50% 이하로 떨어지지 않는다고 주장하였다.

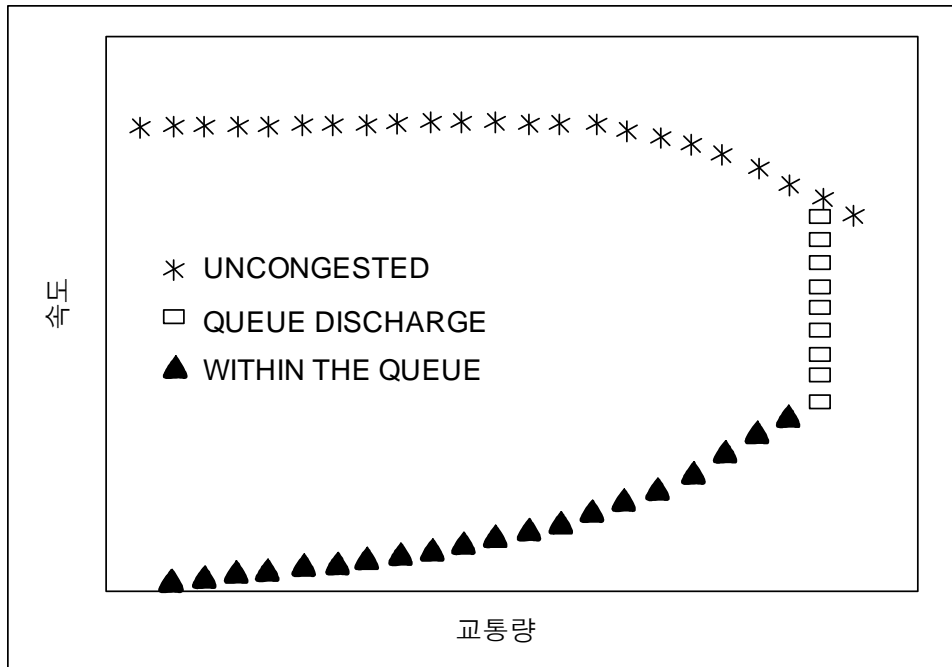
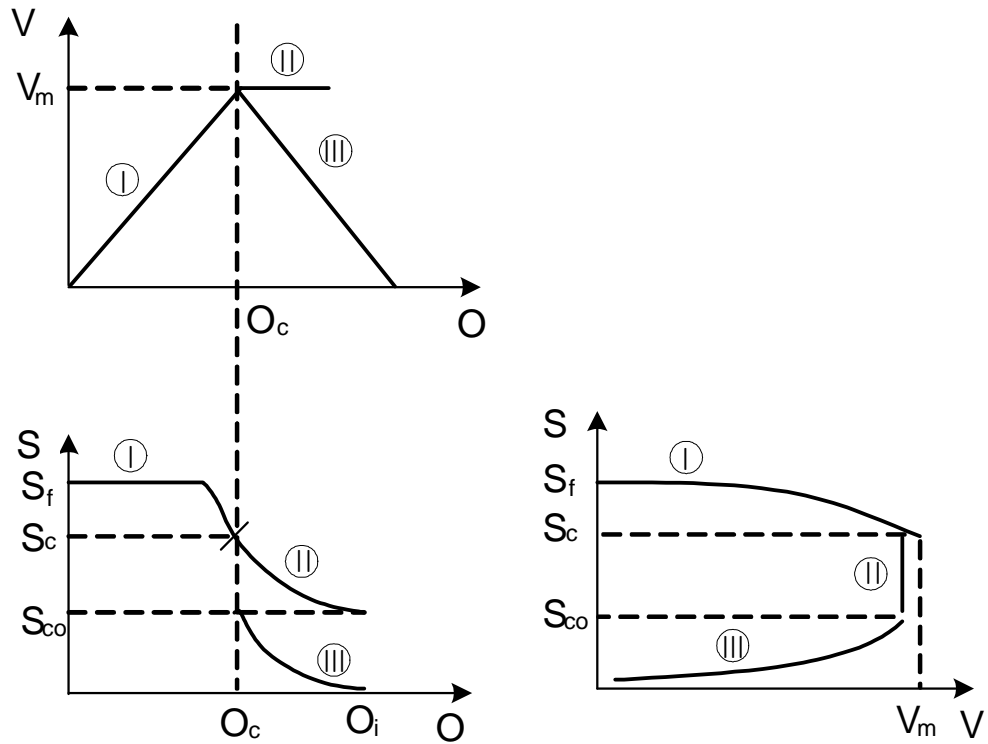


Fig. 2.7 General speed-flow suggested by Hall, Hurdle, and Banks

2.1.5 이의은의 연구

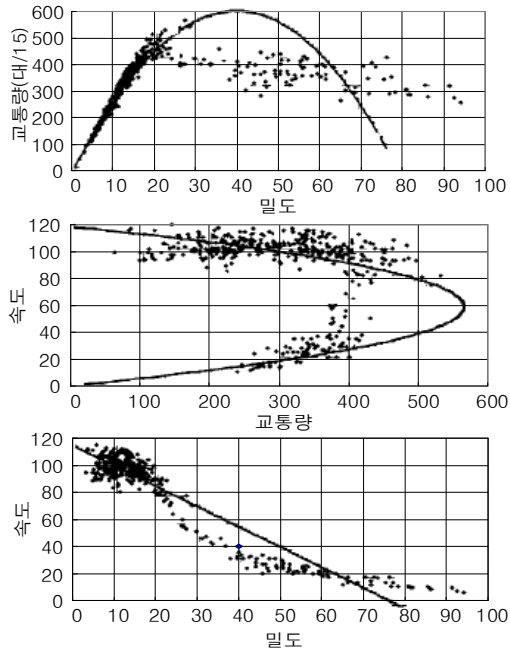
이의은(1999)은 지방부 고속도로를 대상으로 교통류 행태를 보다 잘 반영하고 정확히 추정해 볼 수 있다고 판단되는 3영역 모형(3-regime model)을 설정하여 다른 교통류 모형들과의 비교를 통해 적합성과 사용가능성을 검토하였다. 정량적 분석을 위해 교통류의 안정된 패턴을 보일 수 있는 15분 단위로 자료를 수집하였으며, 모형식 추정을 위한 자료는 추월선의 자료만을 선택적으로 사용하였다. 먼저 교통류 관계는 비정체영역, 대기행렬 풀림영역, 정체영역으로 구분되는 3영역 모형으로 판단하였고 이를 실제 수집한 고속도로 자료를 통해 확인하였다. 그리고 3영역 모형을 추정하기 위해서 변환점(turning-point)과 단절점(break-point) 분석을 수행하였다. 특히, 변환점은 비정체영역(I)과 대기행렬 풀림영역(II)을 구분하는 기준으로서 밀도 18.5vpkm를 기준하였으며, 단절점은 대기행렬 풀림영역(II)에서 정체영역(III)으로의 구분으로서 속도 40kph를 사용하였다(참조 Fig. 2.8).

속도-교통량의 분석결과 3영역의 모형이 비정체영역에서 결정계수(R^2)의 값이 떨어지는 문제를 지니고 있으나 각 매개변수 값의 현실성 및 속도-교통량 곡선, 밀도-교통량 곡선의 묘사성이 Fig. 2.9에서 제시된 다른 모형들에 비해 가장 뛰어나다고 판단하였다. 또한 3영역의 모형을 실제 적용할 경우 단절점 및 변환점의 결정이 필요한 제약이 있으나 정체 임계치 설정 등에 적용가능성이 높다고 주장하였다.

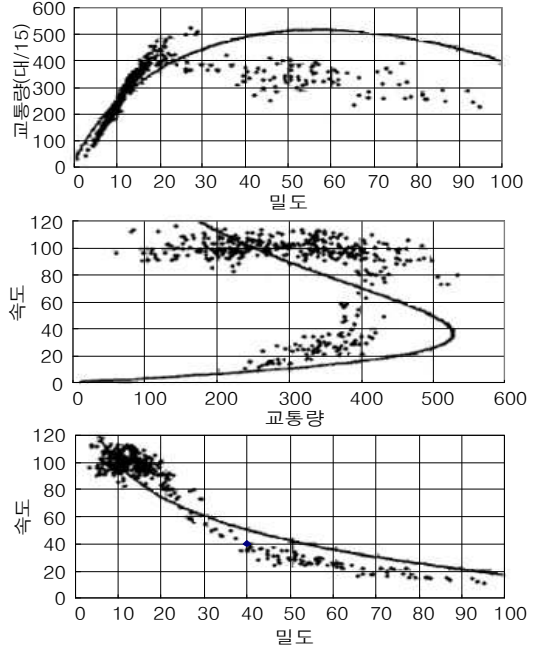


- S_f : 자유속도
- S_c ; 임계속도(교통량이 최대일 때 속도)
- V_m : 최대교통량
- O_c : 임계 점유율(교통량이 최대일 때 점유율)
- O_j : 포화점유율(100%)
- I : 자유류 영역(free flow regime)
- II : QDFR(Queue Discharge Flow Regime)
- III : 정체류 영역(congested flow regime)

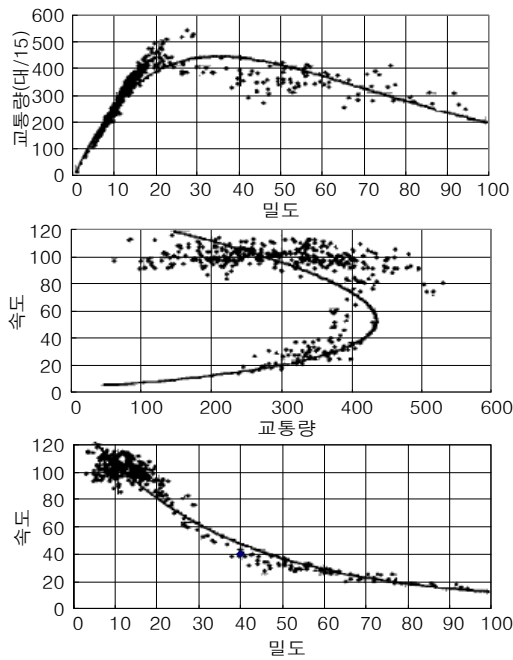
Fig. 2.8 General speed-flow-occupancy



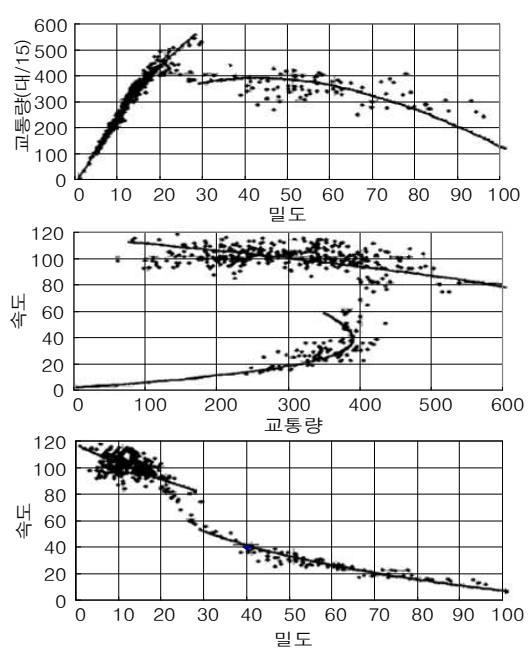
(a) Greenshields 모형



(b) Greenberg 모형

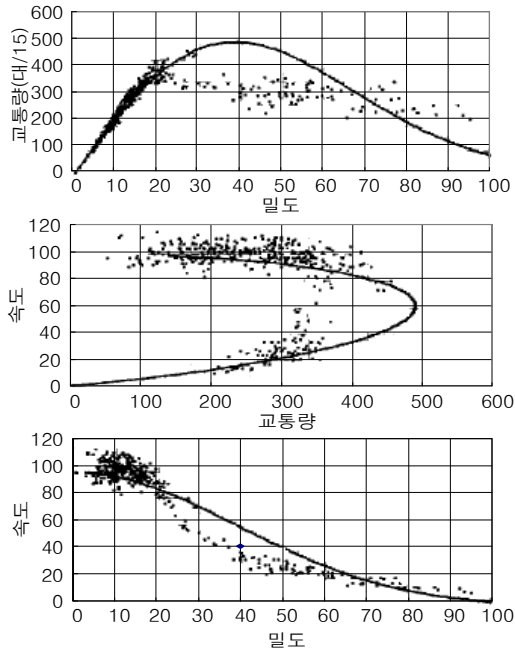


(c) Underwood 모형

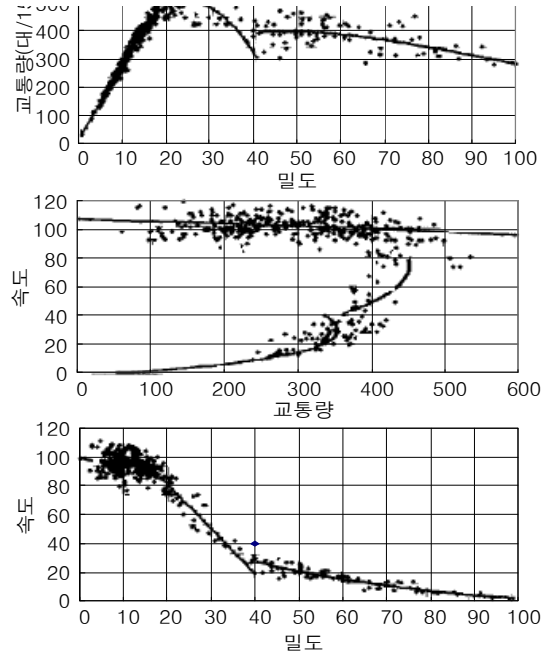


(d) Edie 모형

Fig. 2.9 Estimation of speed-flow-density for models(그림 계속)



(e) Bell curve 모형



(f) 3영역 모형

Fig. 2.9 Estimation of speed-flow-density for models

2.2 용량

미국의 도로용량편람(USHCM)은 기본적으로 용량을 일반적인 도로, 교통, 통제조건하에서 임의시간동안 어느 한 차로나 도로의 동일구간 또는 어느 한 지점을 통과할 것으로 합리적인 수준에서 기대할 수 있는 시간당 사람 또는 차량의 수(maximum hourly rate)로 정의하고 있다. 게다가 고속도로의 용량은 USHCM(1985) 이후 15분 동안 유지되는 한 방향 최대 교통류율로서 정의하고 있다. 그리고 국내의 도로용량편람(KHCM)에서는 도로 용량을 주어진 도로 조건에서 15분 동안 최대 통과할 수 있는 승용차 교통량을 1시간 단위로 환산한 값으로 정의하고 있다.

2.2.1 미국 도로용량편람(USHCM)과 국내 도로용량편람(KHCM)

USHCM(2000)과 KHCM(2001)은 고속도로 기본구간과 연결로 접속부에 대해서 자유속도(free flow speed) 또는 설계속도(design speed)에 따라 각각의 용량을 제시하고 있다.

고속도로 기본구간에 대해서 USHCM(2000)은 자유속도 120kph, 110kph, 100kph 및 90kph를 기준으로 4가지 속도-교통량 관계곡선과 함께 용량을 2,400pcphpl에서 2,250pcphpl까지 제시하고 있다(참조 Table 2.1). 그러나 KHCM(2001)에서는 이전 KHCM(1992)과 같은 설계속도 120kph, 100kph 및 80kph에 대한 용량을 제시하고 있다(참조 Table 2.2). USHCM(1985)에서는 설계속도에 따른 용량을 제시하였으나, 일부 보완된 1994년도 미국 도로용량편람부터는 실제 고속도로를 주행하는 차량들이 설계속도보다는 운전자들의 자연스러운 도로 주행에서 느끼는 자유속도감을 중심으로 용량을 제시하였다. 이는 동일한 설계속도라 하더라도 도로의 기하구조 변화나 주변여건에 따라 운전자들이 서로 다른 속도로 주행하면서 느끼는 자유속도감에 따라 다른 속도-교통량의 특성을 보인다는 현장관측결과를 반영한 것이다. 따라서 KHCM(2001)에서도 기존의 설계속도보다는 자유속도에 따라 고속도로 기본구간에 대한 용량을 제시하는 것이 필요하다고 판단되었다.

고속도로 합류부에 대해서 USHCM(2000)은 기본구간과 마찬가지로 자유속도를

기준으로 4가지 속도-교통량 관계곡선과 함께 동일한 용량을 제시하고 있다. 그리고 *KHCM*(2001)에서도 *USHCM*(2000)과 같이 자유속도를 기준으로 하여 용량을 다소 낮게 제시하고 있다(참조 Table 2.3). *KHCM*(2001)은 *USHCM*(2000)의 용량 설정근거를 그대로 적용하여 국내 여건을 반영한 것으로 이들 용량기준에 대한 이론적인 차이점은 없으나 두 도로용량편람의 용량이 같은 자유속도에서 100pcphpl에서 150pcphpl의 차이를 나타내고 있다. 그러나 미국과 달리 국내의 경우 연결로 접속부분선의 자유속도가 80kph 이하인 도시고속도로가 대부분이라는 점을 감안할 때 본선 자유속도 80kph에 대해서도 용량을 제시하는 것이 추가적으로 필요하다고 판단하였다.

Table 2.1 Capacity of basic freeway segment in *USHCM*(2000)

(단위 : pcphpl)

본선 자유속도(kph)	용량
120	2,400
110	2,350
100	2,300
90	2,250

Table 2.2 Capacity of basic freeway segment in *KHCM*(2001)

(단위 : pcphpl)

설계 속도(kph)	<i>KHCM</i> (2001)
120	2,300
100	2,200
80	2,000

Table 2.3 Mainline capacity of on-ramp junction

(단위 : pcphpl)

본선 자유속도(kph)	USHCM(2000)	KHCM(2001)	용량차이
120	2,400	2,300	100
110	2,350	2,250	100
100	2,300	2,200	100
90	2,250	2,100	150

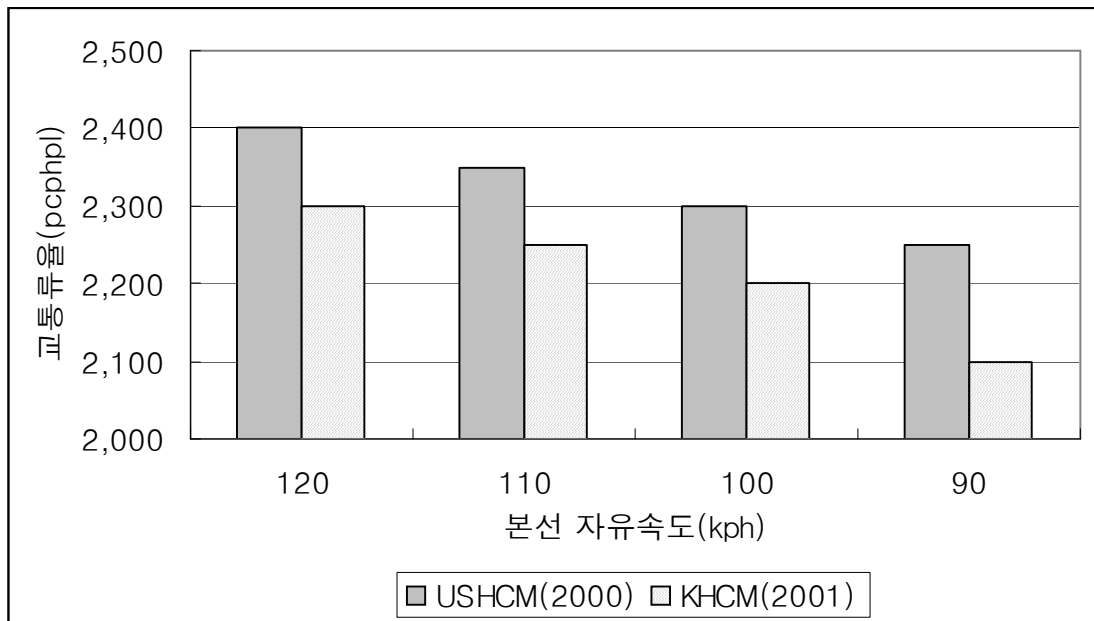


Fig. 2.10 Mainline segment capacity on merge area in USHCM and KHCM

2.2.2 김상구의 연구

김상구(1997)는 고속도로 합류부에서 본선 접속차로의 차량이 본선으로 합류하려는 연결로 유입차량으로 인해 차로변경과 가·감속행태를 보여 교통류의 난류현상 즉, 차량 간의 상호작용으로 연속류의 상충이 크게 발생된다고 보고하였다. 또한 이와 같은 난류현상으로 인하여 교통량의 증가와 함께 교통와해현상이 발생하며 결국 이러한 원인으로 인해 합류구간의 하류부 용량은 고속도로 기본구간에서 통과시킬 수 있는 최대 통과교통량 수준보다는 전체적으로 감소한다는 것을 확인하였다. 따라서 연결로 유입차량이 본선의 접속차로에 진입할 때 접속차로에서 연속하는 두 차량사이에 합류하기 위한 최소 필요시간인 임계간격과 본선 접속차로 교통량을 이용하여 합류용량을 결정할 수 있는 용량 모형을 다음 식(2.3)과 같이 제시하였다.

$$Cap = 0.644919 Vol - 192.038 T + 1,765.352 \quad (2.3)$$

여기서,

Cap : 합류용량(vph)

Vol : 접속차로 교통량(vph)

T : 임계간격(sec)

2.2.3 Carlsson, A.와 Cedersund, H. A.의 연구

Carlsson과 Cedersund(1998)는 본선이 4차로이며 합류 연결로가 1차로인 스웨덴 코펜하겐의 고속도로 합류부를 대상으로 교통특성을 분석한 결과 합류 연결로로 인해 약 100~200vph의 용량감소현상을 관찰하였다. 따라서 이를 바탕으로 합류부의 용량감소의 정도는 합류 연결로 교통량의 약 25%라고 주장하고 다음과 같은 합류용량 모형을 제시하였다.

$$Cap = 4,150 - V_r/4 \quad (2.2)$$

여기서,

V_r : 합류연결로 교통량(vphpl)

2.3 서비스수준

2.3.1 서비스수준의 개요

서비스수준(Level of Service, LOS)이란 도로의 소통상태를 정성적 및 정량적으로 측정하는 것으로서 운전자나 승객이 그 소통상태를 어떻게 느끼는 가를 나타낸다. 이러한 서비스수준은 통행속도, 통행시간, 운전의 자유도, 안락감, 교통안전 등으로 설명될 수 있다. 처음 서비스수준은 교통량 대 용량의 비(volume/capacity ratios, v/c)를 기준하여 A수준에서 F수준까지 6단계로 나뉘졌으나 USHCM(1985) 이후 이용자의 만족감으로 그 정의가 바뀌어 이용자가 느끼는 정도에 따라 다소 개념적이고 정성적으로 설명되고 있다. 서비스수준 A는 가장 안락한 소통상태를 말하고, 서비스수준 F는 가장 열악한 소통상태를 의미한다. 특히, 서비스수준 F는 차량대기행렬이나 와해상태에서의 소통상태를 설명하는데 사용된다. KHCM(2001)에서는 Table 2.4와 같이 서비스수준별 교통류 상태를 정의하고 있다.

서비스수준은 USHCM(1965)에서 처음으로 소개된 이후 현재 세계 각국에서 교통소통상태의 질을 나타내는데 사용되고 있다. 이와 같이 모든 도로시설에 대해 국가적으로 서비스수준의 개념을 적용하여 서비스수준을 분석하는 근본적인 목적은 차량통행과 관련된 도로의 기능을 수치화하여 소통상태를 효율적으로 조정하고 임의의 교통시설에 대한 차량수용능력을 파악하는 것이다. 그러나 최근에는 서비스수준의 목적으로서 교통정체의 정도를 수치화하고, 서비스수준으로 차량소통상태의 전체적인 상황을 설명할 수 있는 실질적인 방법을 제공하는 것이 중요한 과제로 제기되고 있다.

Table 2.4 Flow condition for the levels of service

서비스 수준	구분	교통류의 상태
A	자유 교통류	사용자 개개인들은 교통류 내의 다른 사용자의 출현에 실질적으로 영향을 받지 않는다. 교통류 내에서 원하는 속도 선택 및 방향 조작 자유도는 아주 높고, 운전자와 승객이 느끼는 안락감이 매우 우수하다.
B	안정된 교통류	교통류 내에서 다른 사용자가 나타나면 주위를 기울이게 된다. 원하는 속도 선택의 자유도는 비교적 높으나 통행 자유도는 서비스수준 A보다 어느 정도 떨어진다. 이는 교통류 내의 다른 사용자의 출현으로 각 개인의 행동이 다소 영향을 받기 때문이다.
C	안정된 교통류	교통류 내의 다른 차량과의 상호작용으로 인하여 통행에 상당한 영향을 받기 시작한다. 속도의 선택도 다른 차량의 출현에 영향을 받으며, 교통류 내의 운전자가 주위를 기울여야 한다. 이 수준에서 안락감은 상당히 떨어진다.
D	안정된 교통류 높은 밀도	속도 및 방향 조작 자유도 모두 상당히 제한되며, 운전자가 느끼는 안락감은 일반적으로 나쁜 수준으로 떨어진다. 이 수준에서는 교통량이 조금만 증가하여도 운행 상태에 문제가 발생한다.
E	용량상태 불안정 교통류	교통류 내의 방향 조작 자유도는 매우 제한되며, 방향을 바꾸기 위해서는 차량이 길을 양보하는 강제적인 방법을 필요로 한다. 교통량이 조금 증가하거나 작은 혼란이 발생하여도 와해 상태가 발생한다.
F	강제류 또는 와해상태	도착 교통량이 그 지점 또는 구간 용량을 넘어선 상태이다. 이러한 상태에서 차량은 자주 멈추며 도로의 기능은 거의 상실된 상태이다.

2.3.2 미국의 도로용량편람(USHCM)

미국의 도로용량편람(USHCM)은 1950년에 처음으로 발행되어 1965년, 1985년, 2000년 모두 세 차례 개정되었으며, 특히 1985년도와 2000년도 USHCM의 분석 방법론은 1992년도와 2001년도 KHCM에 각각 기본적으로 적용되었다.

1985년도와 2000년도 USHCM은 연속류 고속도로의 소통상태를 나타내는 척도로서 밀도, 교통량, v/c , 속도가 공통적으로 사용되었으며, 서비스수준의 결정지표 중에서 밀도를 주 효과척도로서 제시하였다. 반면 이들 도로용량편람의 가장 큰 차이점은 속도-교통량의 관계곡선에 대한 것이었다. USHCM(1985)에서는 연속류에 대한 서비스수준을 설계속도(design speed)를 기준으로 구분되었으나 USHCM(2000)에서는 설계속도 대신 자유속도로 바뀌었다. 이와 더불어 USHCM(2000)에서는 속도와 교통류율의 관계를 3영역 모형으로 해석하면서 자유속도가 일정 교통류율에 도달할 때까지 계속 유지되고, 이상적인 도로용량에서도 USHCM(1985)에 비해 약 300~400pcphpl 까지 높은 값을 보이는 것으로 되어있다(참조 Table 2.5~2.6). 따라서 주 효과척도로서 교통류율과 속도의 관계에서 산출되는 밀도(density)의 각 서비스수준별 값은 최대 13.6pcpkmpl의 차이를 보였다(참조 Fig. 2.11).

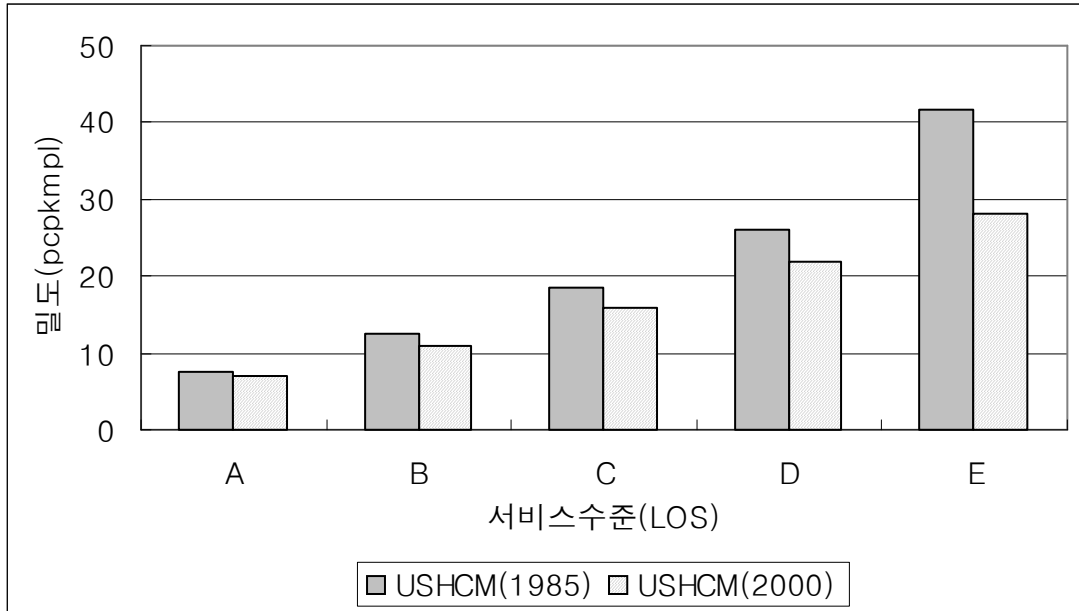


Fig. 2.11 Density by level of service for basic freeway segment in USHCM

Table 2.5 Level of service for basic freeway segment in USHCM(1985)

서비스 수준	밀도 (pcpkmpl)	밀도 (pcpmipl)	설계속도 70 mph		설계속도 60 mph		설계속도 50 mph	
			교통량 (pcphpl)	속도 (mph)	교통량 (pcphpl)	속도 (mph)	교통량 (pcphpl)	속도 (mph)
A	≤7.5	≤12	≤700	≥60	-	-	-	-
B	≤12.4	≤20	≤1,100	≥57	≤1,000	≥50	-	-
C	≤18.6	≤30	≤1,550	≥54	≤1,400	≥47	≤1,300	≥43
D	≤26.1	≤42	≤1,850	≥46	≤1,700	≥42	≤1,600	≥40
E	≤41.6	≤67	≤2,000	≥30	≤2,000	≥30	≤1,900	≥28
F	41.6	67	-	<30	-	<30	-	<28

2.3.3 국내의 도로용량편람(KHCM)

국내의 도로용량편람(KHCM)은 1992년과 2001년 두 차례에 걸쳐 개정되었으며, 1985년과 2000년 미국의 도로용량편람(USHCM)의 분석 방법론을 각각 기본적으로 따르나 이상적인 조건 및 각종 보정계수를 국내 교통특성의 현실에 적합하도록 조정하여 사용되고 있다.

KHCM에서는 USHCM과 마찬가지로 연속류 고속도로의 운행상태를 나타내는 척도로서 밀도, 교통량, v/c 를 공통적으로 사용하며, 밀도를 주 효과척도로서 제시하고 있다. 그러나 KHCM(2001)에서는 평균통행속도(average travel speed)가 고속도로에서 교통량의 변화에 따라 속도의 변화가 거의 없다는 이유로 효과척도에서 제외되었다. 또한 연속류 분석에 대한 KHCM(1992)과 KHCM(2001)의 큰 차이점은 속도와 교통류율의 모형을 3영역 모형으로 해석하면서 나타나게 되었다. 특히, 이것들을 비교하면 KHCM(2001)에서 설계속도에 따른 이상적인 도로의 용량이 약 100pcphpl 정도 높게 나타났으나, 주요 효과척도인 밀도의 각 서비스수준별 값은 최대 16 pcpkmpl 까지 차이나는 것으로 나타났다(참조 Fig. 2.12, Table 2.7~2.8). 따라서 서비스수준에 대한 효과척도의 정량적인 변화로 인해 정성적인 변화도 있어 그 서비스수준별 교통류의 상태를 재정의함이 당연한데도 불구하고 여전히 KHCM(1992)과 KHCM(2001)에서는 동일한 정의를 사용하고 있어 이에 대한 논리적인 설명이 필요하다고 판단하였다.

고속도로의 합류 연결로 접속부에 대한 서비스수준의 분석은 KHCM(1992)와 KHCM(2000)에 큰 차이가 있다. 먼저 KHCM(1992)에서는 효과척도로서 합류부의 합류직후 접속차로에 있는 확인점(check point)에서의 교통량을 사용하는 반면 KHCM(2001)에서는 합류부 영향권의 밀도를 사용하고 있다(참조 Table 2.9). 이러한 효과척도를 기준으로 KHCM(1992)에서는 확인점 교통량에 따른 서비스수준을 분석하였고, KHCM(2001)에서는 제시된 밀도 예측 식으로 산출된 값을 이용하여 분석하고 있다. 그러나 고속도로 기본구간에 비해 교통와해 등으로 서비스수준 F가 상당한 시간동안 지속되고 있는데도 불구하고 여전히 서비스수준 F의 단일 등급만을 제시

하는 서비스수준 체계를 제시하고 있다. 따라서 LOS F를 확장하여 합류부의 교통 정체상태를 구분할 수 있는 서비스수준 체계의 도입이 필요하다고 판단되었다.

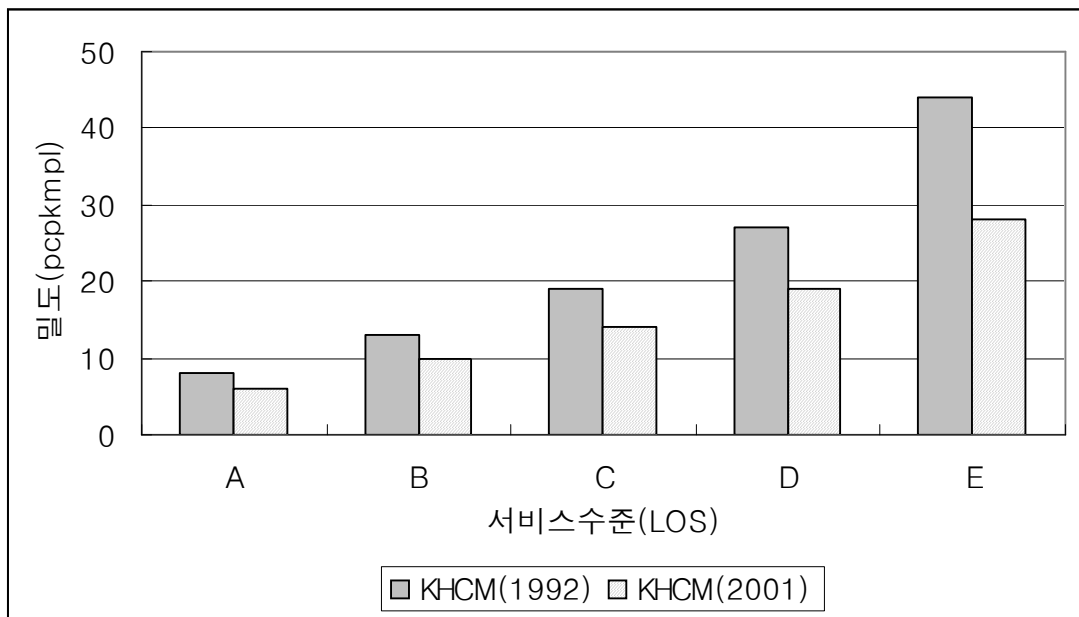


Fig. 2.12 Density by level of service for basic freeway segment in KHCM

Table 2.7 Level of service for basic freeway segment in KHCM(1992)

서비스 수준	밀도 (pcpkmpl)	설계속도 120 kph			설계속도 100 kph		
		교통량 (pcphpl)	v/c 비	속도 (kph)	교통량 (pcphpl)	v/c 비	속도 (kph)
A	≤ 8	≤ 850	≤ 0.39	≥ 105.0	≤ 750	≤ 0.34	≥ 95.5
B	≤ 13	≤ 1,300	≤ 0.59	≥ 100.0	≤ 1,150	≤ 0.52	≥ 90.0
C	≤ 19	≤ 1,700	≤ 0.77	≥ 90.0	≤ 1,550	≤ 0.70	≥ 82.0
D	≤ 27	≤ 2,050	≤ 0.93	≥ 76.0	≤ 1,900	≤ 0.86	≥ 70.0
E	≤ 44	≤ 2,200	≤ 1.00	≥ 50.0	≤ 2,200	≤ 1.00	≥ 50.0
F	44	-	-	< 50.0	-	-	< 50.0

Table 2.8 Level of service for basic freeway segment in KHCM(2001)

서비스 수준	밀도 (pcpkmpl)	설계속도 120 kph		설계속도 100 kph		설계속도 80 kph	
		교통량 (pcphpl)	v/c 비	교통량 (pcphpl)	v/c 비	교통량 (pcphpl)	v/c 비
A	≤ 6	≤ 700	≤ 0.3	≤ 600	≤ 0.27	≤ 500	≤ 0.25
B	≤ 10	≤ 1,150	≤ 0.5	≤ 1,000	≤ 0.45	≤ 800	≤ 0.40
C	≤ 14	≤ 1,500	≤ 0.65	≤ 1,350	≤ 0.61	≤ 1,150	≤ 0.58
D	≤ 19	≤ 1,900	≤ 0.83	≤ 1,750	≤ 0.8	≤ 1,500	≤ 0.75
E	≤ 28	≤ 2,300	≤ 1.00	≤ 2,200	≤ 1.00	≤ 2,000	≤ 1.00
F	28	-	-				

2.3.4 Cameron, R. M.의 연구

Cameron(1996)은 심화된 교통정체상태를 구분하고 그 정체정도를 적절하게 반영시킬 수 있는 추가적인 서비스수준의 도입을 통해 서비스수준 척도(criteria)의 확장을 역설하였다. 예를 들면 임의의 교통시설에 대해 서비스수준이 F상태보다 더 심한 G상태에서 3시간, F상태에서 7시간 동안 지속된 정체상태를 예시할 수 있는 LOS 등급의 확장 척도로 일명 "LOS G3F7" 개념을 제안하였다. 이러한 주장의 구체적인 근거로는 다음과 같다. 첫째, 교차로나 간선도로 또는 고속도로의 LOS F는 현재나 장래의 교통상태에 대한 교통정체를 정량화하지 않는다. 둘째, LOS F이하로 심화된 교통정체는 특정 상황에서 인식될 뿐 정량화되지 않지만, 현장 관측을 통해 모형화하는 측면에서 서비스수준의 측정 기술능력은 급속히 발전하여 왔고, 과거 30년 전보다 적은 시간과 비용으로 추가적인 서비스수준 정량화를 가능케 한다. 셋째, LOS F는 안전 관리나 교통축개선 등 주요 교통체계개선(TSM)사업이 필요한 지점을 선별하는 데 중요한 역할을 다하지 못하고 있다. 따라서 Cameron은 고속도로의 기본 구간에 대한 LOS의 등급을 평균통행속도를 기준으로 Table 2.10과 같이 LOS A에서 LOS I까지 확장 제시하고 각 소통상태를 정의하였다.

그러나 본 연구에서는 연속류인 고속도로의 교통류에 대한 특성을 살펴보면 교통정체시 평균통행속도로 정체의 수준을 구분하는 것이 어렵기 때문에 교통정체정도 사이의 명확한 경계를 구분할 수 있는 기준으로서 LOS 등급을 확장하는 척도가 필요하다고 판단되었다.

2.3.5 Baumgaertner, W. E.의 연구

Baumgaertner(1996)는 기존 LOS체계의 단점들을 제시하면서 Cameron의 제안을

Table 2.10 Freeway level of service suggested by Cameron

구분	기준(mph)	제안(mph)	상태(status)
LOS A	60		자유류(free flow)
LOS B	50	50	안정류(stable flow)
LOS C	47	47	안정류(stable flow)
LOS D	42	42	근접 불안정류(approaching unstable flow)
LOS E	30	30	불안정류(unstable flow)
LOS F	<30	25	강제류(forced flow)
LOS G		15	초 강제류(super forced flow)
LOS H		10	극 강제류(ultra forced flow)
LOS I		0	극초 강제류(super-ultra forced flow)

기초로 다음과 같은 대안을 주장하였다. 첫째, LOS F는 교통시설에서의 급변하는 정체정도를 구분하는데 더 이상 충분하지 않으므로 LOS F이하의 LOS G부터 LOS I까지 정체정도에 따른 서비스수준의 추가가 필요하다. 둘째, 서비스수준은 매시간 단위로 보고 되어야 한다. 이는 교통정체가 전통적인 첨두시간을 지나 상당한 시간 동안 지속되며, 결국 그 도로시설의 정체시간은 더 길어지리라 예측되기 때문이다. 따라서 교통정체상태에서는 서비스수준이 오전 또는 오후 첨두시간만이 아니라 매시간 단위의 참조체계(multi-hour reference system)로 표시되어야 한다. 셋째, 교통상태에 대한 서비스수준의 보고체계가 문자와 숫자의 혼합형(alphanumerics)으로 복잡하게 표현되지만, 정체지수(congestion index)를 도입하여 단순하게 수치등급(numerical grades)으로 교통정체에 대한 가중된 영향(impacts)의 정도를 표현할 수 있어야 한다.

그러나 Baumgaertner는 고속도로에 대한 언급이 없고 다만 속도나 지체(delay)를 기준으로 서비스수준을 계량화하여 신호교차로와 간선도로에 대해서만 서비스수준의 확장을 제시하였고, 또한 정체지수를 도입하면서 그 가중치(weight)에 대한 값의 설정과 각 서비스수준에 대응하는 정체지수의 범위에 대한 객관적인 설명이 없이 정체지수(congestion index)가 LOS D부터 LOS I까지 정체지수에 대한 대략적인 임의의 범위가 제시되었다(참조 Table 2.11). 따라서 본 연구에서는 서비스수준의 수치 등급으로서 정체지수 값과 그 범위에 대한 합리적인 산정방법이 필요하고 이를 근거로 연속류인 고속도로의 정체상태를 구분하는 것이 필요하다고 판단되었다.

Table 2.11 Range of congestion index suggested by Baumgaertner

LOS	가중치 (weight)	지수범위	설명
A~C	0	0~4	비정체(not congested)
D	1	5~9	약간 정체(mildly congested)
E	2	10~15	다소 정체(moderately congested)
F	3	16~24	심한 정체(seriously congested)
G	4	25~40	중한 정체(severely congested)
H	5	41+	극심한 정체(extremely congested)
I	6		

제 3 장 자료수집 및 분석방법

3.1 자료수집

3.1.1 조사지점

본 연구에서는 연속류의 교통정체상태를 계량화하여 이를 통해 LOS F에 대한 서비스수준 체계를 확장하고 그 보고체계를 구축하고자 함으로, 도로용량을 초과하는 교통수요로 인해 와해상태가 반복적으로 발생하는 지점이 조사대상으로 선정되어야 한다. 따라서 이러한 조건을 만족하는 조사대상 지점으로서 부산의 제 1 도시고속도로(번영로)에 있는 합류부 4개의 지점이 선정되었다.

본 조사대상 합류지점은 본선(제한속도 80kph)과 합류 연결로(제한속도 50kph)가 각각 2차로와 1차로로 되어있고, 가속차로는 평행식(parallel type)의 형태를 취하고 있으며, 일반적인 기하구조는 *KHCM*(2001)에서 제시하고 있는 고속도로의 이상적인 조건을 갖추고 있다. 다만 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙(1998)에 규정되어 있는 합류 연결로에 대한 가속차로의 길이가 변이구간을 포함하여 최소 160m이나 조사대상 지점 A(문현)의 경우에는 124m로서 시설기준에 미치지 못하고 있다(참조 Table 3.1, Fig. 3.1). 또한 지점 A(문현)와 지점 B(대연)의 합류부 영향권(merge influence areas) 즉, 합류부의 노즈(nose)로부터 450m 안에 교통특성에 영향을 미칠 수 있는 터널이 위치하고 있다.

본 연구에서는 합류부의 용량과 서비스수준이 연결로 접속부의 합류직후 구간의 교통특성에 지배받는다라는 가정 하에서 조사대상인 합류부의 합류직후 30m 지점에 감지기를 Fig. 3.1과 같이 각 차로별로 설치하여 교통특성자료를 수집하였다.

3.1.2 조사기간

본 연구와 관련된 자료를 수집하기 위해 조사대상으로 선정된 지점들에 대해 2004

Table 3.1 Geometric structure under the study section

구분	지점 A	지점 B	지점 C	지점 D
조사지점(합류부)명	문현*	대연**	원동	망미
가속차로의 길이(m)	124	230	235	194
교통류 방향	부도심		도심	
가속차로의 형식	평행식			
본선의 차로수(lane)	2			
연결로의 차로수(lane)	1			
본선의 차로폭(m)	3.7			
연결로의 차로폭(m)	3.7 ~ 5.0			
본선의 제한속도(kph)	80			
연결로의 제한속도(kph)	50			
측방여유폭(m)	중앙분리대 측	1.2		
	도로 우측	2.0		

* 접속부 하류의 전방(테이퍼 끝 기준) 215m에 터널존재

** 접속부 상류의 후방(노즈 기준) 108m, 하류의 전방 127m에 터널존재

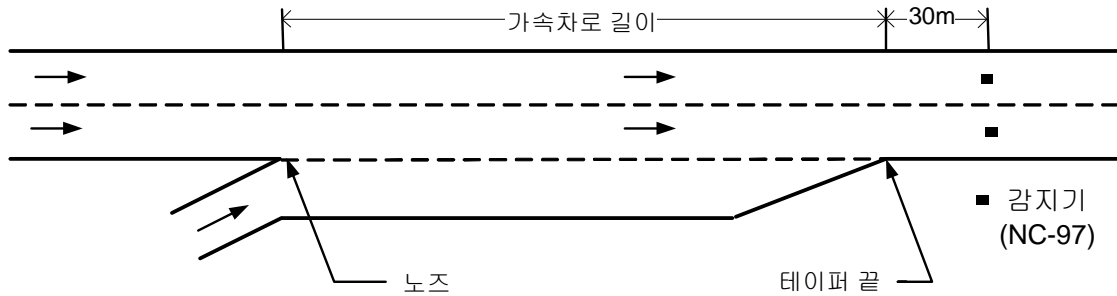


Fig. 3.1 Location of detectors

년 1월부터 8월까지 주중 3일(화요일~목요일)의 24시간 전일자료가 수집되었으며, 관측기기 등의 오류로 인한 자료의 불충분이나 누락이 있는 경우에는 재관측이 실시되었다. 특히 안정류(stable flow)상태가 지속될 수 있는 최소시간을 15분으로 가정하는 미국 도로용량편람(USHCM)이나 국내 도로용량편람(KHCM)을 고려하여 본 자료조사에서도 자료관측의 단위시간(unit period)을 15분으로 설정하여 자료를 수집하였다.

3.1.3 관측기기

자료관측을 위해 사용된 감지기(detector)는 일반적으로 도로포장 속에 묻거나 도로 위 또는 도로가에 설치하여 차량이 지나갈 때 특정 방식을 이용하여 감지를 한다. 가장 일반적으로 사용되는 감지기의 종류에는 루프(loop) 감지기, 자기(magnetic) 감지기, 초음파(ultrasonic) 감지기, 적외선(infrared) 감지기 등이 있다. 본 자료조사에서는 연결로 접속부의 교통특성을 조사하기 위해 차량자기영상(Vehicle Magnetic Imaging, VMI) 기술을 적용한 휴대용 교통 분석기(portable traffic analyzer)인 NC-97을 사용하여 각 차종별 교통량, 속도, 점유율, 차량길이(length of vehicles) 등의 교통특성자료를 매 15분 단위로 수집하였다.

Table 3.2 Features of NC-97

센서종류	GMR magnetic chip for VMI
속도와 차량길이 구간 수	15 speed bins, 8 length bins
크기	165 mm x 140 mm x 16 mm
계수설정 시간범위	1 ~ 120 min
점유율	Percent occupancy over report interval
차량계수 정확도	Free flow 99.0%, ± 1 count
저속/정지차량 계수정확도	95.0%, ± 1 count
차량속도 정확도	+/- 4.2% @ 95% probability

3.2 자료정리

3.2.1 1차 자료정리

가. 교통량

교통량(volume)은 단위시간당 조사대상 관측지점을 통과하는 차량대수로 단위는 vehicles per 15 min로 나타내며, 차량길이에 따라 총 8개의 범주(categories)로 수집되었다.

나. 속도

속도(speed)는 조사대상 관측지점을 통과하는 차량의 지점속도를 측정 한 것으로서 단위는 kilometers per hour(kph)로 나타내며, 속도분포에 따라 총 14개의 범주(categories)로 수집되었다(참조 Table 3.3). 그리고 조사지점의 평균속도는 시간평균 속도(Time Mean Speed, TMS)라고도 하며, 다음 식(3.1)과 같이 산술평균(arithmetic mean)에 의해 산출된다.

Table 3.3 Range of speed intervals

(단위 : kph)

구분	속도구간	구분	속도구간	구분	속도구간
1	0 ~ 7	6	40 ~ 47	11	80 ~ 87
2	8 ~ 15	7	48 ~ 55	12	88 ~ 95
3	16 ~ 23	8	56 ~ 63	13	96 ~ 103
4	24 ~ 31	9	64 ~ 71	14	104 ~ 111
5	32 ~ 39	10	72 ~ 79	15	112 ~

$$S_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s_i \quad (3.1)$$

여기서,

S_t : 지점평균속도(kph)

N : 관측된 차량대수(veh)

s_i : 차량 i 의 지점속도(kph)

다. 점유율

점유율(occupancy)은 단위시간당 차량이 감지기를 점유하는 시간의 비율로서 단위는 퍼센트(%)이며 다음 식(3.2)과 같이 산출된다.

$$O = \frac{\sum_i (L_i + d) / s_i}{t} \times 100 \quad (3.2)$$

여기서,

O : 점유율(%)

L_i : 통과차량의 길이(m)

d : 감지기의 길이(m)

t : 단위시간(15min)

3.2.2 2차 자료정리

가. 교통류율

교통류율(flow rate)은 교통량의 1시간환산유율(equivalent hourly rate)로서 단위시간동안 어느 지점을 통과하는 차량대수를 1시간단위로 환산한 교통량이다. 조사지점에서 관측된 15분단위의 교통량은 식(3.3)과 (3.4)를 이용하여 승용차 단위인 passenger car per hour per lane(pcphpl)으로 환산되었다. 특히 중차량에 대한 승용차 환산계수(Passenger Car Equivalent, PCE)는 소형, 중형, 그리고 대형 차종의 표

준톤수에 대응할 수 있는 차량길이 즉 6m 미만, 6m 이상 12m 이하, 그리고 12m를 초과하는 차량길이에 적용되어 사용되었다.(참조 Table 3.4).

$$F = \frac{1}{2} \left(\frac{4V_1}{f_{HV_1}} + \frac{4V_2}{f_{HV_2}} \right) \quad (3.3)$$

$$f_{HV_i} = \frac{1}{1 + P_{T_1}(E_{T_1} - 1) + P_{T_2}(E_{T_2} - 1)} \quad (3.4)$$

여기서,

F : 교통류율(pcp/pl)

V_1 : 차로 1의 단위시간 15분당 교통량(vp15min)

V_2 : 차로 2의 단위시간 15분당 교통량(vp15min)

f_{HV_i} : 중차량 보정계수(i =차로 1, 2)

P_{T_1} : 중형차량(T_1)의 구성비

P_{T_2} : 대형차량(T_2)의 구성비

E_{T_1} : 중형차량(T_1)의 승용차 환산계수

E_{T_2} : 대형차량(T_2)의 승용차 환산계수

Table 3.4 Vehicle type and passenger-car equivalent on level terrain

차종구분		차량길이	승용차 환산계수
소형	2.5톤 미만 트럭, 12인승 미만 소형 버스	6m 미만	1.0
중형	2.5톤 이상 트럭, 버스	6 ~ 12m	1.5
대형	세미트레일러 또는 폴트레일러	12m 초과	2.0

나. 공간평균속도

일반적으로 교통류 이론에서는 공간평균속도(Space Mean Speed, SMS)를 사용하는데 이는 도로의 일정구간을 달리는 차량들의 평균속도에 대한 구간거리가 고려되어 다음과 같이 산출된다.

$$S_m = \frac{D_l}{\frac{1}{N} \sum_i t_i} \quad (3.5)$$

여기서,

S_m : 전 차량의 공간평균속도(kph)

D_l : 구간거리(km)

t_i : 구간거리를 통과하는데 걸린 차량 i 의 시간(hr)

$t_i = \frac{D_l}{s_i}$ 이므로 이를 식(3.5)에 대입하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} S_m &= \frac{D_l}{\frac{1}{N} \sum_i \frac{D_l}{s_i}} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{N} \sum_i \frac{1}{s_i}} \\ &= \frac{N}{\sum_i \frac{1}{s_i}} \end{aligned} \quad (3.6)$$

따라서 본 연구에서는 수집된 14개의 속도구간별 도수분포자료를 통해 다음과 같

이 전차로(차로 1과 2)의 공간평균속도를 구하였다.

$$S_R = \frac{\sum_j v_{1j} + \sum_j v_{2j}}{\sum_j \left(\frac{v_{1j}}{s_{1j}} + \frac{v_{2j}}{s_{2j}} \right)} \quad (3.7)$$

여기서,

S_R : 전 차로의 공간평균속도(kph)

j : 각 속도구간($j=1, 2, \dots, 14$)

v_{1j} : 차로 1에서 단위시간 15분당 속도구간 j 의 교통량(vp15min)

v_{2j} : 차로 2에서 단위시간 15분당 속도구간 j 의 교통량(vp15min)

s_{1j} : 차로 1에서 단위시간 15분당 속도구간 j 의 평균지점속도(kph)

s_{2j} : 차로 2에서 단위시간 15분당 속도구간 j 의 평균지점속도(kph)

3.3 자료의 유효화

감지기(NC-97)를 통해서 수집된 자료로부터 유효한 자료만을 선별하기 위해 다음과 같은 자료의 유효화(validation) 작업을 수행하였다.

가. 자료가 배제된 경우

- 관측지점 각 차로 중에서 한 감지기라도 오류가 발생한 경우
- 눈, 비 등으로 인해 기상이 매우 불량한 시간대의 경우
- 특별한 원인으로 설명하기에 어려운 비정상적인 자료가 관측된 경우

이러한 경우는 대체적으로 중차량(heavy vehicles)의 타이어가 도로 위에 노출되어 있는 감지기에 충격을 주어 오류가 발생되거나 우천으로 인해 빗물이 감지기 내부에 스며들어 배터리가 방전됨으로써 자료의 추출이 불가능한 경우에 발생하였다.

나. 자료가 수정된 경우

점유율이 0이면서 교통량이 0이 아닌 자료는 점유율의 측정정도가 정수형 %로 기록되기 때문에, 통과 교통량이 아주 적을 때 사사오입으로 인해 0.5% 미만의 점유율은 0으로 표기되므로 이러한 경우는 일괄적으로 점유율을 0.1%로 수정하였다.

3.4 자료분석방법

본 연구에서는 도시고속도로의 합류부에 대한 교통특성을 파악하기 위하여 정체시 서비스수준 체계의 구축에 앞서 차로별 지점별 교통류율, 공간평균속도, 그리고 점유율 자료에 대한 시간적 추이를 시간별 분포도로 살펴보고, 교통특성변수들 상호간의 산점도 또는 시간궤적도(overlaid time-traced plots)를 통해 교통특성을 정성적으로 분석하였다. 또한 교통류율과 속도의 관계로서 일반화된 3영역 모형에 기초하여 비정체류(uncongested flow)와 정체류(congested flow)를 구별할 수 있는 임계속도와 합리적인 용량의 추정치를 산출하는 방법론을 모색하였다.

3.4.1 시간별 추이분석

시간별 교통류율, 속도, 점유율의 변화를 파악하기 위해서 X축을 시간, Y축을 각 교통변수로 설정하여 시간별 분포도(time base plots)를 그렸다. 이 도표를 통해 차로별, 전차로 평균 그리고 지점별 교통특성변수의 개별 분석과 교통류율-속도, 교통류율-점유율, 속도-점유율 등의 상호관계를 비교 분석하였다.

3.4.2 산점도 및 산점시간궤적도 분석

교통특성변수에 대한 상호관계의 연구에서 둘 이상의 변수를 X축과 Y축 또는 3차원의 관계에서는 Z축에 추가적으로 설정하고, 각 산점도를 그려 개략적인 분포를 시각적으로 확인하고 교통특성변수 사이의 상호관계를 파악하였다. 그리고 상관분석(correlation analysis)을 추가적으로 교통특성변수 사이의 상호관계를 설명하기 위해 수행되었다. 또한 교통류 영역간의 전이 상태 등을 파악하기 위해 교통류율-속도의 산점에 대한 시간궤적도를 작성하였다. 이는 비정체류와 정체류를 구분하는 변환점의 기준이 될 수 있는 교통변수를 선정하는데 매우 유용하게 사용되었다. 그리고 임계속도이하에서 정체상태로 있는 15분 단위의 교통류가 교통류율-속도의 산점도를 적용한 소통효율의 영역도에 표시되어 정체상태의 수준이 시각적으로 분류되었다.

제 4 장 교통특성분석

4.1 교통특성

본 연구에서는 도시고속도로 합류부의 합류직후 지점에 설치된 감지기로부터 관측된 교통류율, 속도 그리고 점유율 등의 교통특성자료에 대해 전일별, 지점별, 차로별 그리고 전 차로별 분석이 수행되었고, 또한 교통특성 사이의 관계에 관한 비교 연구가 수행되었으며, 궁극적으로 교통특성 상호간의 비교 연구결과를 통해 임계속도의 결정과 용량산정방안을 제시하였다.

4.1.1 교통류율

조사대상 합류부의 합류직후 지점의 교통류율에 대한 시간별 분포를 전일별, 지점별, 차로별 그리고 전 차로별 평균 교통류율로 분류하여 살펴보면, 관측기간 동안 모든 지점에서 교통류율이 대체적으로 오전 06:00 이후에 급격히 증가하여 오후 퇴근시간대 이후까지 높은 상태를 유지하였다(참조 Fig. 4.1~4.4). 심야시간대(22:00~익일 06:00)를 제외한 시간대(비심야시간대)에는 교통류율이 대체적으로 900pcphpl 이상의 높은 값을 보였다. 또한 지점 B(대연)를 제외한 모든 지점에서 심야시간대에는 차로별 교통류율의 차이가 거의 발생되지 않았으나, 비심야시간대에는 지점별 평균 최소 267pcphpl에서 최대 321pcphpl까지 차로 2가 차로 1보다 더 높은 교통류율을 보였다. 이로써 비심야시간대에서 두 차로사이의 교통류율 차이를 차로 1의 교통류율과 대비할 때, 차로 2에서의 차량 흐름이 약 25~31% 정도 더 원활한 것으로 나타났다(참조 Table 4.1).

그리고 최대교통류율(maximum flow rate, F_{max})을 전일별, 지점별, 차로별 그리고 전 차로별 평균으로 분류하여 살펴보면, 현재 *KHCM*(2000)에서 제시된 본선 자유속도가 90kph 이하에서의 이상적인 용량인 2,100pcphpl에 비해 현저히 낮은 최대교통류율을 보였다(참조 Table 4.2). 지점 A(문현)의 경우에서 최대교통류율이 1,324pcphpl로서 가장 낮은 값을 보였으며, 가장 높은 값을 보이는 지점 D(망미)도

1,923pcphpl을 나타내었다. 비록 지점 D(망미)의 차로 2에서 2,126pcphpl을 보였더라도 용량산정에 직접적인 자료가 되는 최대교통류율은 전 차로의 평균값을 사용하여야 함으로 다른 지점과 마찬가지로 낮은 값을 보였다. 이와 같이 최대교통류율이 상대적으로 낮게 관측되는 이유는 조사대상 지점의 기하구조, 차량통행 및 교통운영 등의 요인으로 인해 자유속도가 90kph보다 낮게 됨으로써 발생하는 결과라고 판단하였다.

또한 교통류율의 뚜렷한 첨두(peaks)현상은 모든 지점에서 나타나지 않았다. 과거 출근 및 퇴근시간대에 차량이 집중되는 통행특성이 생활수준의 향상 등에 의한 절대적 차량의 증가와 다양한 경제활동 등의 통행발생환경의 변화로 변모하였음을 반영하고 있다고 생각되었다. 이러한 조사대상 지점의 교통류율에 대한 시간별 전일 곡선(diurnal curve)으로는 실제 어떤 시간대에 교통정체현상, 즉 교통수요가 연구대상 합류부의 용량을 초과하여 교통정체상태로 변화되는 시점 및 그 지속시간 등을 판단할 수 없었다.

따라서 이 지점들의 용량산정, 정체상태의 시·종점 등 교통운영상태를 파악하기 위해서는 교통류율뿐만 아니라 각 지점의 자유속도 등을 포함한 속도의 시간별 추이나 점유율 등에 대한 특성을 함께 연구해야 할 것으로 생각되었다.

Table 4.1 Shift in flow rate between lanes per area($\Delta F = F_2 - F_1$)

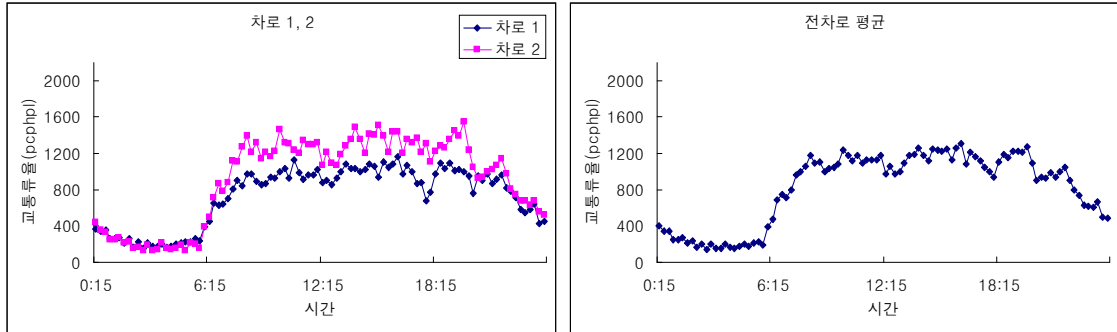
(단위 : pcphpl)

구분	심야시간대 (22:00~익일 06:00)	비심야시간대 (06:00~22:00)	비심야시간대의 차로 1 대비(%)
지점 A	-5	268	29.0
지점 B	135	321	31.1
지점 C	12	267	27.2
지점 D	11	317	25.3

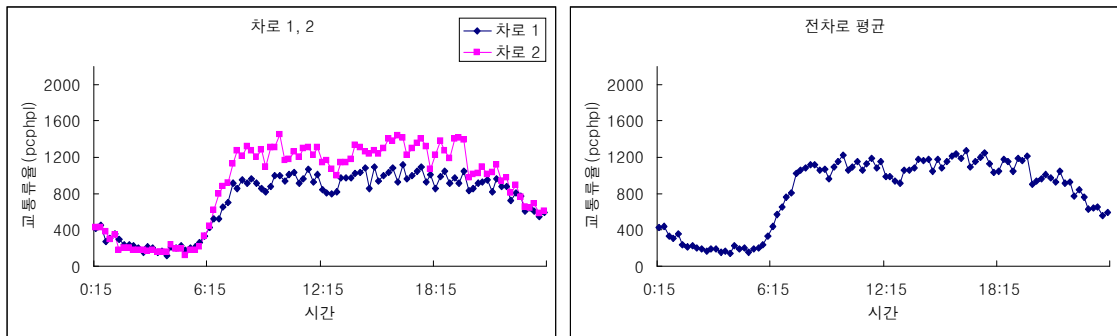
Table 4.2 Maximum flow rate observed per lane per area

(단위 : pcphpl)

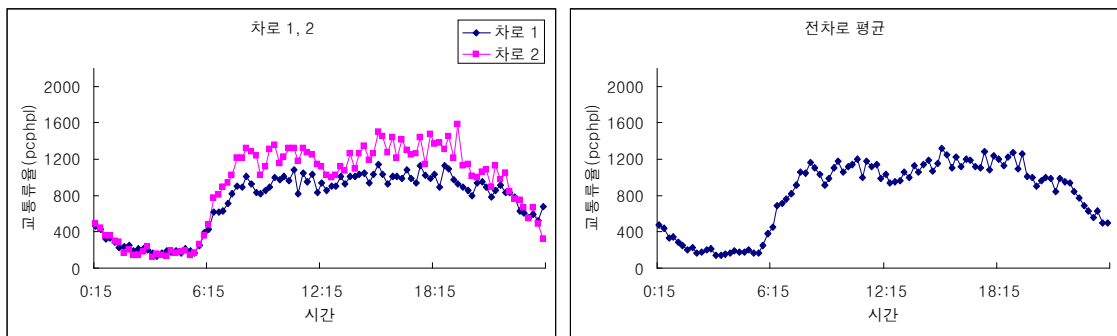
구분		1일	2일	3일	최대(max)
지점 A	차로 1	1,168	1,117	1,144	1,168
	차로 2	1,548	1,455	1,583	1,583
	전 차로 평균	1,304	1,268	1,324	1,324
지점 B	차로 1	1,404	1,400	1,440	1,440
	차로 2	1,734	1,751	1,713	1,751
	전 차로 평균	1,555	1,571	1,529	1,571
지점 C	차로 1	1,465	1,494	1,380	1,494
	차로 2	1,674	1,848	1,723	1,848
	전 차로 평균	1,471	1,577	1,480	1,577
지점 D	차로 1	1,695	1,719	1,644	1,719
	차로 2	2,101	2,126	1,965	2,126
	전 차로 평균	1,898	1,923	1,768	1,923



(a) 1일

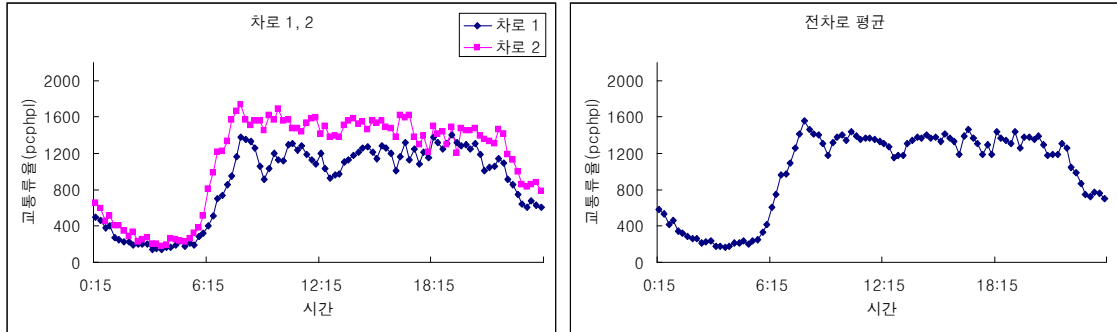


(b) 2일

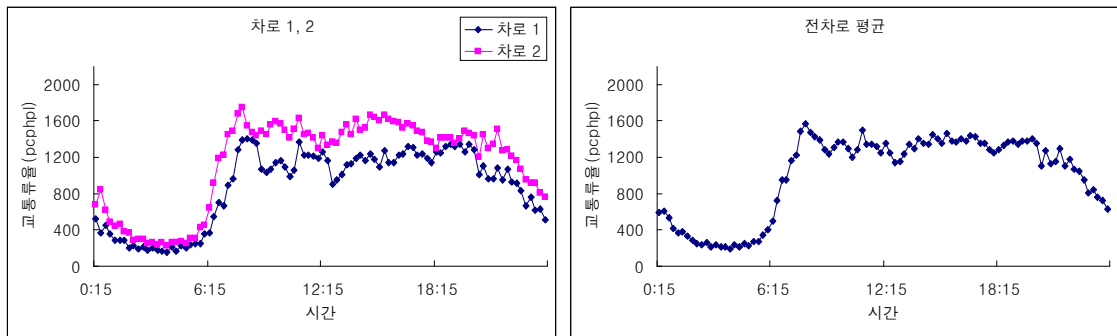


(c) 3일

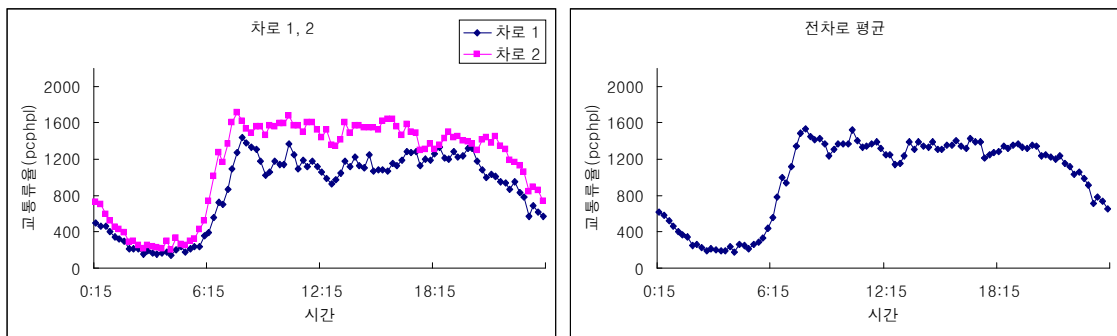
Fig. 4.1 Flow rate distribution per time period(area A)



(a) 1일

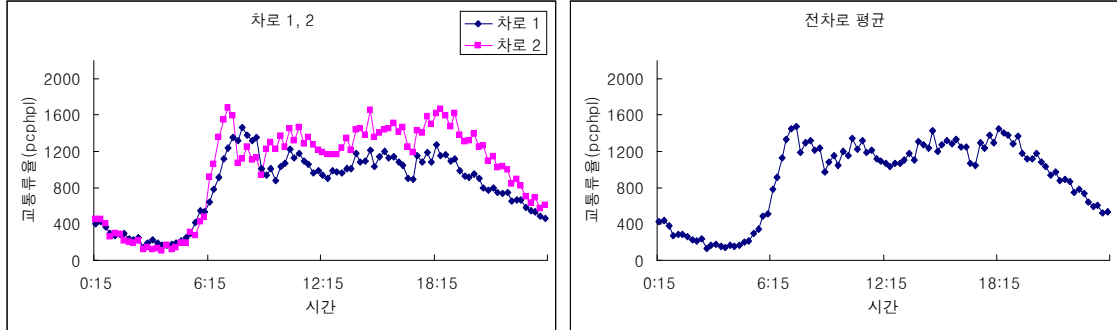


(b) 2일

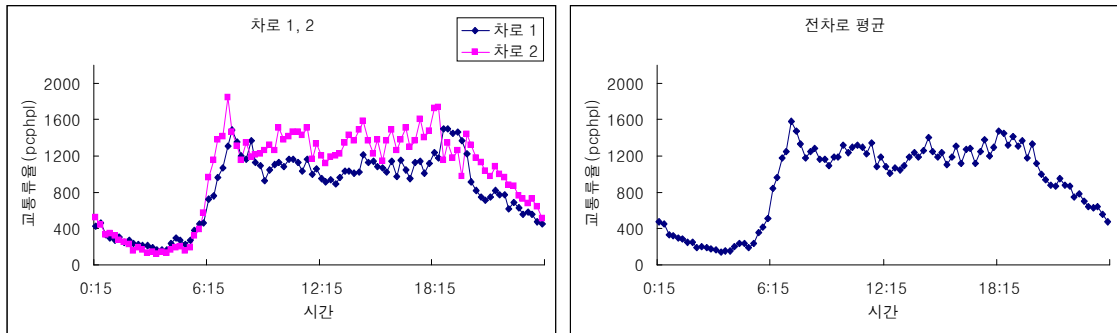


(c) 3일

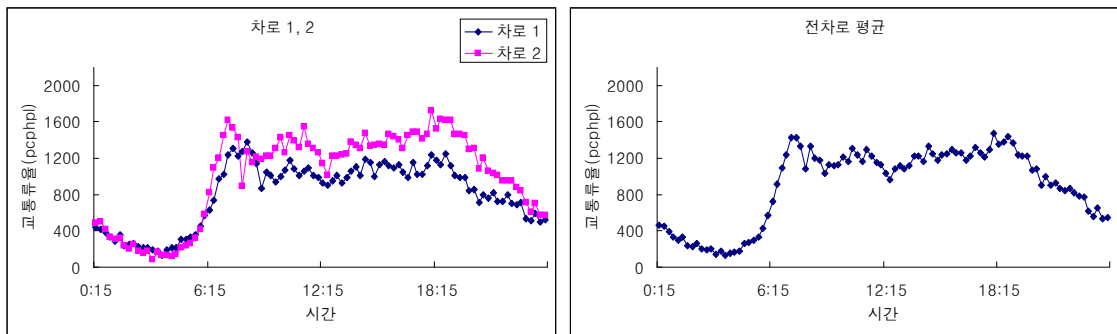
Fig. 4.2 Flow rate distribution per time period(area B)



(a) 1일

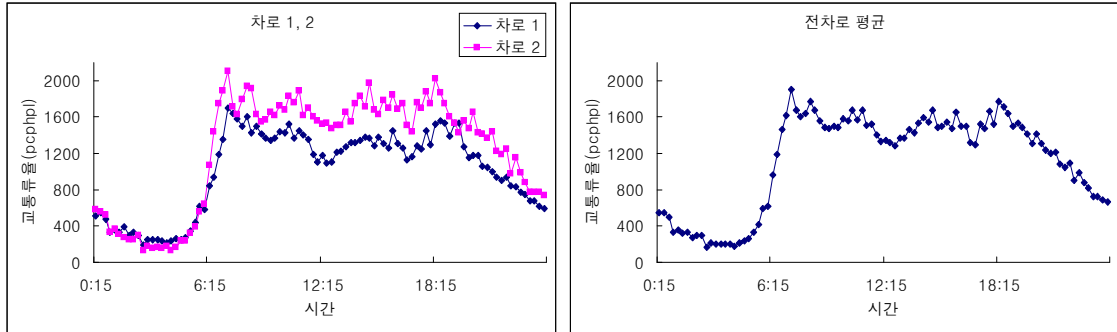


(b) 2일

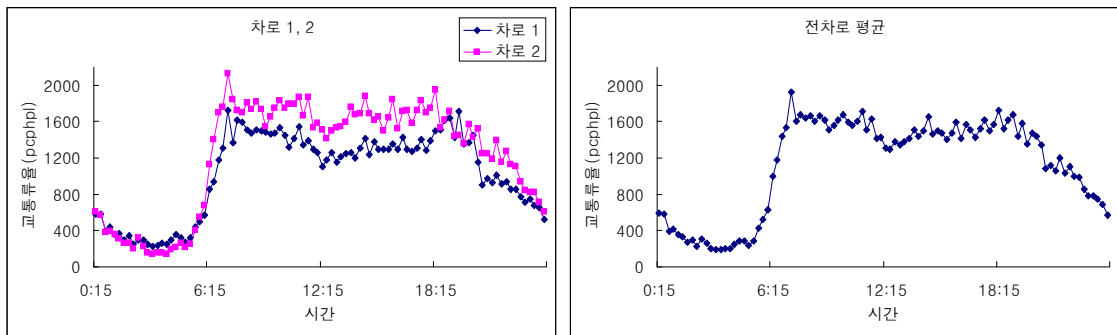


(c) 3일

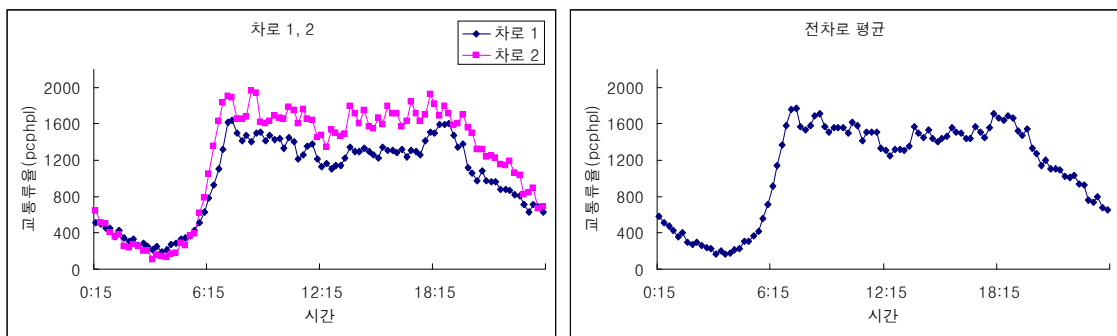
Fig. 4.3 Flow rate distribution per time period(area C)



(a) 1일



(b) 2일



(c) 3일

Fig. 4.4 Flow rate distribution per time period(area D)

4.1.2 속도

조사대상 합류부의 합류직후 지점의 공간평균속도에 대한 시간별 분포를 전일별, 지점별, 차로별 그리고 전 차로별 평균속도로 분류하여 살펴보면, 관측기간 동안 모든 지점에서 전체적으로 차로 2의 속도가 차로 1의 속도보다 높게 나타났고 출근시간대나 퇴근시간대를 중심으로 속도가 상당히 감소하는 것으로 확인되었다(참조 Fig. 4.6~4.9). 심야시간대(22:00~익일 06:00)에는 약 60~70kph 내외로 비교적 높은 속도를 보였으나, 비심야시간대에는 최저 약 20kph 까지 현저히 낮은 속도를 보였다(참조 Table 4.3). 또한 심야시간대에는 공간평균속도의 제85백분위수와 제15백분위수 차이가 대략 5~10kph 정도로 나타나 안정적인 속도를 보였으나, 비심야시간대에는 이들의 차이가 상대적으로 커서 심한 속도편차를 보였다. 지점 *D*(망미)의 경우에는 약 40kph 까지 다소 큰 속도편차를 보였다. 그리고 전일의 전 차로 평균속도를 보면 지점 *B*(대연)에서는 50.9kph로서 가장 낮은 속도를 보였으며, 반면 지점 *C*(원동)에서는 62.6kph로 가장 높은 속도를 보였다.

심야시간대에 대한 차로별 속도의 차이는 약 4.6~7.8kph 정도로 차로 2의 속도가 차로 1의 속도보다 약 7.0~12.9% 더 높았으며, 비심야시간대의 경우 속도가 40kph 인 시간대에는 모든 지점에서 약 4.3~8.1kph로 차로 1에 비해 차로 2가 심야시간대와 비슷한 8.3~13.7%의 높은 속도를 보였다. 반면 속도가 40kph 이하인 경우, 지점 *C*(원동)를 제외하고는 약 1.6~2.8kph로 상대적으로 작은 속도차이를 보였다. 그러나 차로 1의 속도에 비해 차로 2의 속도가 여전히 약 6.6~10.7% 높게 나타나 차로별 속도의 대비는 다른 시간대와 거의 동일한 것으로 나타났다. 다만 지점 *C*(원동)의 경우 40kph이하의 시간대에 차로 2의 속도가 차로 1보다 오히려 약 5.8kph 정도 낮아 예외적인 경우가 있음을 확인하였다(참조 Table 4.4). 이는 지점 *C*(원동)가 트럼펫 A형 입체교차로의 일부분으로서 상류(upstream)에 있는 분류 연결로의 영향을 받은 것으로 생각되었다.

일반적으로 자유속도는 교통류율이 거의 없는 상태에서 다른 차량의 영향을 받지 않고, 차량이 자유스럽게 주행할 수 있는 평균속도를 의미한다. 그리고 평지에서는 중차량의 속도도 승용차의 속도와 동일하다고 간주되므로 본 연구에서는 통행량이

적은 심야시간대 범위 중에서 02:00~04:00의 제85백분위수(85th percentile)에 해당하는 차량의 평균속도를 자유속도로 간주하여 각 지점별로 산출하였다(참조 Fig. 4.5).

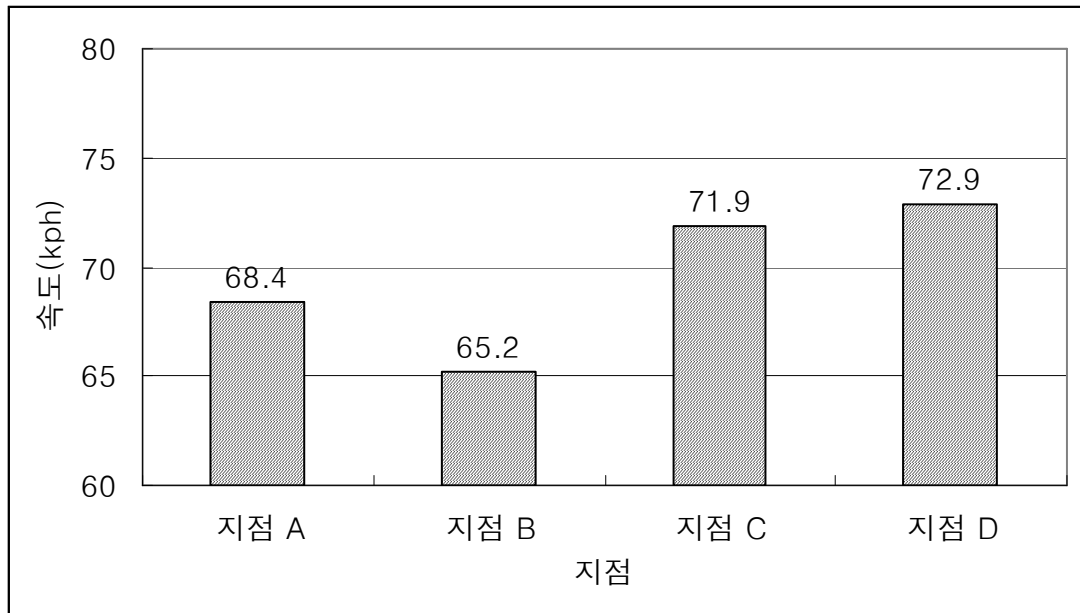


Fig. 4.5 Free flow speed per area

전체적으로 본 연구대상 도시고속도로의 제한속도(posted speed limit)가 80kph임에도 불구하고 각 지점의 자유속도는 이보다 상당히 낮게 나타났다. 도심방향의 지점 C(원동)와 지점 D(망미)의 자유속도는 각각 약 71.9kph와 약 72.9kph를 보임으로써 부도심방향에 있는 지점들보다 상대적으로 높은 속도를 나타내었다. 각 지점별 자유속도 중에서 부도심 방향의 지점 A(문현)와 지점 B(대연)의 자유속도가 각각 약 68.4kph와 65.2kph로 낮게 나타난 것은 합류부에 인접하여 설치된 터널의 영향이 다소 있는 것으로 판단되었다. 특히 지점 B(대연)는 합류부 영향권 안의 상류 및 하류에 각각 터널이 연결되어 있어 가장 낮은 자유속도를 보인 것으로 생각되었다.

따라서 자유속도는 터널의 존재와 같은 합류부의 주변여건 등에 상당한 영향을 받고, 대체적으로 운전자들이 도시고속도로의 합류부에서 제한속도보다 다소 낮은 속도로 운행하는 경향이 있음을 확인하였다. 또한 연결로 접속부의 용량을 자유속도 120~90kph에 따라 개별 제시하고 있는 *KHCM*(2001)에 국내 여건상 제한속도가 80kph인 도시고속도로가 다수 운영되고 있으므로 추가적으로 자유속도가 80kph 이하인 경우의 용량도 제시할 필요성이 있다고 판단되었다.

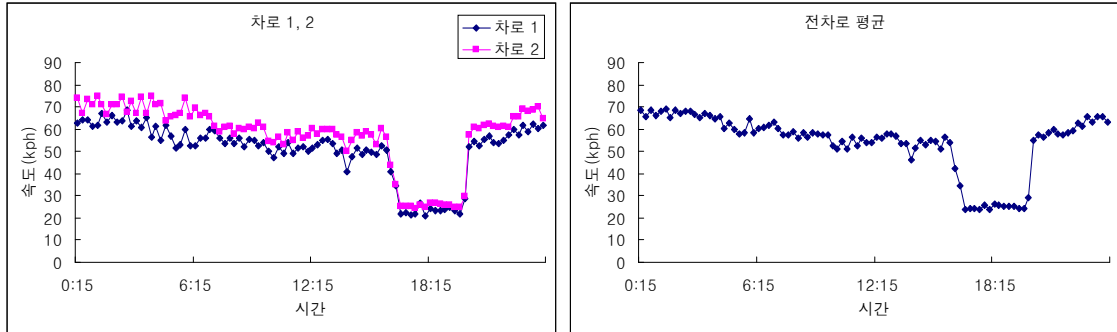
Table 4.3 Speed per time period per lane per area

(단위 : kph)

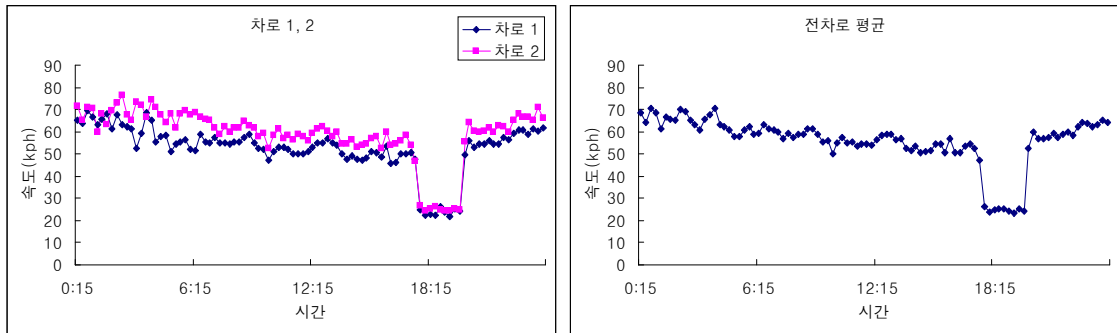
구분		심야시간대 (22:00~익일 06:00)			비심야시간대 (06:00~22:00)			전일		
		제15 백분위수	평균	제85 백분위수	제15 백분위수	평균	제85 백분위수	제15 백분위수	평균	제85 백분위수
지점 A	차로 1	55.8	60.6	65.1	27.5	47.7	55.6	47.4	52.0	61.4
	차로 2	65.1	68.4	72.7	27.5	53.5	62.0	53.2	58.5	69.2
	전 차로 평균	60.4	64.2	67.9	27.5	50.9	59.1	50.6	55.3	65.2
지점 B	차로 1	55.4	60.1	64.3	23.8	42.8	57.1	25.8	48.6	60.6
	차로 2	60.8	65.2	69.2	27.2	46.6	62.3	28.9	52.8	66.1
	전 차로 평균	59.7	62.7	65.9	25.8	44.9	59.6	27.7	50.9	63.6
지점 C	차로 1	63.3	65.9	68.5	56.8	57.4	63.4	59.2	60.2	66.0
	차로 2	64.5	70.8	75.6	49.8	61.8	70.9	62.7	64.8	73.2
	전 차로 평균	64.9	68.3	70.9	54.2	59.8	67.5	62.0	62.6	69.6
지점 D	차로 1	61.8	65.9	70.6	26.9	52.3	62.1	46.9	56.9	66.5
	차로 2	63.4	70.5	76.2	28.2	59.2	70.6	50.3	62.9	73.5
	전 차로 평균	64.2	68.0	71.3	27.4	56.0	66.3	48.4	60.0	69.0

Table 4.4 Shift in speed between lanes per time period per area($\Delta s = s_2 - s_1$)

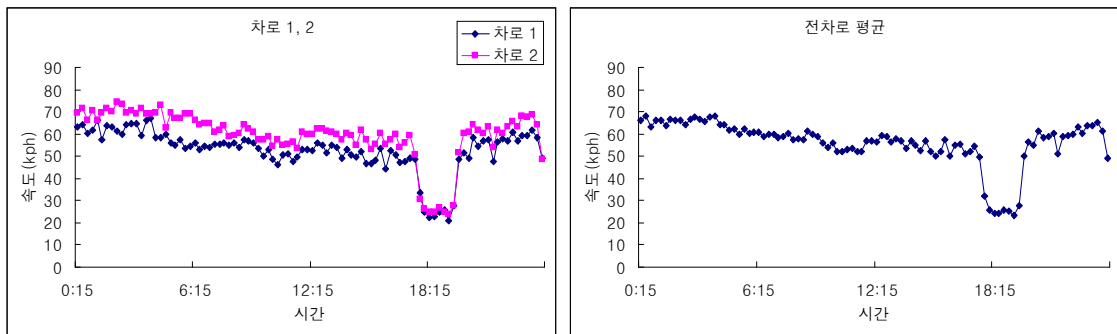
구분		속도 차(kph)	차로 1 대비(%)
지점 A	심야시간대	7.8	12.9
	비심야시간대	40kph	12.6
		≤ 40 kph	6.6
지점 B	심야시간대	5.1	8.5
	비심야시간대	40kph	8.3
		≤ 40 kph	10.7
지점 C	심야시간대	4.9	7.4
	비심야시간대	40kph	10.1
		≤ 40 kph	-5.8
지점 D	심야시간대	4.6	7.0
	비심야시간대	40kph	13.7
		≤ 40 kph	6.8



(a) 1일

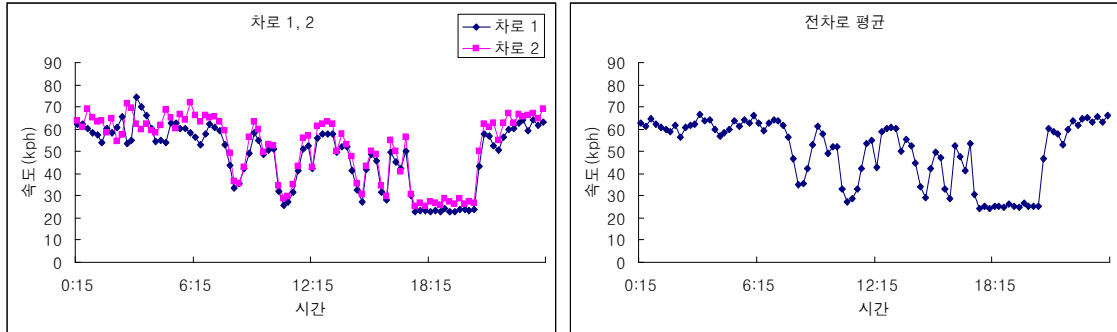


(b) 2일

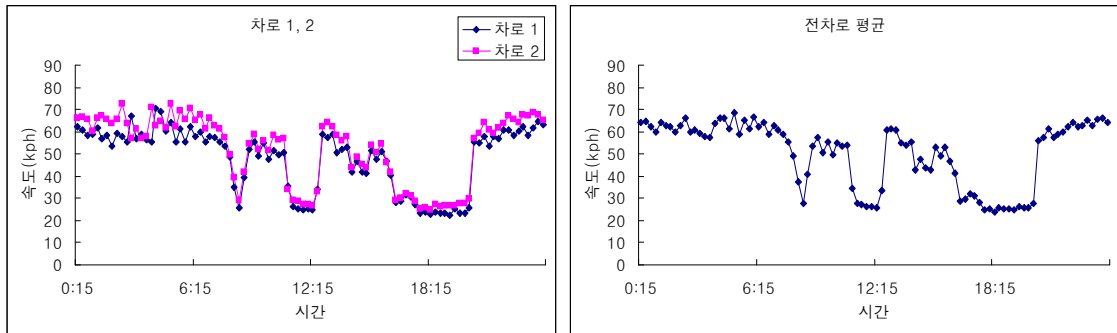


(c) 3일

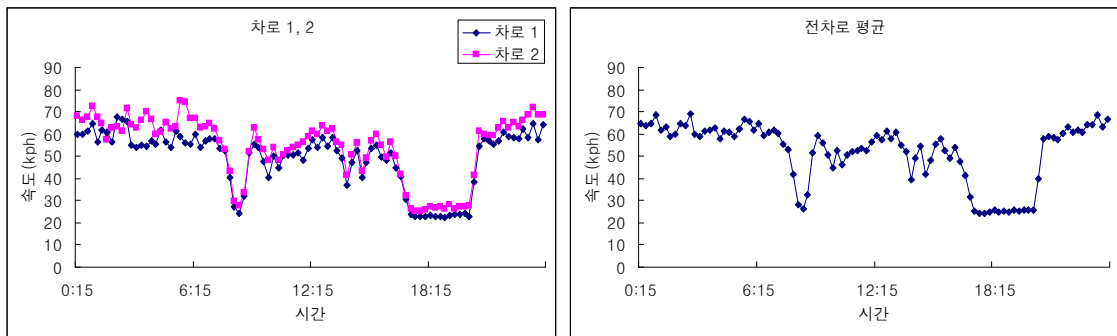
Fig. 4.6 Distribution of space mean speed per time period(area A)



(a) 1일

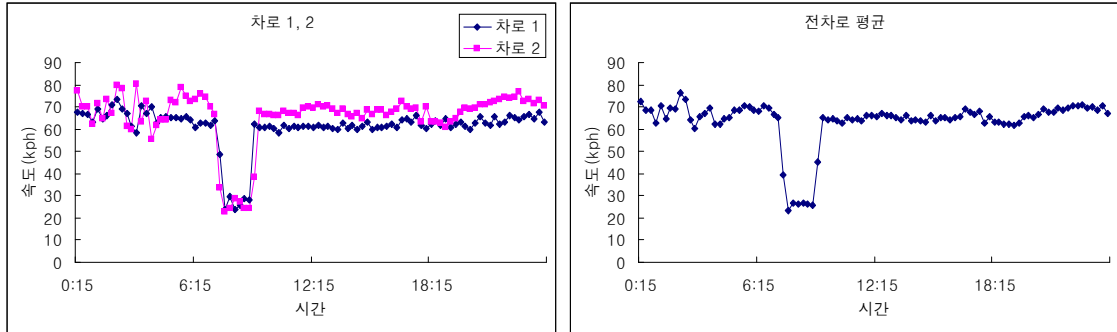


(b) 2일

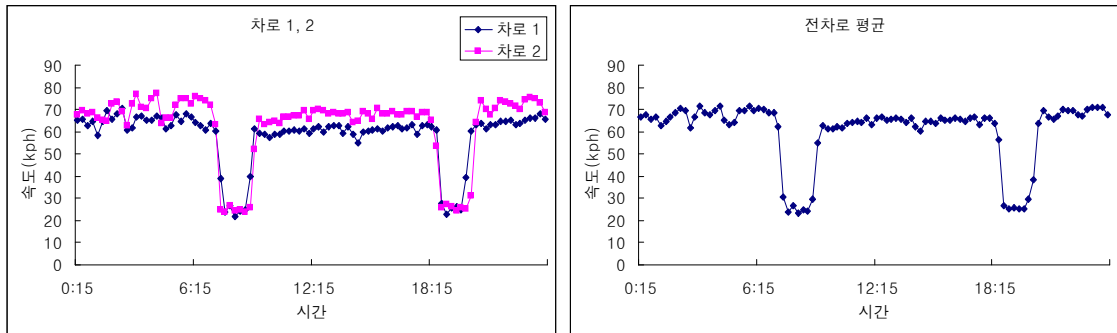


(c) 3일

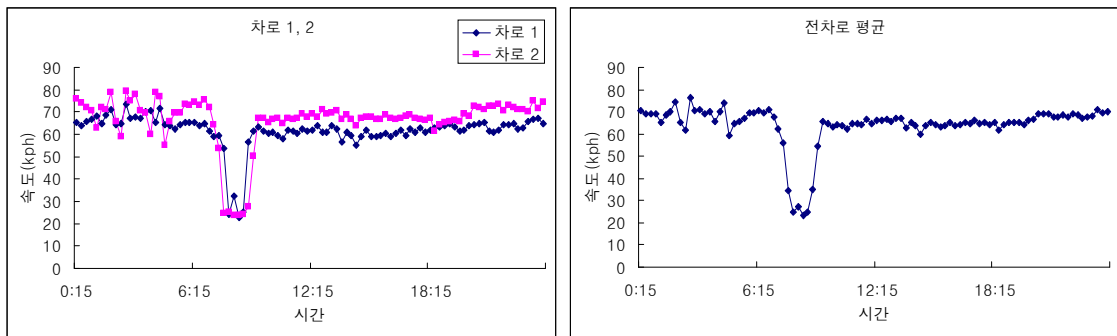
Fig. 4.7 Distribution of space mean speed per time period(area B)



(a) 1일

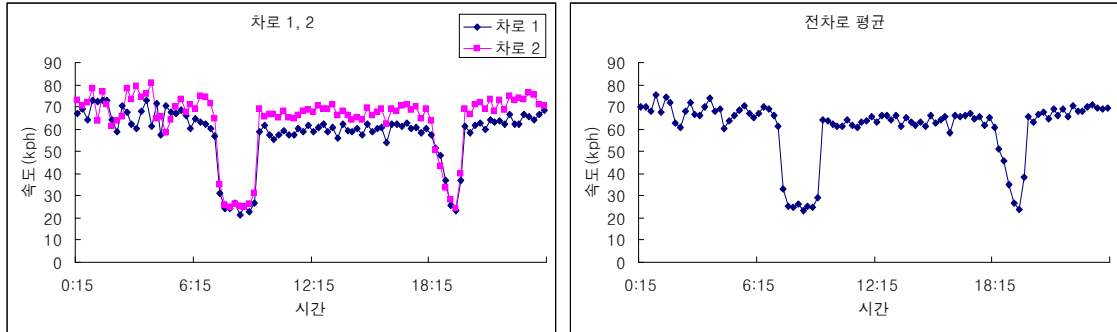


(b) 2일

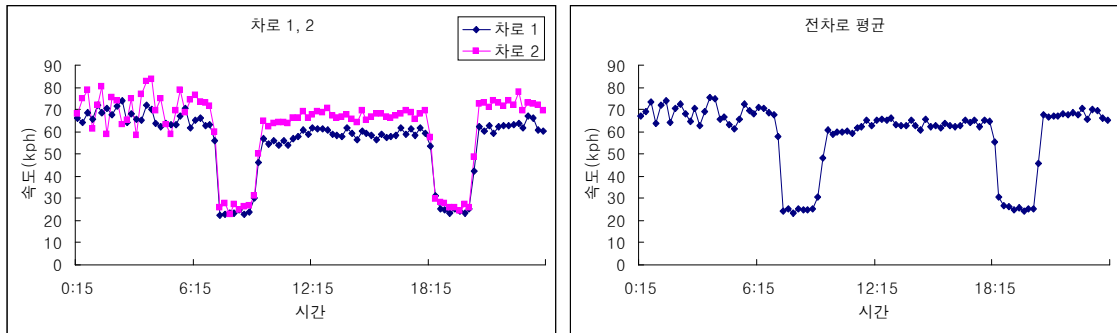


(c) 3일

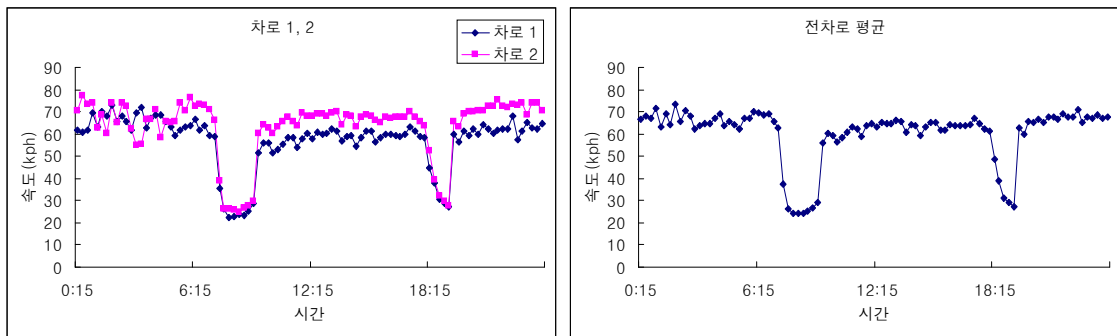
Fig. 4.8 Distribution of space mean speed per time period(area C)



(a) 1일



(b) 2일



(c) 3일

Fig. 4.9 Distribution of space mean speed per time period(area D)

4.1.3 점유율

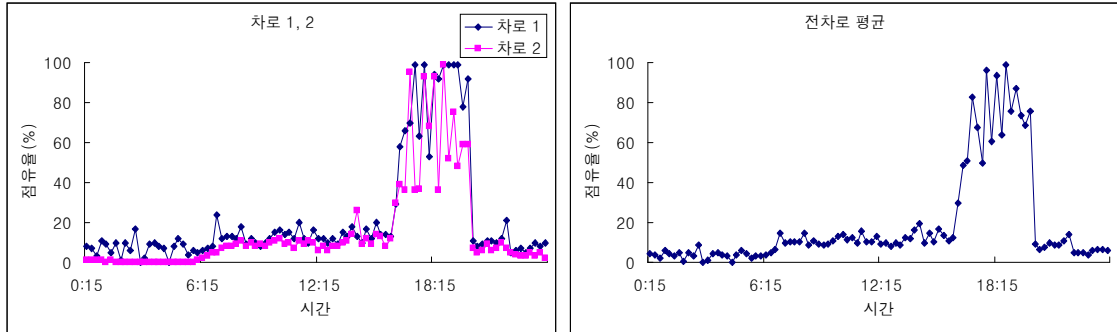
연구대상 합류부의 합류직후 지점의 점유율에 대한 시간별 분포를 전일별, 지점별, 차로별 그리고 전 차로별 평균점유율로 분류하여 살펴보면, 관측기간 동안 모든 지점에서 점유율이 전체적으로 출근시간대나 퇴근시간대를 중심으로 상당히 증가하는 것으로 확인되었다(참조 Fig. 4.10~4.13). 심야시간대에 지점 A(문현)는 차로 1의 점유율이 약 20% 안에서 상당히 불규칙적으로 변동하나 그 외의 지점에서는 차로별 점유율의 차이는 거의 보이지 않았다. 비심야시간대에는 지점 B(대연)를 제외하고 모든 지점에서 출근 또는 퇴근시간대에 최고 99%의 점유율을 보이며 첨두현상이 관찰되었고, 지점 B(대연)는 비심야시간대의 상당한 시간동안 높은 점유율을 보였다.

심야시간대의 점유율은 모든 지점에서 전 차로 평균 4% 이하로 낮게 나타났으며, 차로 1의 점유율이 차로 2의 점유율보다 상대적으로 높게 나타났다(참조 Table 4.5). 비심야시간대에 관측된 점유율을 출근시간대(07:00~09:00), 퇴근시간대(18:00~20:00), 그 외의 시간대로 나누어 살펴보면, 출근시간대에는 지점 D(망미)가 51.1%로서 가장 높은 점유율을 보였으며, 퇴근시간대에는 지점 A(문현)가 69.5%로서 가장 높은 점유율을 보였다. 또한 지점 B(대연)의 경우를 제외하고는 출·퇴근시간대를 제외한 모든 시간대에서 대부분 10% 이하의 평균 점유율이 나타났다.

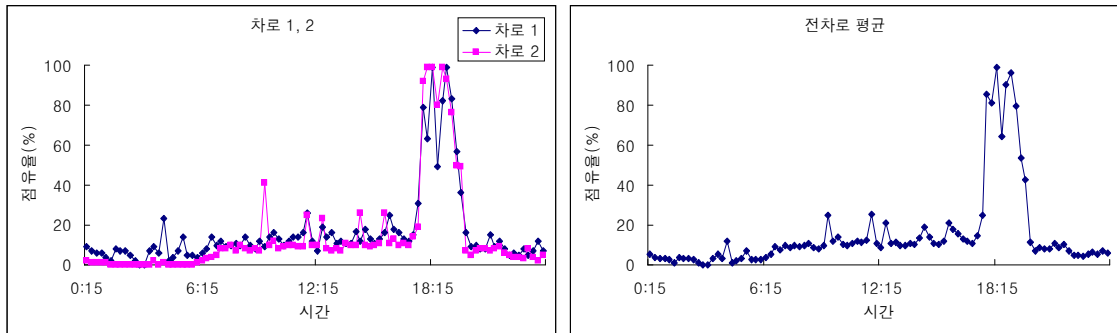
Table 4.5 Occupancy per time period per lane per area

(단위 : %)

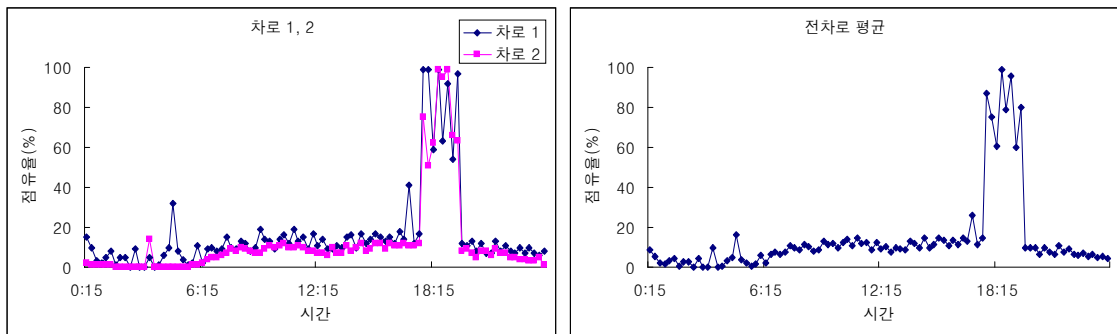
구분		차로 1	차로 2	전 차로 평균	
지점 A	심야시간대	6.6	1.4	4.0	
	비 심야 시간대	출근시간대	11.2	8.3	9.8
		퇴근시간대	73.3	65.6	69.5
		그 외 시간대	18.1	14.1	16.1
지점 B	심야시간대	3.0	2.2	2.6	
	비 심야 시간대	출근시간대	18.5	20.7	19.6
		퇴근시간대	44.4	46.9	45.7
		그 외 시간대	18.2	20.2	19.2
지점 C	심야시간대	1.5	1.1	1.3	
	비 심야 시간대	출근시간대	58.3	43.1	50.7
		퇴근시간대	21.5	19.0	20.2
		그 외 시간대	7.4	7.3	7.4
지점 D	심야시간대	1.7	1.5	1.6	
	비 심야 시간대	출근시간대	58.6	43.7	51.1
		퇴근시간대	28.0	28.1	28.0
		그 외 시간대	9.6	10.1	9.8



(a) 1일

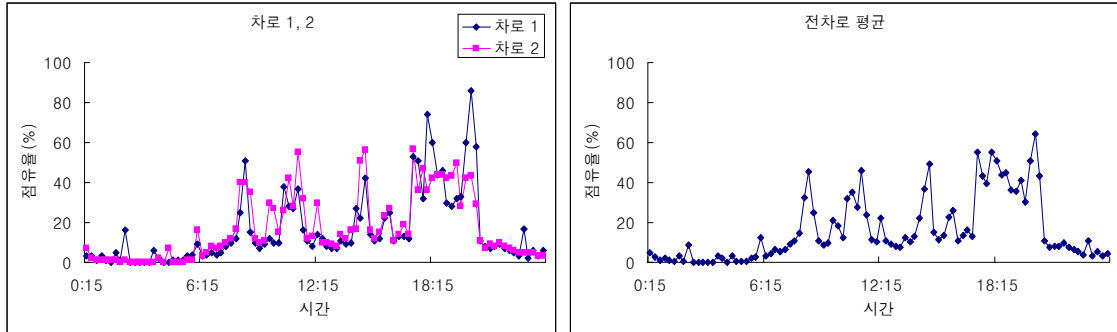


(b) 2일

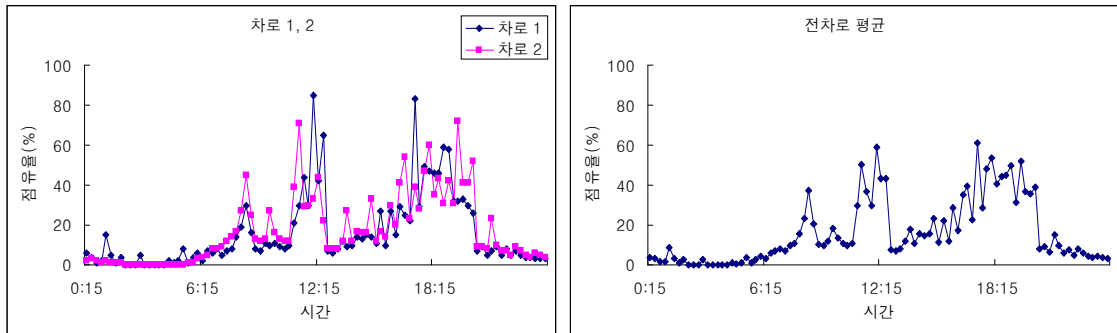


(c) 3일

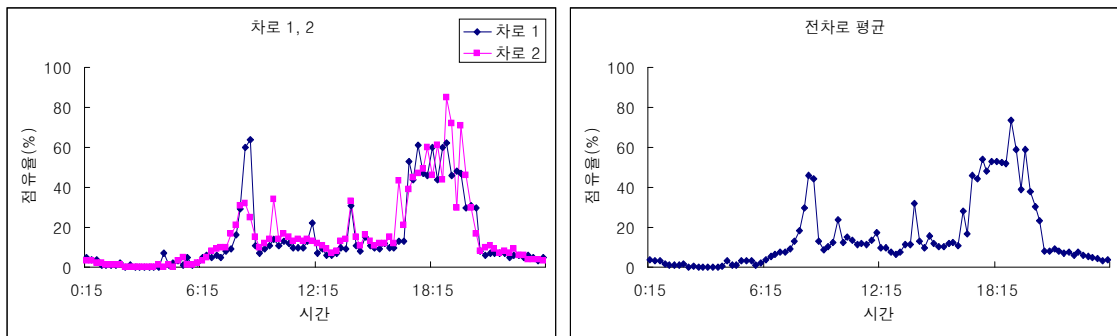
Fig. 4.10 Occupancy distribution per time period(area A)



(a) 1일

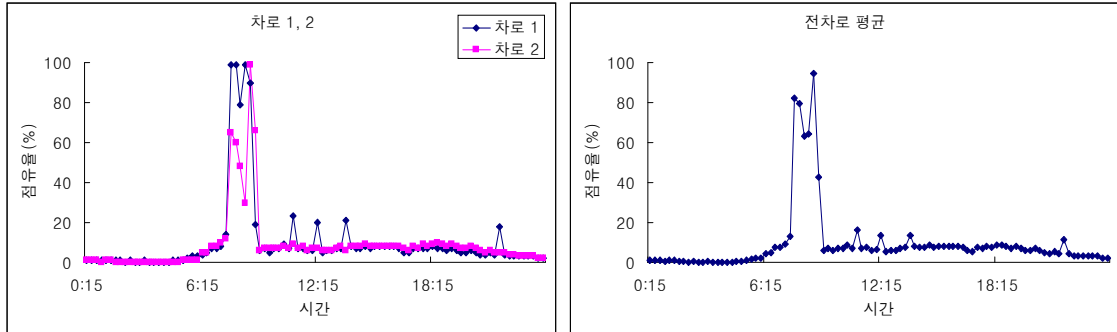


(b) 2일

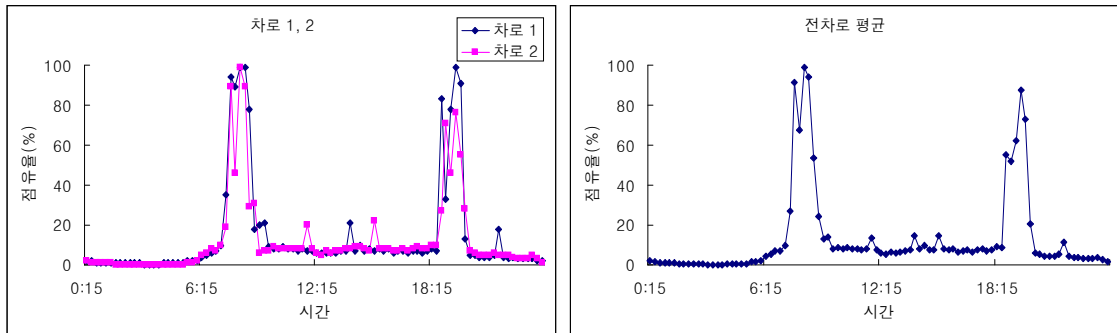


(c) 3일

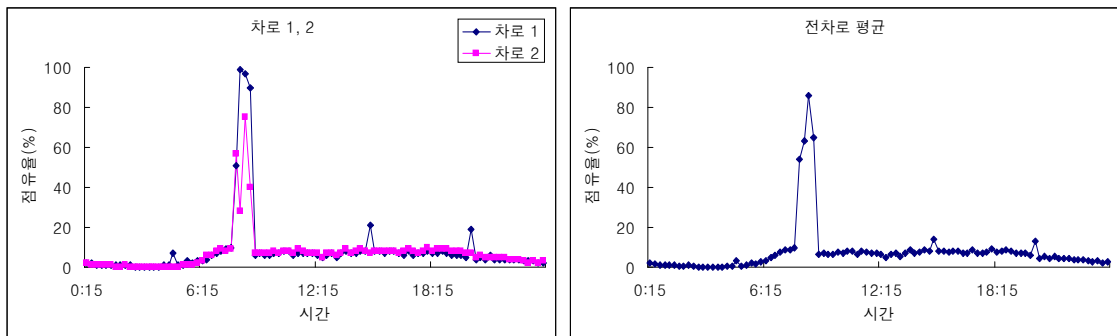
Fig. 4.11 Occupancy distribution per time period(area B)



(a) 1일

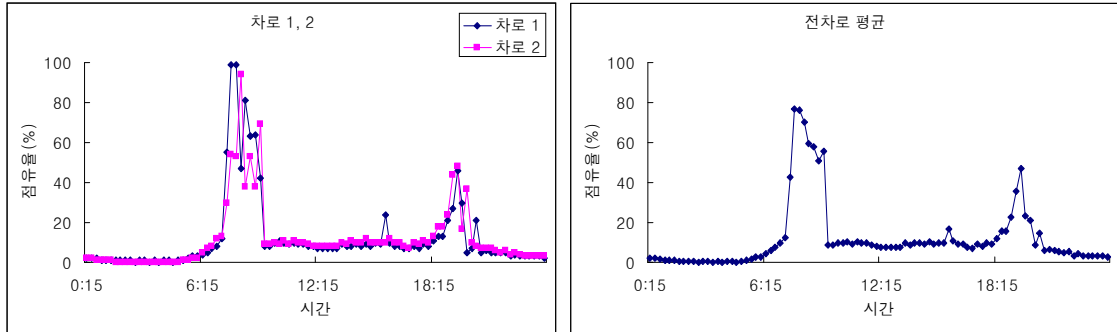


(b) 2일

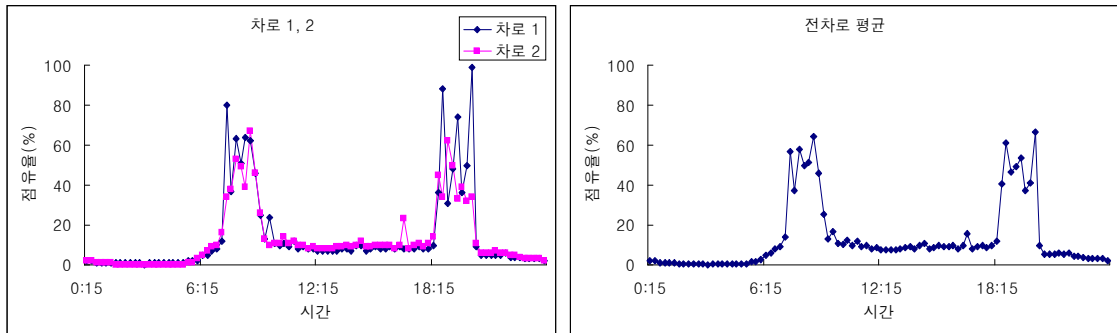


(c) 3일

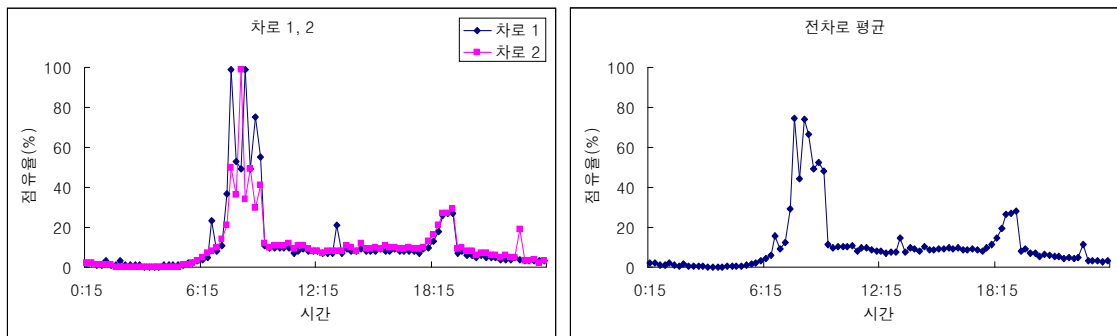
Fig. 4.12 Occupancy distribution per time period(area C)



(a) 1일



(b) 2일



(c) 3일

Fig. 4.13 Occupancy distribution per time period(area D)

4.2 상호관계

4.2.1 교통류율과 속도

조사대상 지점의 교통류율과 속도의 상호관계를 파악하기 위해서 시간대별 상호관계도와 산점시간궤적도(scatter time tracking plot)를 살펴보았다(참조 Fig. 4.14~4.17). 시간별로 교통류율에 중첩된 속도의 변화양상을 통해 교통류율의 특성을 파악할 수 있었다. 특히, 비정체류 영역에서는 교통류율이 교통수요를 의미하나 속도가 저하된 정체영역에서는 교통수요가 용량을 초과하여 오히려 그 교통류율이 저하되는 현상을 보였다. 그러나 단순히 교통류율의 자료만으로는 교통수요가 도로의 용량을 초과하는 경우를 확인할 수 없었으며 교통류율과 속도의 시간궤적도나 상호관계도를 통해서 확인할 수 있었다. 비정체상태와 그 외의 상태를 구분하는 기준은 기본적으로 속도나 점유율을 통해서 가능하나 본 연구에서는 교통류율과 속도의 상호관계를 이용하여 속도를 기준으로 그 경계를 구분하였다.

본 연구에서는 현재 USHCM(2000)과 KHCM(2001)에서 채택된 교통류 이론인 3영역 모형을 전제로 용량상태의 속도로서 비정체영역과 대기행렬 풀림영역을 구분짓는 속도인 임계속도를 교통류율과 속도의 시간별 추이분석을 통해 결정하였다. 먼저 15분 단위의 교통류율과 속도의 산점도에 대한 시간별 추이를 보면, 비정체류(uncongested flow)에서 정체류로 전이가 빠르게 이루어져 그 속도가 현저히 낮아지는 것을 관찰할 수 있었다(참조 Fig. 4.14~4.17). 이는 용량경계에서의 교통류 지속상태가 15분으로 설정된 단위시간보다 상대적으로 더 짧은 시간 안에 정체상태로 전이되어 나타나는 현상이었다. 따라서 높은 교통류율을 유지하면서 속도가 바로 직전의 속도와 크게 차이를 보이지 않는 상태에 있는 산점 데이터의 최저속도(最低速度)를 임계속도로 설정하여 이 속도보다 높은 교통류를 비정체류로 구분하였다. 이와 같이 결정된 임계속도는 지점 B(대연)가 46kph로 가장 낮았으며, 반면 이 속도가 가장 높은 지점 C(원동)는 59kph로서 지점 사이의 임계속도가 크게 차이나는 것을 확인할 수 있었다(참조 Table 4.6).

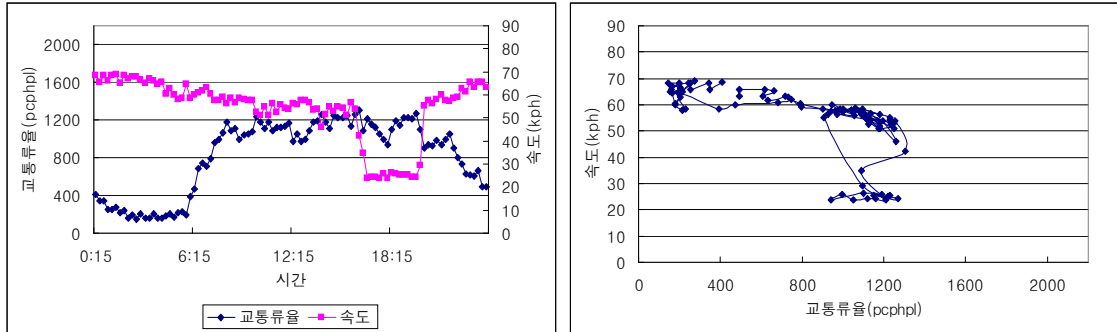
Table 4.6 Critical speed per area

구분	지점 A	지점 B	지점 C	지점 D
임계속도(kph)	49	46	59	58

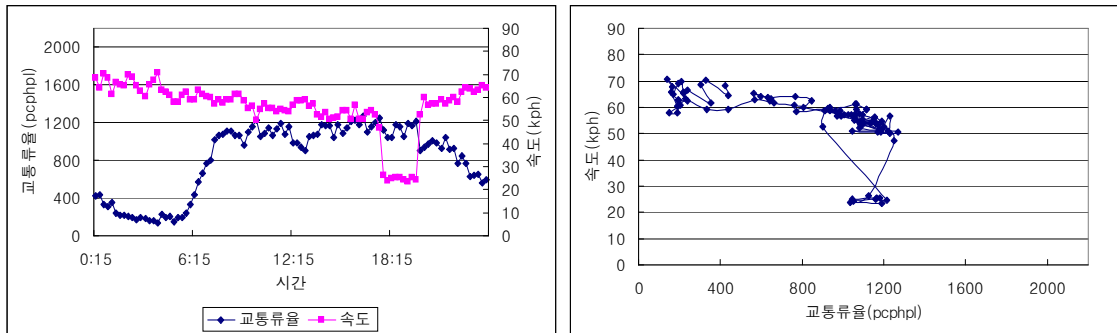
정체영역과 대기행렬 폴립영역에서의 교통류율에 대한 특성을 살펴보기 위하여 임계속도 이하의 각 지점별 교통류율을 살펴보았다. 지점 A(문현)에서는 942pcphpl의 가장 낮은 교통류율을 보였으며, 지점 D(망미)는 1,340pcphpl의 가장 높은 교통류율을 보였다(참조 Table 4.7). 이러한 관측된 정체상태에서의 최저교통류율(minimum flow rate under congestion, F_{minc})을 최대교통류율과 대비해 보면 약 60% 이상을 상회하고 있었다. 따라서 대기행렬 내 영역 즉 정체영역에서의 교통류율은 용량의 50% 이하로 떨어지지 않는다는 Hall 등(1992)의 연구결과를 확인할 수 있었다.

Table 4.7 Maximum vs minimum flow rate under congestion per area

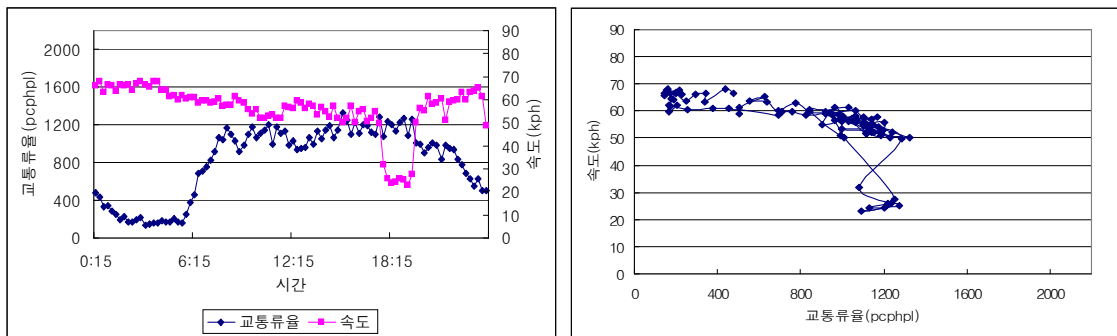
구분	지점 A	지점 B	지점 C	지점 D
F_{max}	1,324	1,571	1,577	1,923
F_{minc}	942	1,187	975	1,340
$F_{max}/F_{minc}(\%)$	71.1	75.6	61.8	69.7



(a) 1일

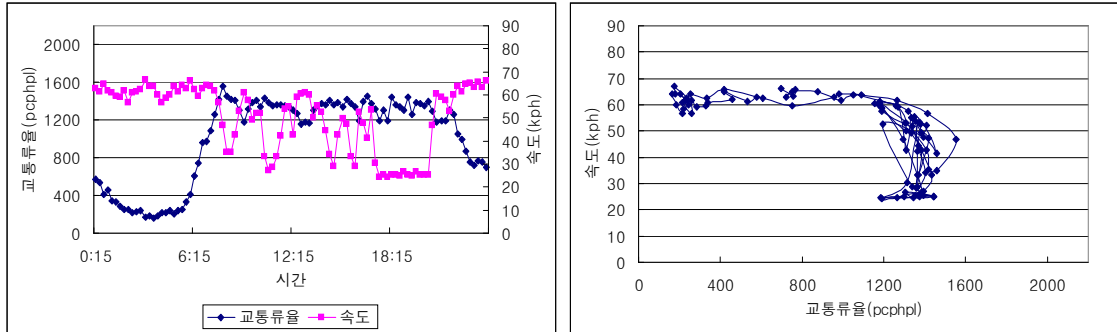


(b) 2일

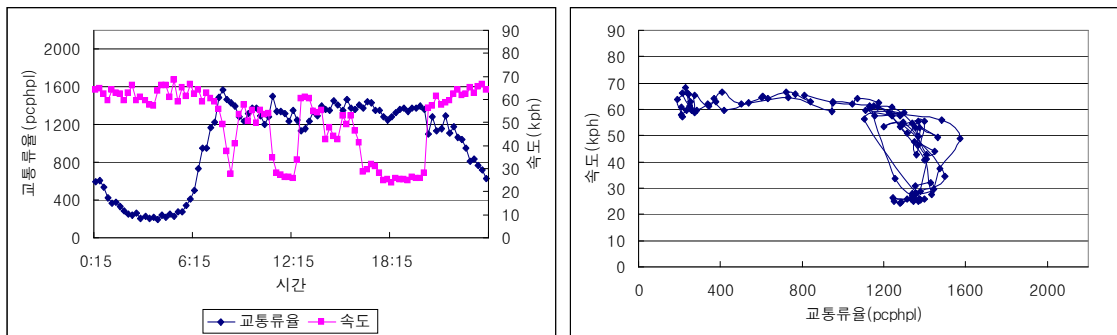


(c) 3일

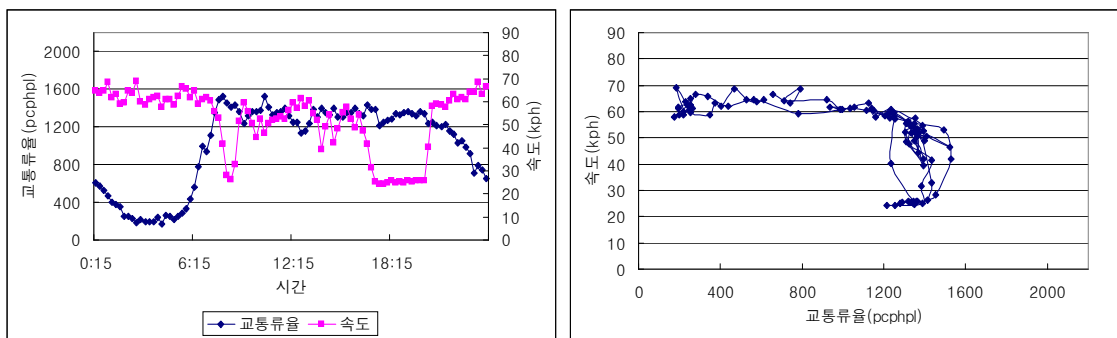
Fig. 4.14 Flow rate–speed per time period and scatter plot(area A)



(a) 1일

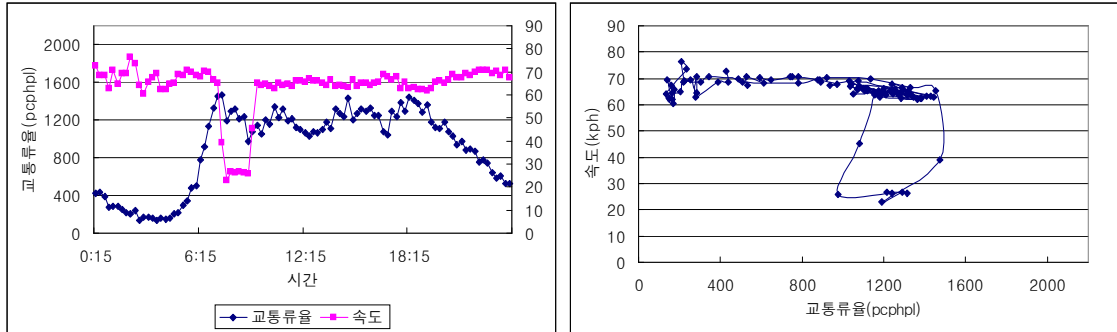


(b) 2일

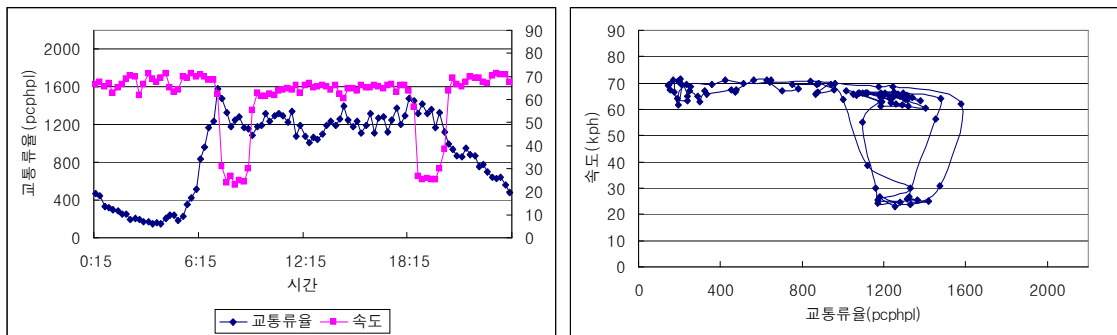


(c) 3일

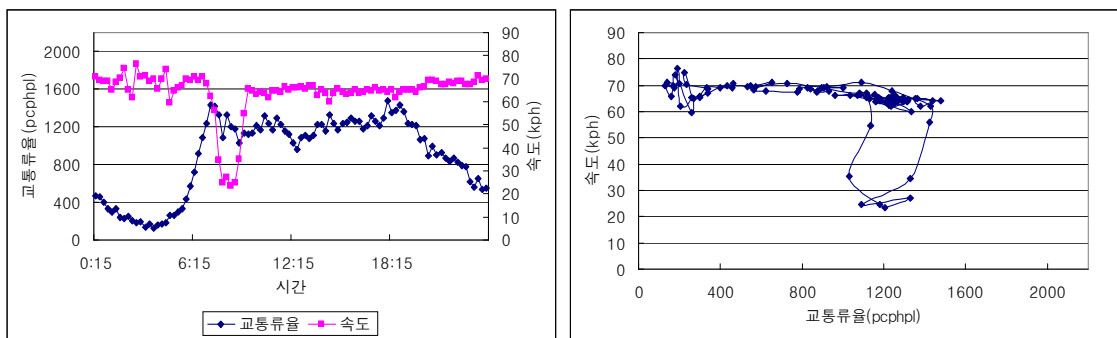
Fig. 4.15 Flow rate–speed per time period and scatter plot(area B)



(a) 1일

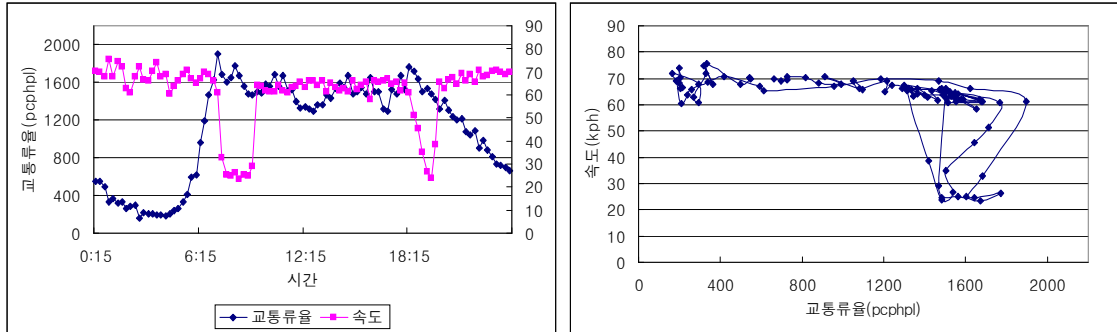


(b) 2일

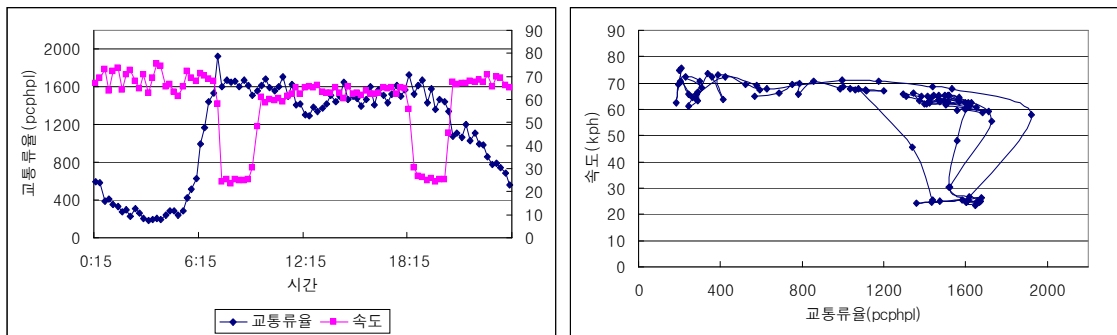


(c) 3일

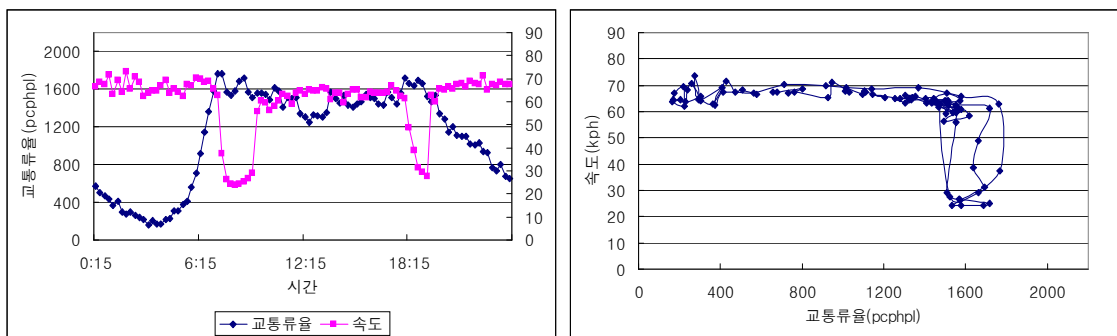
Fig. 4.16 Flow rate-speed per time period and scatter plot(area C)



(a) 1일



(b) 2일



(c) 3일

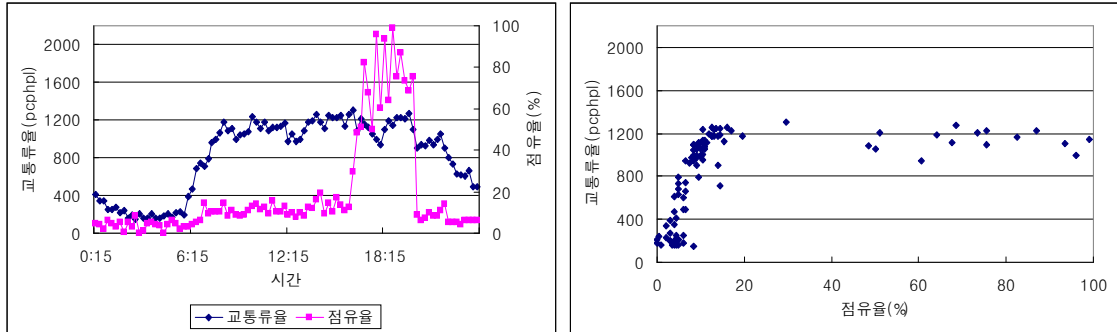
Fig. 4.17 Flow rate-speed per time period and scatter plot(area D)

4.2.2 교통류율과 점유율

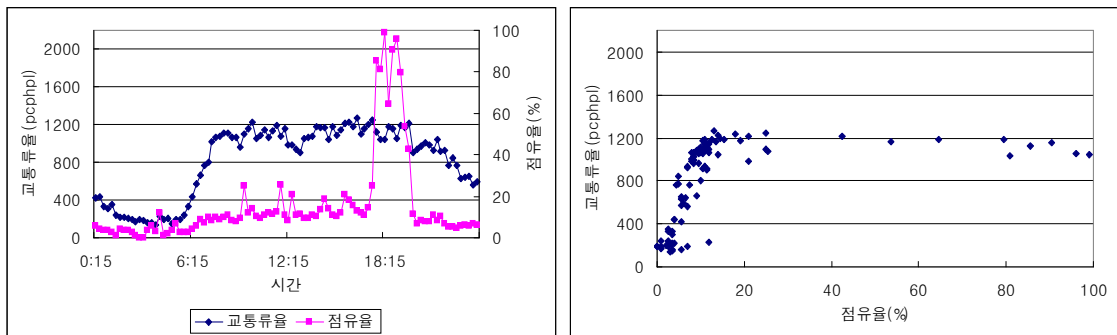
본 연구대상 지점들의 교통류율과 점유율의 상호관계를 파악하기 위해서 산점도(scatter plot)와 시간대별 상호관계도를 살펴보았다. 교통류율과 점유율의 관계는 점유율이 약 20%까지 증가하는 동안 매우 높은 상관관계를 보였으나 이 후로는 교통류율과의 상관정도가 상당히 낮은 것으로 관찰되었다(참조 Fig. 4.18~4.21). 교통류율과 점유율 사이의 직접적인 선형관계에 대한 상관성의 측도로 Pearson의 단순상관계수(simple correlation coefficient)를 구하여 두 교통변수 사이의 상관분석을 실시한 결과는 Table 4.8과 같았다. 점유율이 20% 이하인 경우는 교통류율과 점유율의 상관계수가 모든 지점에서 약 0.84 이상으로 높은 양의 상관관계를 보였으나, 점유율이 20%를 초과하는 경우는 상호간의 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구대상에서 비정체류라 할 수 있는 점유율 20% 이하의 상태에서는 점유율의 증가가 교통류율의 증가를 반영하는 결과라고 할 수 있겠으나, 점유율이 20%를 초과하는 교통상태에서는 점유율로 교통류율의 변화를 제대로 설명할 수 없었다.

Table 4.8 Correlation coefficient between flow rate and occupancy

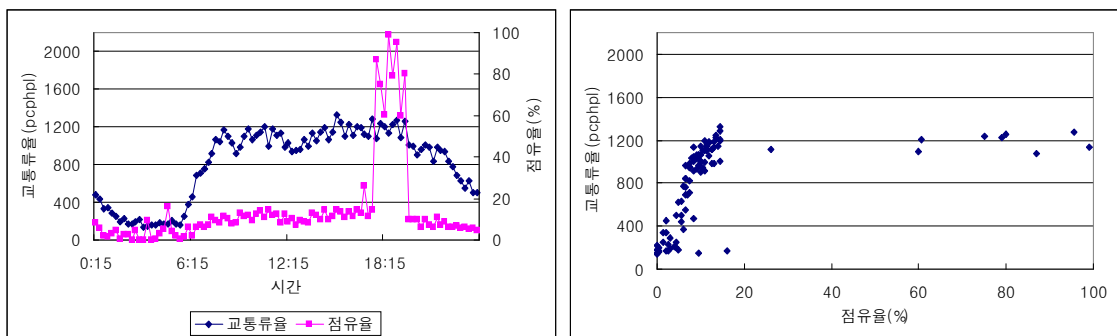
구분		지점 A	지점 B	지점 C	지점 D
점유율(%)	<20	0.841	0.899	0.898	0.993
	≥20	-0.056	-0.360	0.003	0.295



(a) 1일

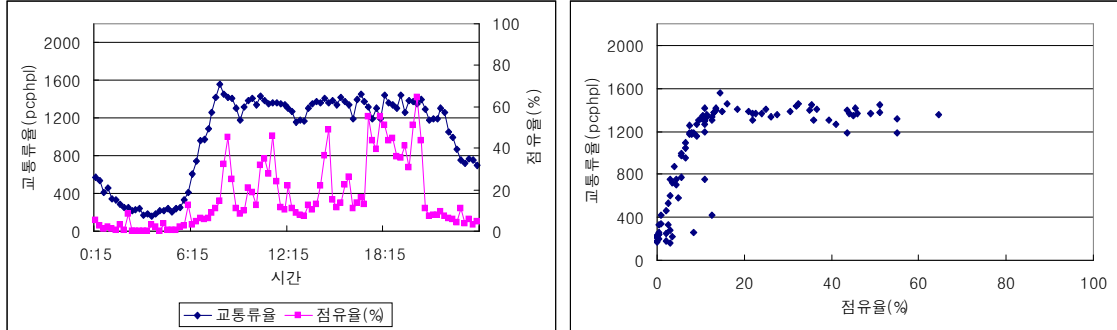


(b) 2일

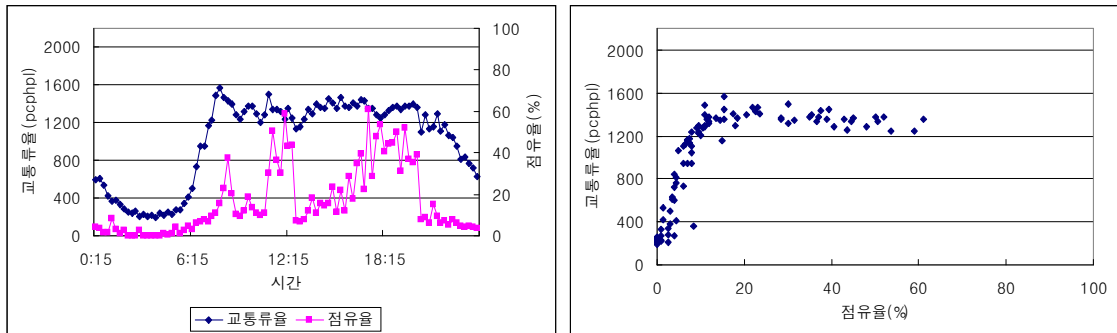


(c) 3일

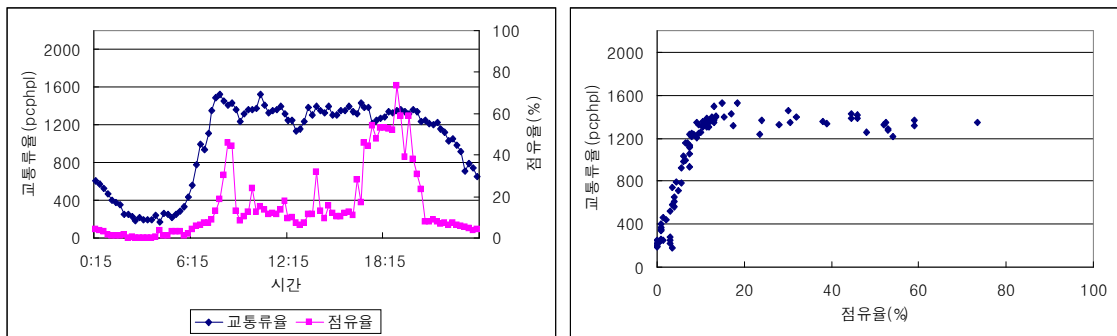
Fig. 4.18 Flow rate-occupancy per time period and scatter plot(area A)



(a) 1일

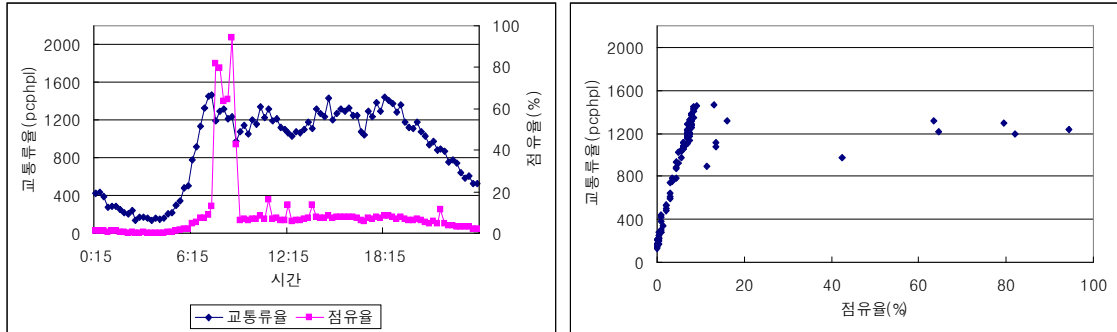


(b) 2일

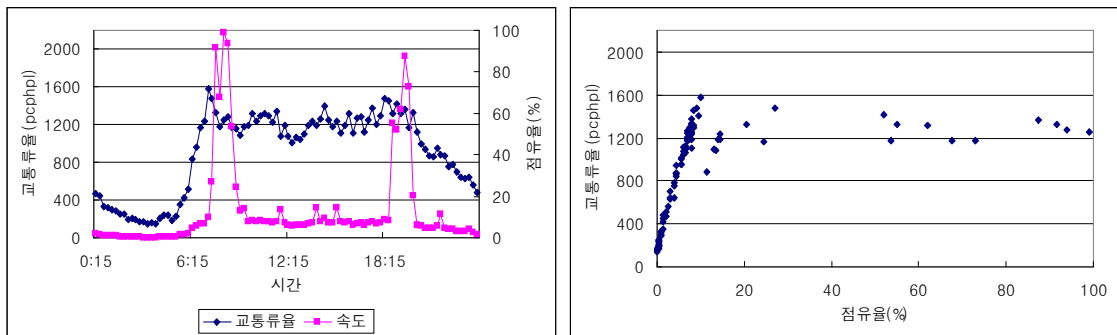


(c) 3일

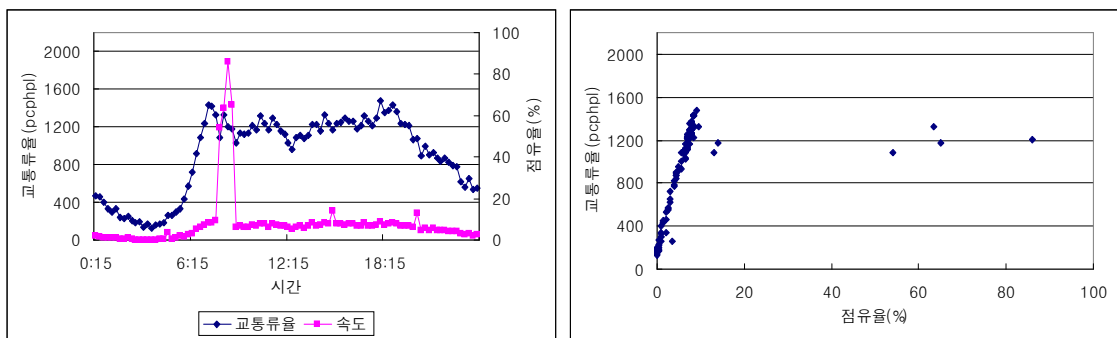
Fig. 4.19 Flow rate-occupancy per time period and scatter plot(area B)



(a) 1일

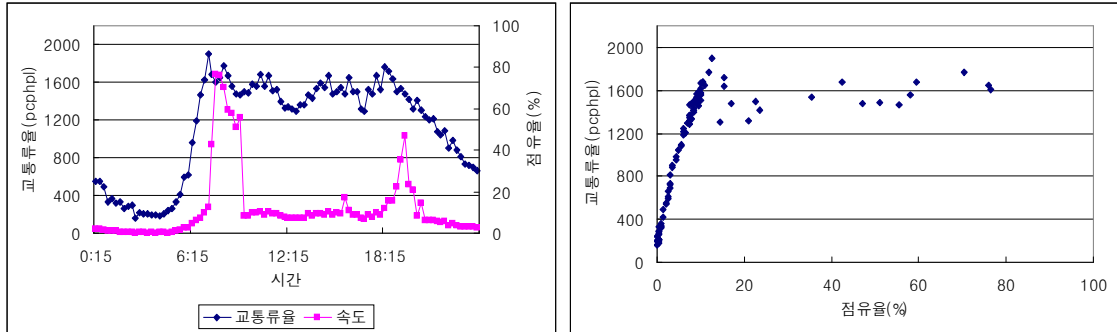


(b) 2일

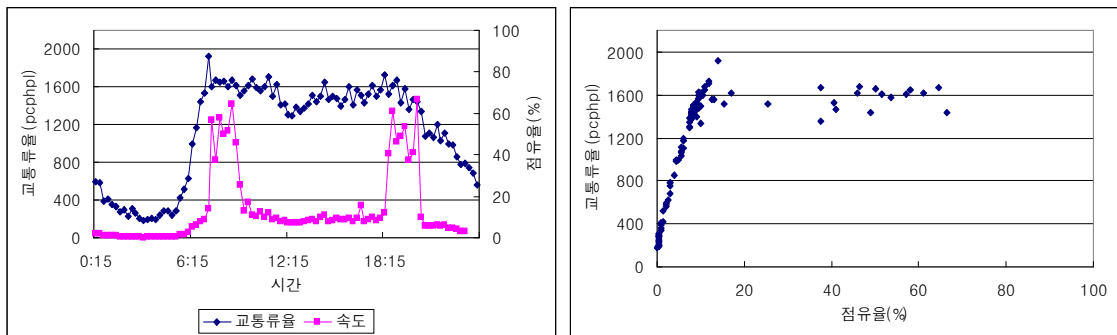


(c) 3일

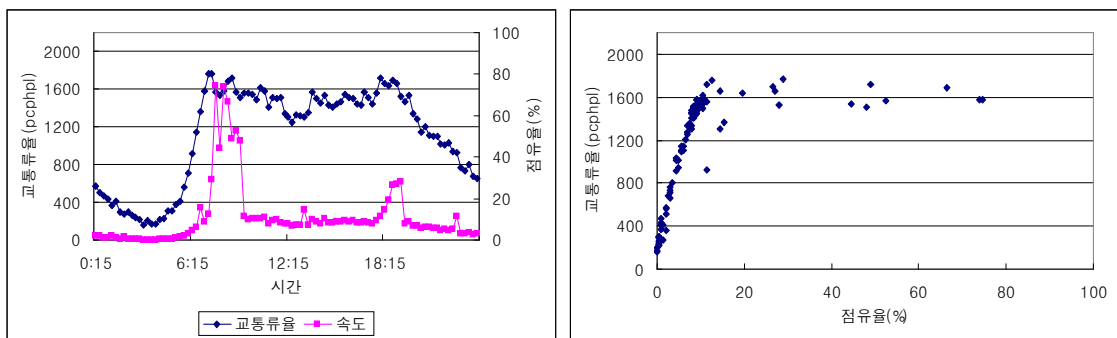
Fig. 4.20 Flow rate–occupancy per time period and scatter plot(area C)



(a) 1일



(b) 2일



(c) 3일

Fig. 4.21 Flow rate–occupancy per time period and scatter plot(area D)

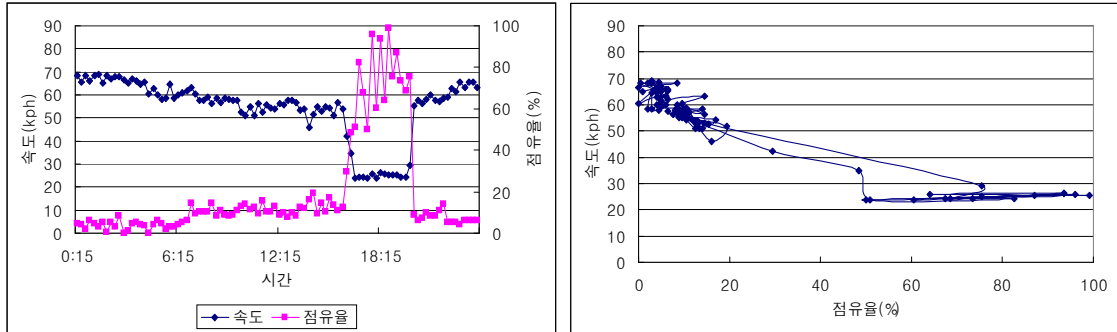
4.2.3 속도와 점유율

본 연구대상 지점의 속도와 점유율의 상호관계를 파악하기 위해서 시간대별 상호관계도와 산점시간계적도를 살펴보았다. 특히, Fig. 4.22에서부터 Fig. 4.25에서 보여 주듯이 모든 지점에서 점유율이 약 10~20% 부터 통행속도가 급격히 떨어지고, 약 30~40% 부터는 속도가 낮게 형성되었지만, 대체적으로 약 20~30kph의 약 10kph 속도구간에서 지속되는 것을 속도와 점유율의 시간계적의 산점도를 통해 관찰할 수 있었다. 또한 점유율은 속도와 거의 상호 역반응(逆反應)하는 특성을 보였다. 이와 같은 특성은 도시고속도로 합류부에서 교통량의 증가로 차간간격(space)이 작아지고 운전자의 차로변경 등이 어려워지는 차량소통의 제약을 점유율이 잘 표현해 주고 있었다.

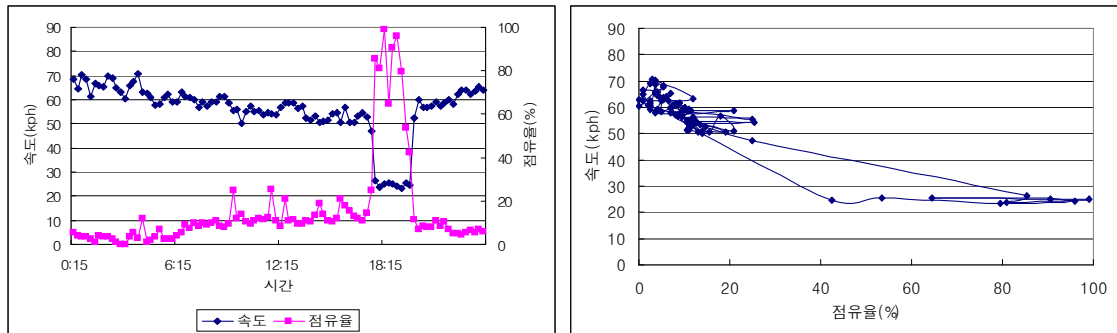
한편 속도와 점유율은 모든 지점에서 약 -0.91이상으로 높은 음의 상관관계를 보였으며, Table 4.9에서 보여주듯이 지점 A에서는 -0.96로서 가장 높은 음의 상관계수 값을 보여 점유율이 속도의 변동을 잘 설명할 수 있었다. 따라서 교통정체가 발생할 때 정체류의 속도를 다른 교통특성변수로 추정할 경우, 점유율이 중요한 속도 추정변수로서 고려될 수 있음을 확인할 수 있었다.

Table 4.9 Correlation coefficient between speed and occupancy

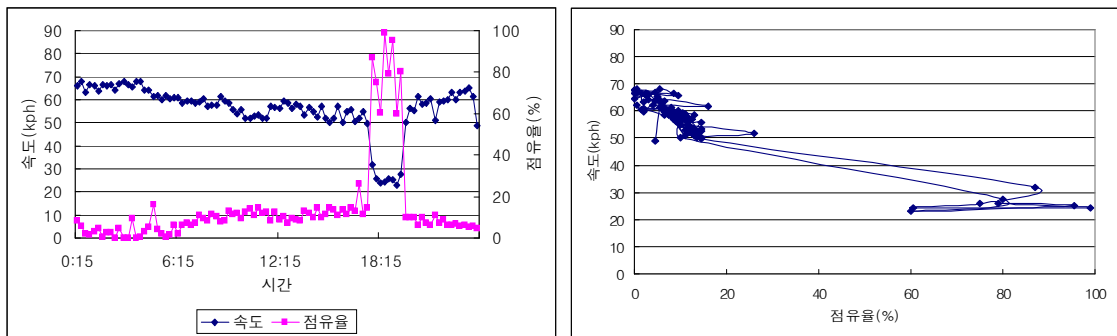
구분	상관계수(r)
지점 A	-0.96
지점 B	-0.95
지점 C	-0.91
지점 D	-0.94



(a) 1일

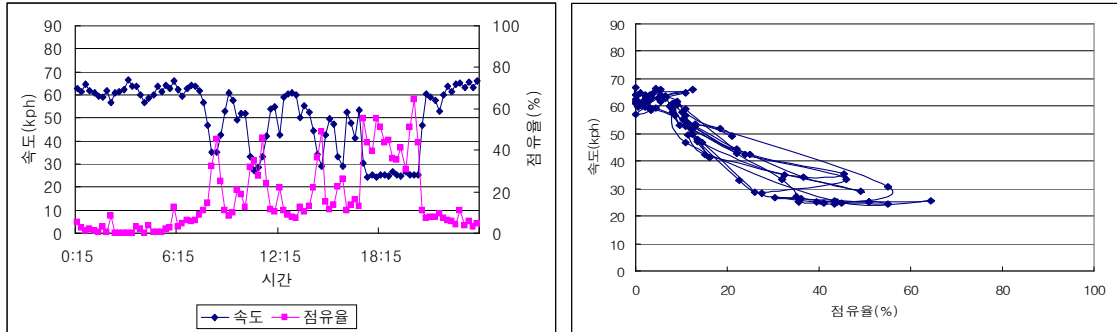


(b) 2일

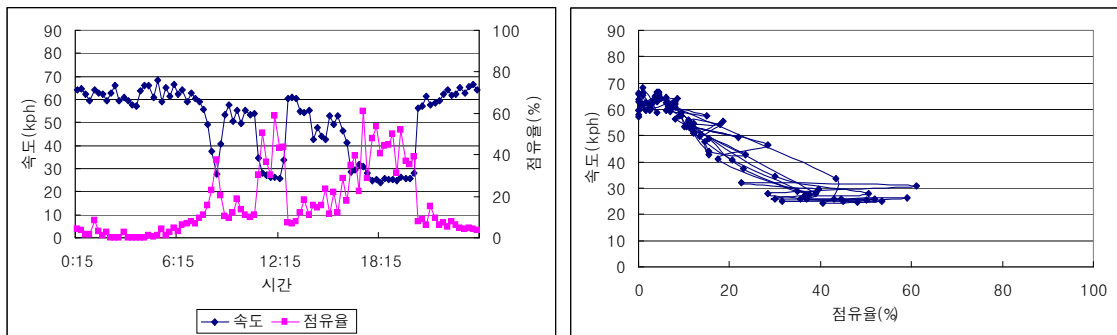


(c) 3일

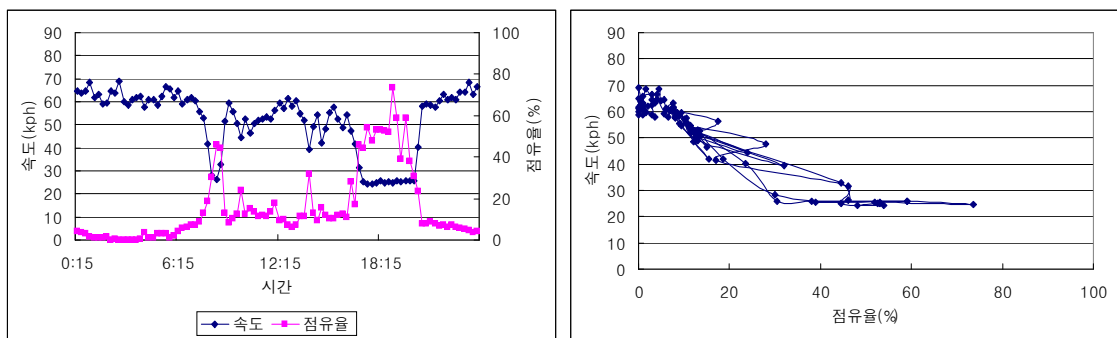
Fig. 4.22 Speed-occupancy per time period and scatter plot(area A)



(a) 1일

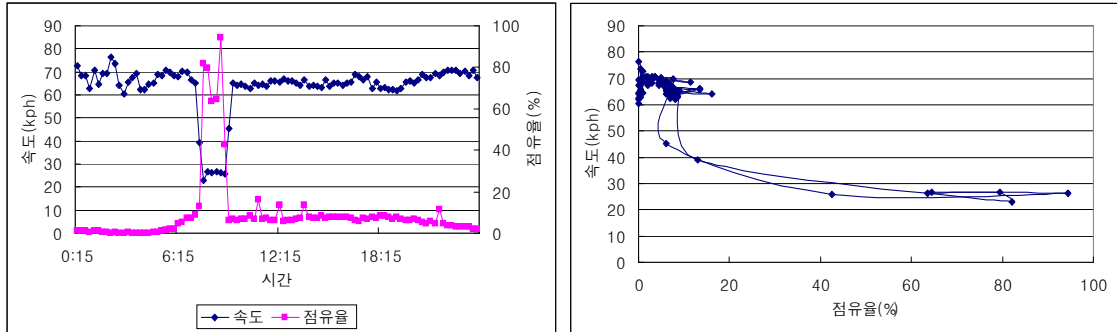


(b) 2일

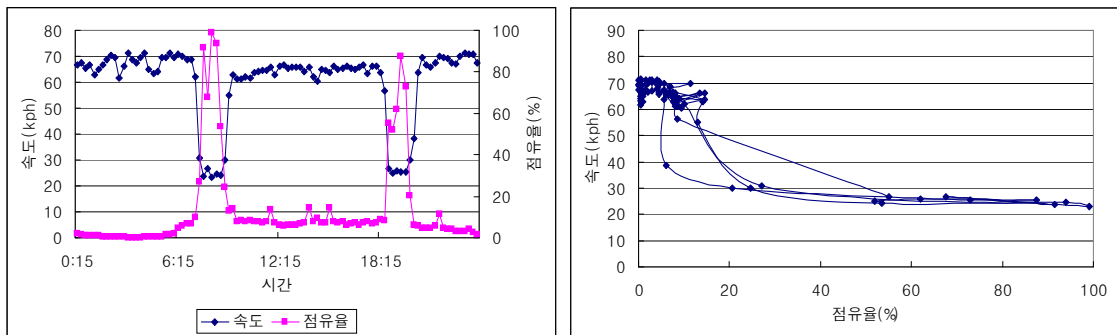


(c) 3일

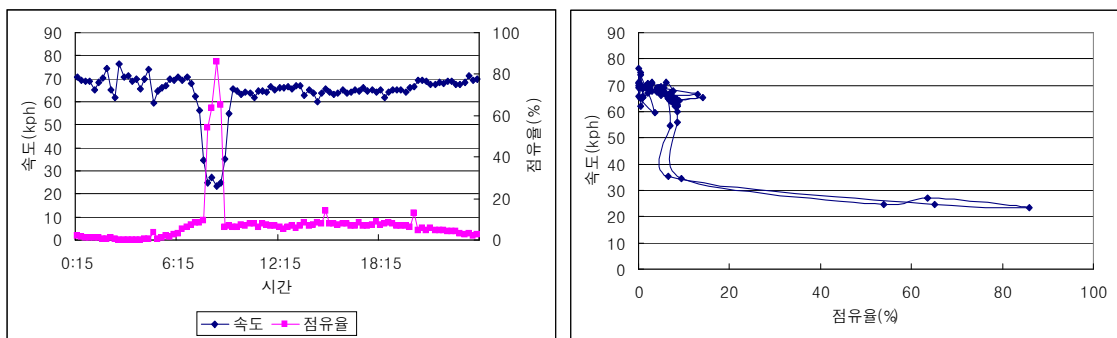
Fig. 4.23 Speed-occupancy per time period and scatter plot(area B)



(a) 1일

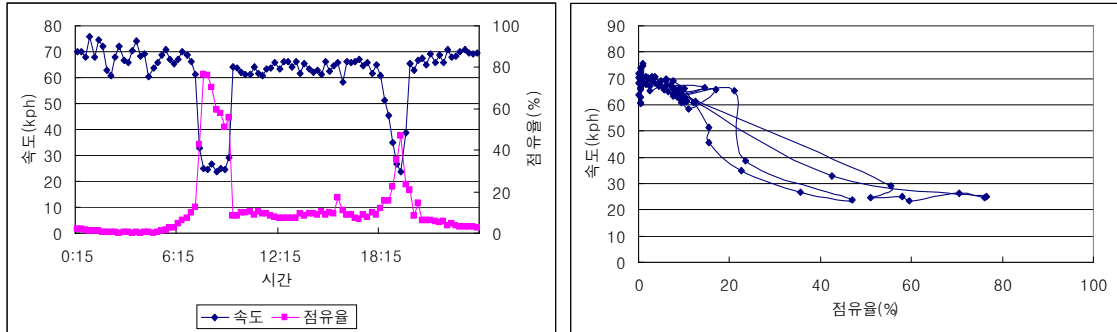


(b) 2일

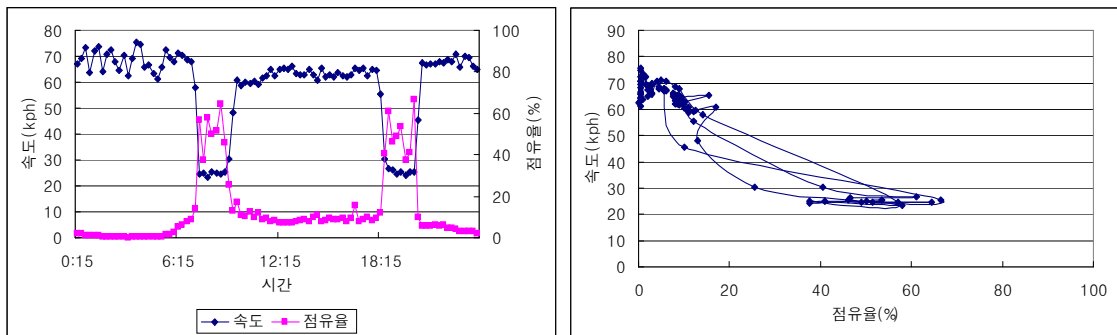


(c) 3일

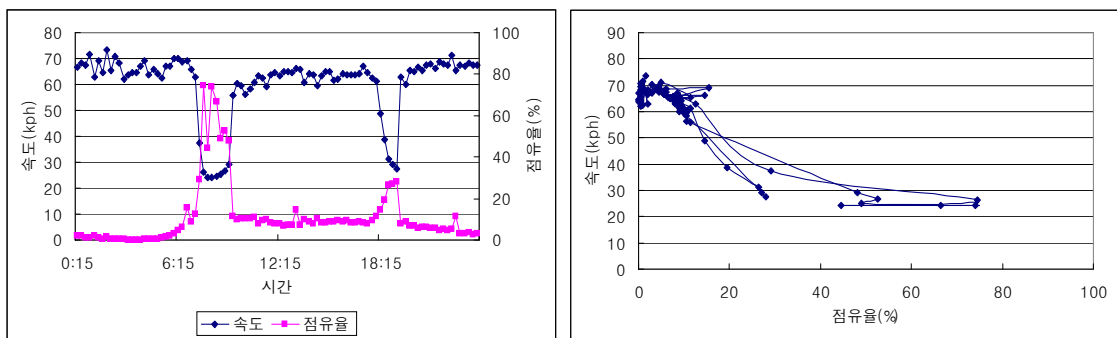
Fig. 4.24 Speed-occupancy per time period and scatter plot(area C)



(a) 1일



(b) 2일



(c) 3일

Fig. 4.25 Speed-occupancy per time period and scatter plot(area D)

4.2.4 교통류율, 속도, 점유율의 3차원 관계

교통특성변수(교통류율, 속도, 점유율)의 상호관계를 동시에 3차원적으로 연구하는 방법은 교통특성을 이해하는 데 중요한 관점으로 대두되고 있다. 교통특성변수 사이의 관계에서 하나의 교통특성변수만이 갑작스런 불연속적 변화를 보이며, 다른 교통특성변수들은 완만하고 연속적인 변화를 보일 경우에 이 특성변수들의 관계에 대한 해석능력을 가진 카타스트로피 이론(catastrophe theory)이 교통류의 분석에 적용되어 속도와 교통류율에 관한 점유율의 비선형 급변화가 연구되기도 하였다. 그러나 최근에는 이러한 교통류 관계의 단절이 교통류 상태변화의 불연속에 의한 것이 아니라 교통류 상태가 지속되는 시간이 짧아 상대적으로 긴 단위시간의 자료가 이를 충분하게 나타내지 못해서 발생하는 현상으로 해석되었다.

본 연구에서는 세 교통특성변수들 사이의 관계를 동시에 나타내려고 3차원의 산점도를 이용하였고, 각 특성변수 사이의 관계를 알려주는 산점도 행렬을 그려보았다. 이를 관찰한 결과로 속도와 교통류율에 대한 점유율의 급격한 변화(catastrophic jump)가 3차원 산점도나 산점도 행렬에서 뚜렷하게 나타나지 않았다. 오히려 모든 지점에서 점유율이 속도와 전체적으로 연속적인 음의 선형관계를 보이고 있었다. 또한 속도가 높은 영역에서는 교통류율이 넓은 범위에 걸쳐 낮은 점유율을 형성하였으며, 점유율의 증가와 함께 교통류율이 약간 감소하였고 반면 속도는 크게 떨어지는 현상을 확인할 수 있었다(참조 Fig. 4.25~4.28).

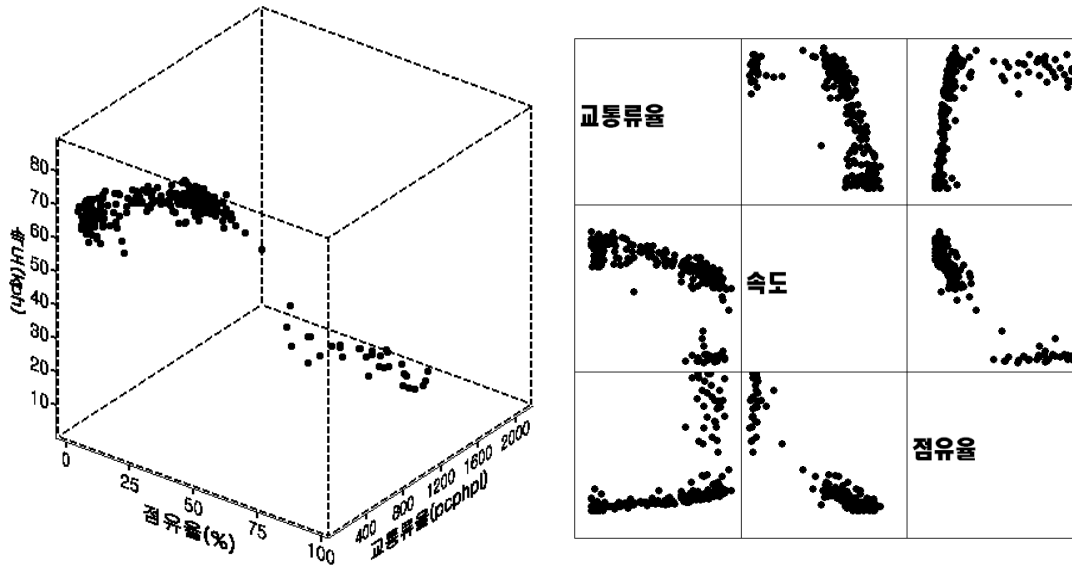


Fig. 4.26 3-dimensional speed-occupancy-flow rate and scatter-plot matrices(area A)

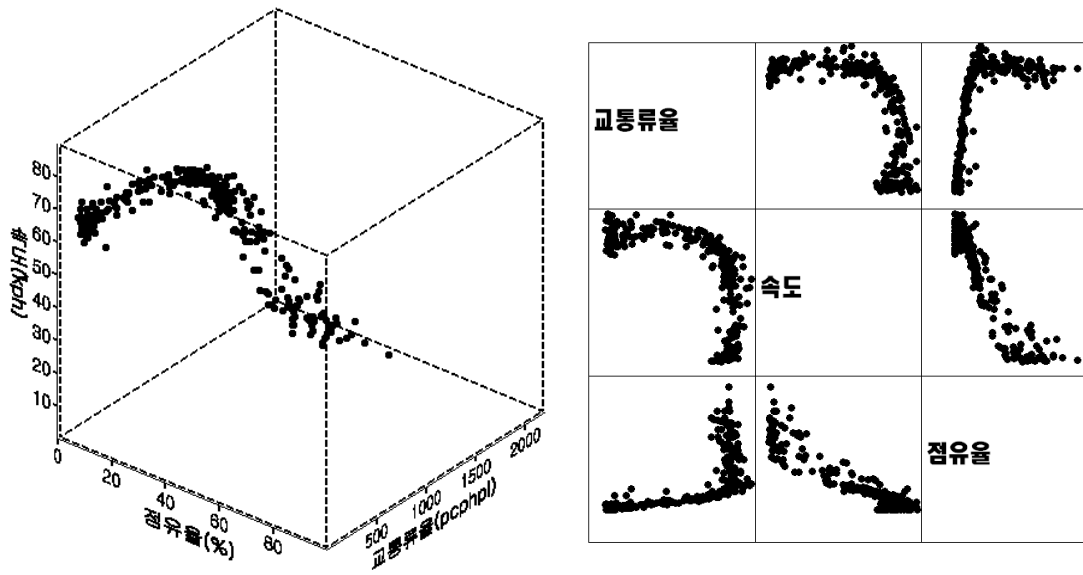


Fig. 4.27 3-dimensional speed-occupancy-flow rate and scatter-plot matrices(area B)

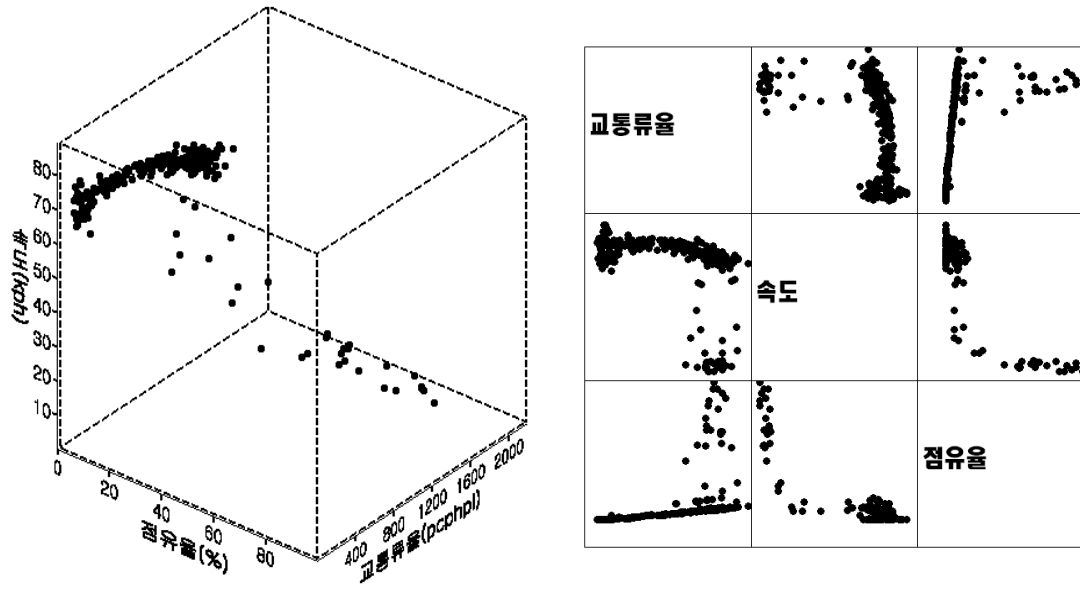


Fig. 4.28 3-dimensional speed-occupancy-flow rate and scatter-plot matrices(area C)

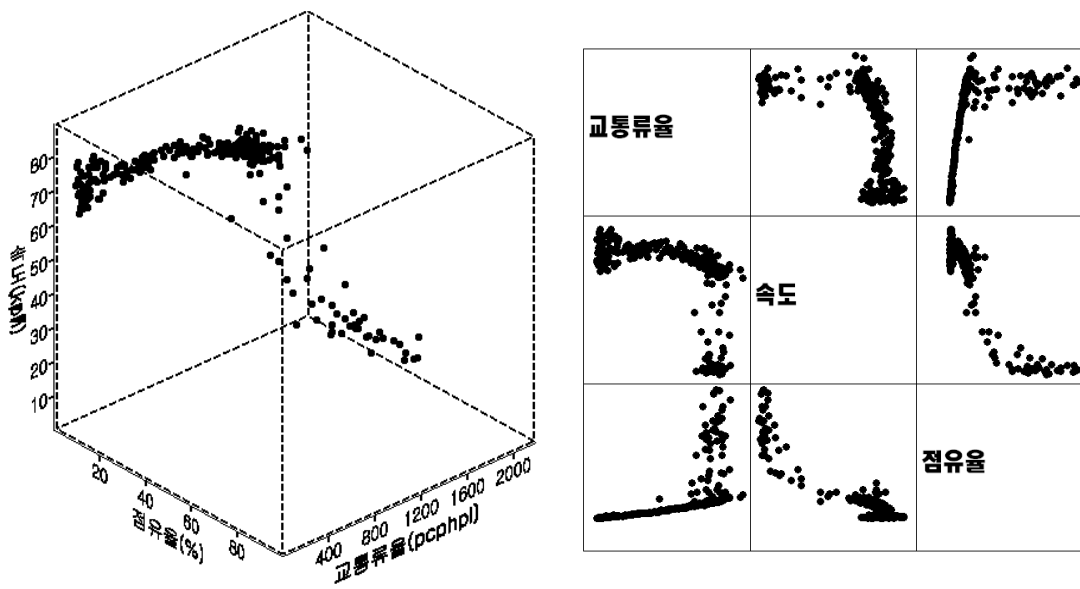


Fig. 4.29 3-dimensional speed-occupancy-flow rate and scatter-plot matrices(area D)

4.3 용량 산정

본 연구에서는 도시고속도로 합류부의 용량을 산정하기 위해 설정된 임계속도를 기준으로 시간별 교통류율의 변동추이를 비교 분석하였다. 교통특성분석을 통해 다음과 같은 사실을 확인할 수 있었다. 첫째, 합류부의 용량보다 적은 교통수요가 발생하는 시간에는 교통류율이 비정체류의 상태에 속하며 그 통행속도가 임계속도보다 높게 나타났다. 둘째, 일단 교통수요가 용량을 초과하면 짧은 시간동안에 교통류율의 감소와 동시에 속도가 임계속도 아래로 급격히 떨어졌다. 셋째, 비정체류 상태에서 정체류 상태로 전이되기 직전의 시간대에 최대교통류율에 도달하였다.

따라서 교통류율과 속도의 상호관계를 통해 설정된 임계속도를 Fig. 4.29에서와 같이 비정체류의 속도하한(速度下限)으로 결정한 후에, 시간별 교통류율이 임계속도보다 높은 상태에서 임계속도보다 낮은 상태로 전이되기 직전 두 교통류율을 집계하여 이들의 제85백분위수에 해당하는 값을 합류부의 용량으로 결정하였다. 그리고 용량은 50 단위로 조정하여 제시하였다(참조 Table 4.10).

조사대상 합류부에 대한 용량산정의 결과, 지점 A(문현)는 1,300pcphpl로서 가장 낮은 용량을 보였으며 지점 D(망미)는 1,850pcphpl로 가장 높은 용량을 보였다. 지점 A(문현)가 최소의 용량을 보이는 것은 가속차로의 길이가 설계기준보다 짧고 전방에 설치된 터널의 영향을 어느 정도 받는 것으로 판단되었다. 또한 용량과 임계속도 사이의 관련성은 발견되지 않았다(참조 Table 4.10, Fig. 4.30). 그 이유로서는 본 연구의 조사지점들이 합류부 영향권 안에 터널이나 인접한 연결로 접속부 등으로 인해 이상적인 교통조건을 갖추지 못했기 때문으로 판단되었다. 따라서 연결로 접속부의 용량을 산정할 경우에 연결로 접속부의 용량은 본선의 자유속도에 따라 변한다는 KHCM(2001)의 내용을 실제 적용하기 위해서 현장의 교통여건을 충분히 고려해야 함을 알 수 있었다.

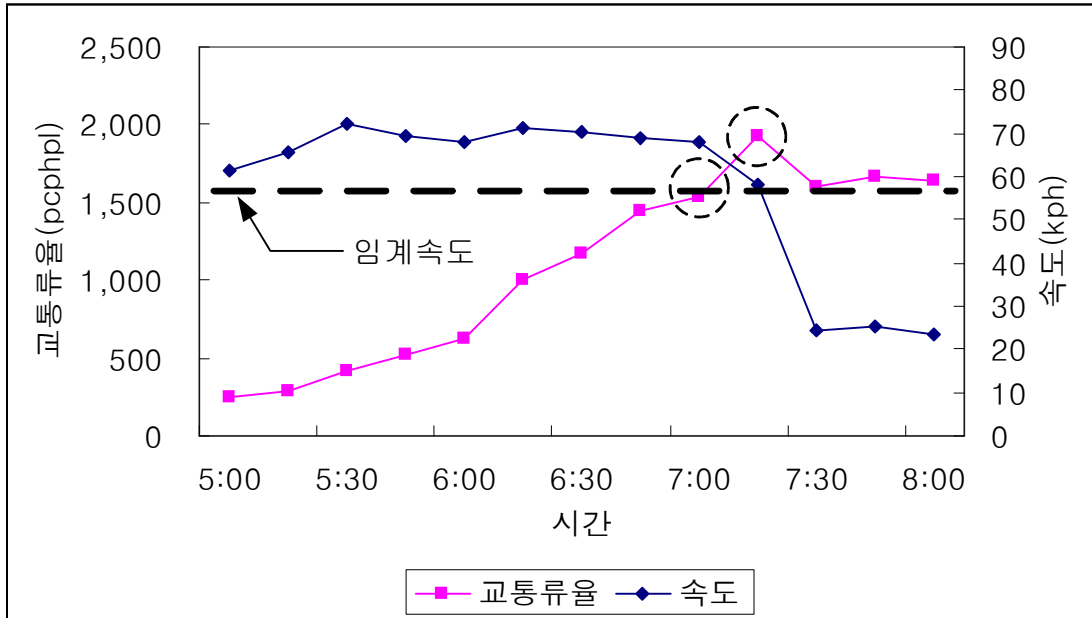


Fig. 4.30 Concept diagram for capacity calculation

Table 4.10 Maximum flow rate, critical speed and capacity per area

구분	지점 A	지점 B	지점 C	지점 D
최대교통류율(pcphpl)	1,324	1,571	1,577	1,923
임계속도(kph)	49	46	59	58
용량(pcphpl)	1,300	1,500	1,550	1,850

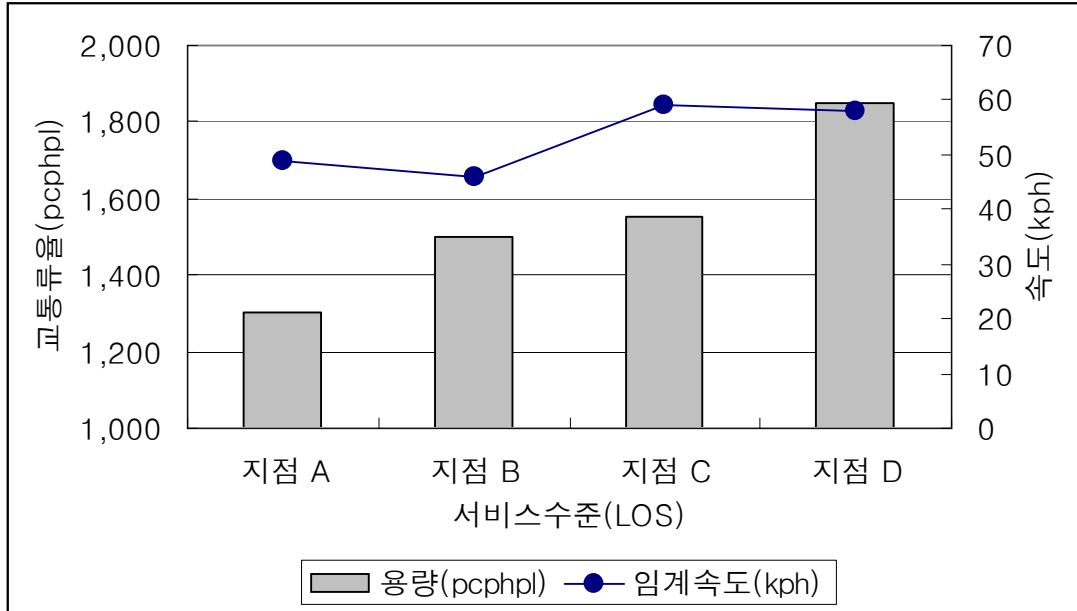


Fig. 4.31 Critical speed and capacity per area

제 5 장 서비스수준의 확장 및 보고체계

5.1 효과척도

도시고속도로 연결로 접속부의 소통상태를 표현하기 위해서는 객관적인 척도 즉, 효과척도(Measure of Effectiveness, MOE)가 필요하다. 도시고속도로 연결로 접속부에 대한 기존의 효과척도로는 평균통행속도나 교통류율 또는 영향권(influence area)내의 밀도 등이 사용되었다. 효과척도를 선택할 때는 그 중요성과 자료수집의 용이성을 고려해야 하는데, 효과척도의 중요성은 분석에 있어서의 필요성을 의미하며 자료수집의 용이성은 현장측정의 용이성을 의미하고, 또한 필요성이 큰 효과척도라 할지라도 측정하기 위해서 막대한 비용이나 시간이 들면 채택되기 어렵다. 따라서 이러한 중요성과 용이성을 고려하여 효과척도를 선택해야한다.

현재 국내 도로용량편람(2001)에서는 연결로 접속부의 서비스수준을 평가하기 위한 효과척도로서 영향권의 밀도가 사용된다. 밀도는 현실적으로 관측하기가 어렵기 때문에 교통량과 변속차로의 길이를 독립변수로 하는 추정 회귀모형(regression models)을 통해 간접적으로 예측되어 적용되고 있다. 그러나 교통정체에 대한 효과척도로서 밀도 추정모형 적용의 문제점은 수요 교통류율(demand flow rate)이 용량을 초과하는 경우에는 제시되지 않고, 직접적인 측정도 용이하지 않아 관측지점의 교통특성에 따른 그 유효성을 검증하기가 어렵다는데 있다. 따라서 교통정체의 정도를 구분하는 척도로서 밀도를 사용하기 위해서는 상당한 연구와 분석이 선행되어야 하는 난점이 있다.

더구나 단일 척도로서 교통류율 또는 평균통행속도도 교통정체의 정도를 구분하기에는 적합하지 않다. 그 이유는 Fig. 5.3~5.6에서 보여주듯이 정체류 영역에서 속도 구간별 교통류율의 범위와 교통류율 구간별 속도의 범위가 각각의 구간에서 중첩되는 부분이 상당히 발생하기 때문이다. 여기에서 Fig. 5.3~5.6은 속도 구간별 교통류율의 범위와 교통류율 구간별 속도의 범위에 대한 상자그림(box-and-whisker plots)을 그린 것이다.

상자그림은 자료의 수를 4등분하는 3개의 사분위수인 제1사분위수, 제2사분위수, 제3사분위수와 자료의 범위를 결정하는 최소값과 최대값까지 모두 5개의 수를 이용하여 자료의 중심과 산포를 요약한 그림이다(참조 Fig. 5.1).

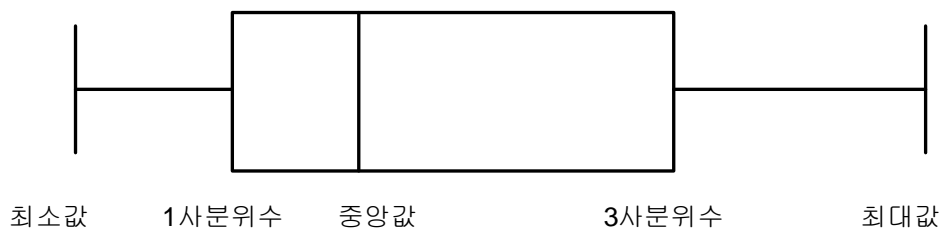
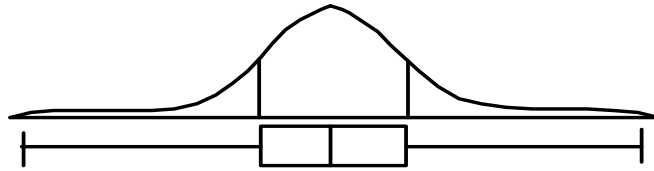


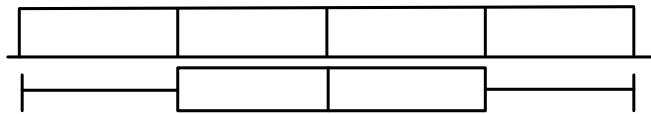
Fig. 5.1 Box-and-whisker plot

위의 상자그림에서 상자가 최소값과 최대값의 중간에 놓이면 좌우가 대칭인 분포가 되어 Fig. 5.2의 (a), (b), (c)에서 보여주듯이 상자가 모두 최소값과 최대값 중간에 있어 좌우가 대칭인 분포가 된다. Fig. 5.2 (a)에서는 상자의 폭이 가장 좁고, Fig. 5.2 (c)에서는 상자의 폭이 가장 넓다. 그런데 상자의 폭이 좁으면 정규분포에 가까운 분포를 나타내고, 비교적 넓으면 사각형 형태의 균등분포와 유사한 분포를 나타내며, 아주 넓으면 U형에 가까운 분포를 나타낸다. 특히, Fig. 5.2 (d)와 같이 제3사분위수와 최대값 사이의 거리가 제1사분위수와 최소값의 거리보다 짧으면 왼쪽에 꼬리를 가진 분포가 되며 중앙값은 제3사분위수에 가깝게 놓이게 된다. 반대로 Fig. 5.2 (e)와 같이 제3사분위수와 최대값 사이의 거리가 제1사분위수와 최소값 사이의 거리보다 길면 오른쪽에 꼬리를 가진 분포가 되어 중앙값은 제1사분위수에 가깝게 놓이게 된다.

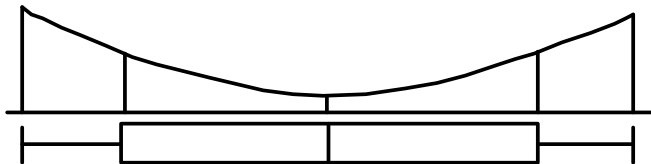
아래 상자그림 Fig. 5.3~5.6을 통해 모든 지점에서 속도와 교통류율이 각 일정 범위별로 명확하게 나뉘지지 않고 상당부분 중첩되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 효과척도로서 교통류율이나 속도를 단독으로 사용하면 정체상태의 정도별 명확한 구분을 할 수 없음을 시사한다. 그러므로 정체정도에 따라 각 상태별 명확한 경계를 가지는 측도(measurement)의 개발이 필요하다고 판단하였다.



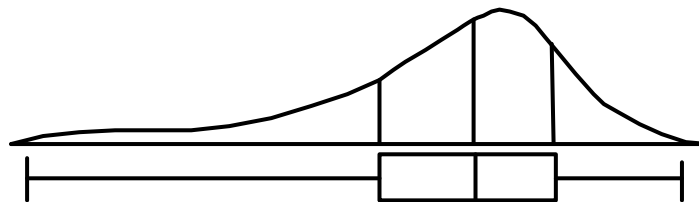
(a) 정규분포에 유사한 분포



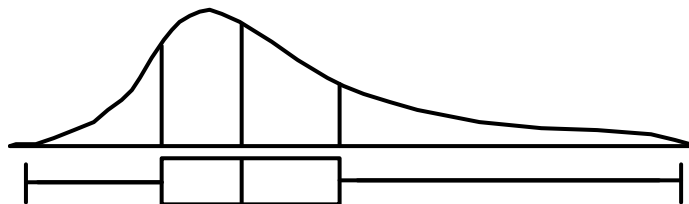
(b) 균등분포에 유사한 분포



(c) U형과 유사한 분포

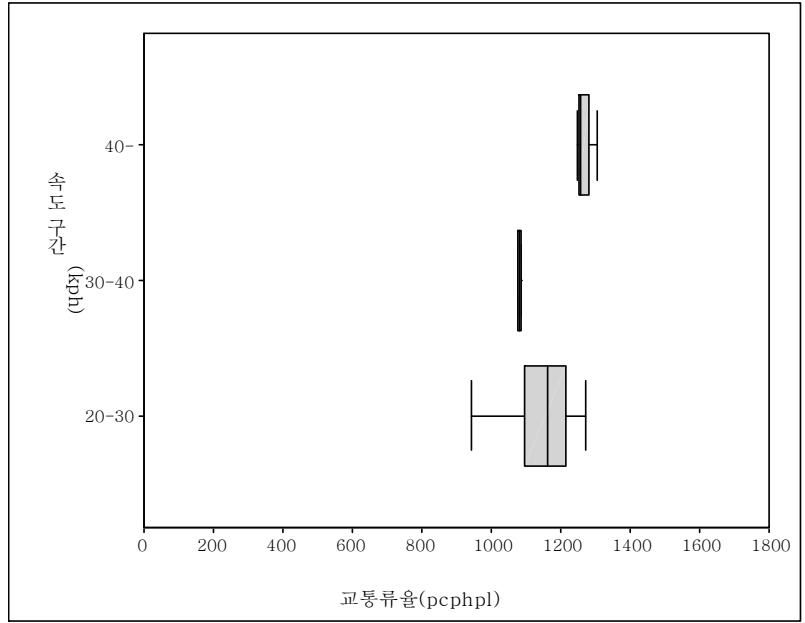


(d) 좌측 꼬리를 가진 분포

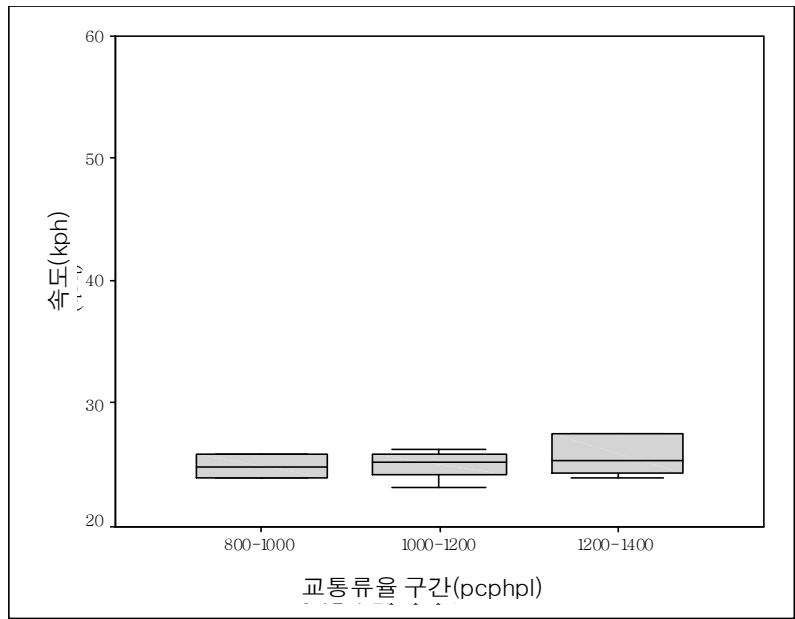


(e) 우측 꼬리를 가진 분포

Fig. 5.2 Distribution and box-and-whisker plot

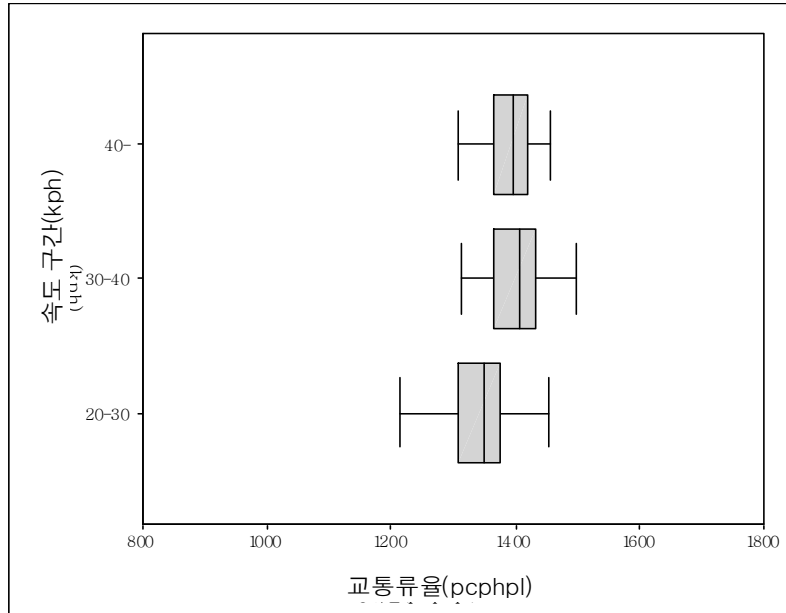


(a) 속도 구간별 교통류율의 범위

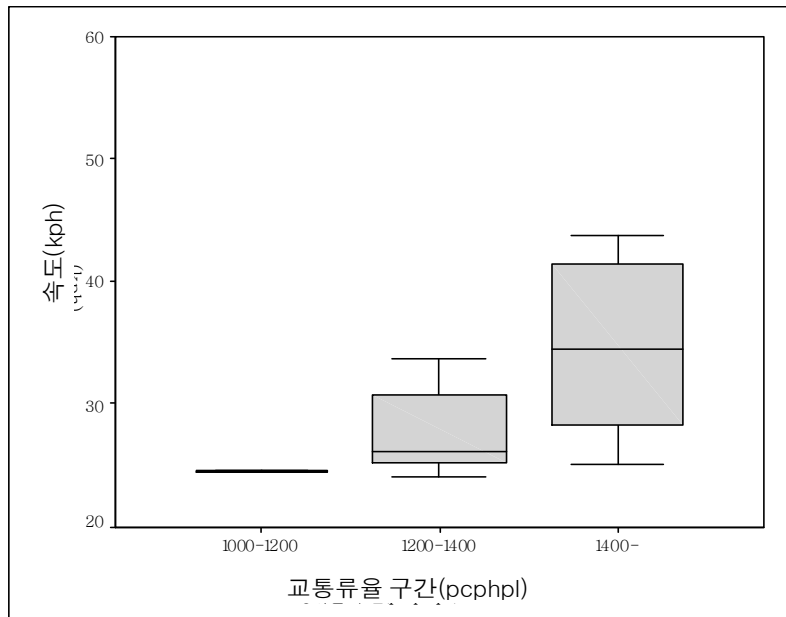


(b) 교통류율 구간별 속도의 범위

Fig. 5.3 Speed-flow rate per interval under congestion(area A)

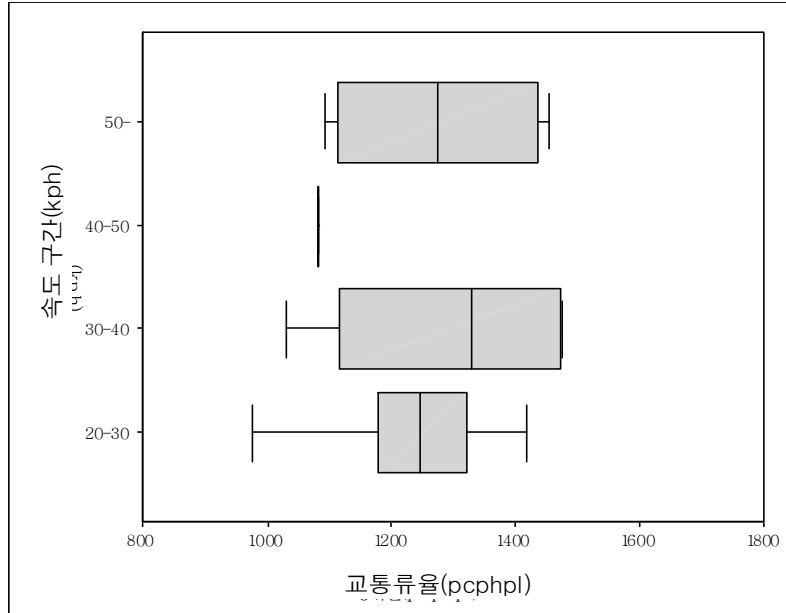


(a) 속도 구간별 교통류율의 범위

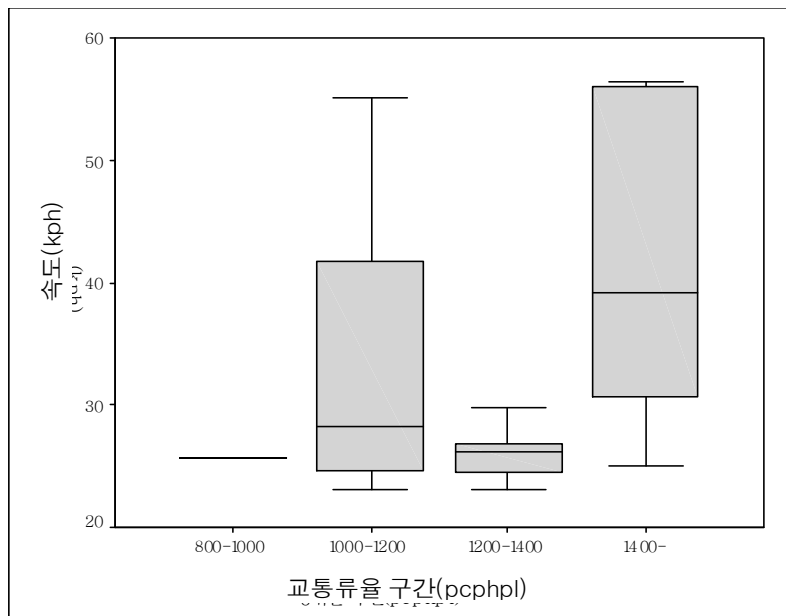


(b) 교통류율 구간별 속도의 범위

Fig. 5.4 Speed-flow rate per interval under congestion(area B)

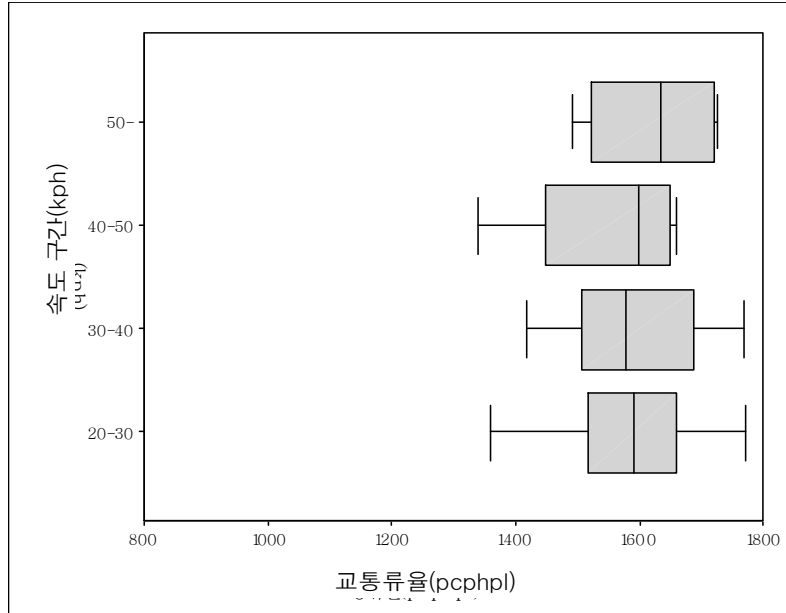


(a) 속도 구간별 교통류율의 범위

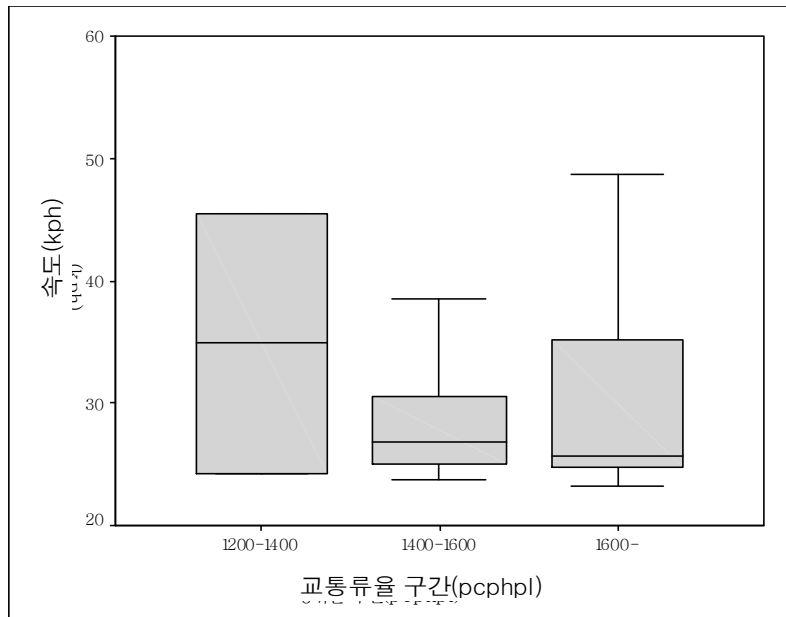


(b) 교통류율 구간별 속도의 범위

Fig. 5.5 Speed-flow rate per interval under congestion(area C)



(a) 속도 구간별 교통류율의 범위



(b) 교통류율 구간별 속도의 범위

Fig. 5.6 Speed-flow rate per interval under congestion(area D)

교통수요가 도로용량을 초과하여 증가하는 경우에는 교통정체가 발생되어 도로시설에 대한 효율(efficiency)의 저하 즉, 비효율적인 운영상태가 된다. 이러한 상황을 전제하면 정체의 수준은 그 도로시설의 효율로 대체되어 측정될 수 있다. 효율 개념을 도입하여 도로시설 현장의 정체를 정량화할 수 있는 정체시 용량상태와의 상대적 소통효율(Φ_r)에 대한 식은 (5.1)과 같이 제시될 수 있다. 기본적으로 속도와 교통량의 분포도에서 교통류가 용량점(capacity point)에서 효율이 최대 1이 되고, 용량점을 초과하여 원점에 근접할수록 교통정체가 심화되면서 효율이 저하된다(참조 Fig. 5.5). 따라서 소통효율(Φ_r)의 값은 1에서 0까지의 범위에 있으며, 이 값이 작아질수록 연결로 접속부의 용량을 초과하는 교통수요로 인해 교통흐름이 점차 비효율적으로 운영되어 결국 정체가 심화된다고 볼 수 있다.

$$\Phi_r = \frac{f_t \times s_t}{F_c \times S_c} \quad (5.1)$$

여기서,

Φ_r : 정체시 용량상태와의 상대적 소통효율(relative trafficability efficiency)

F_c : 용량상태의 교통류율(pcphpl)

S_c : 용량상태의 임계속도(kph)

f_t : 단위시간 t에서의 평균교통류율(pcphpl)

s_t : 단위시간 t에서의 평균속도(kph)

단, 식(5.1)은 용량상태의 임계속도(S_c)보다 단위시간 t의 속도(s_t)가 낮은 경우이면서 동시에 효율도가 1보다 작은 경우에만 교통정체가 발생한다고 가정된다.

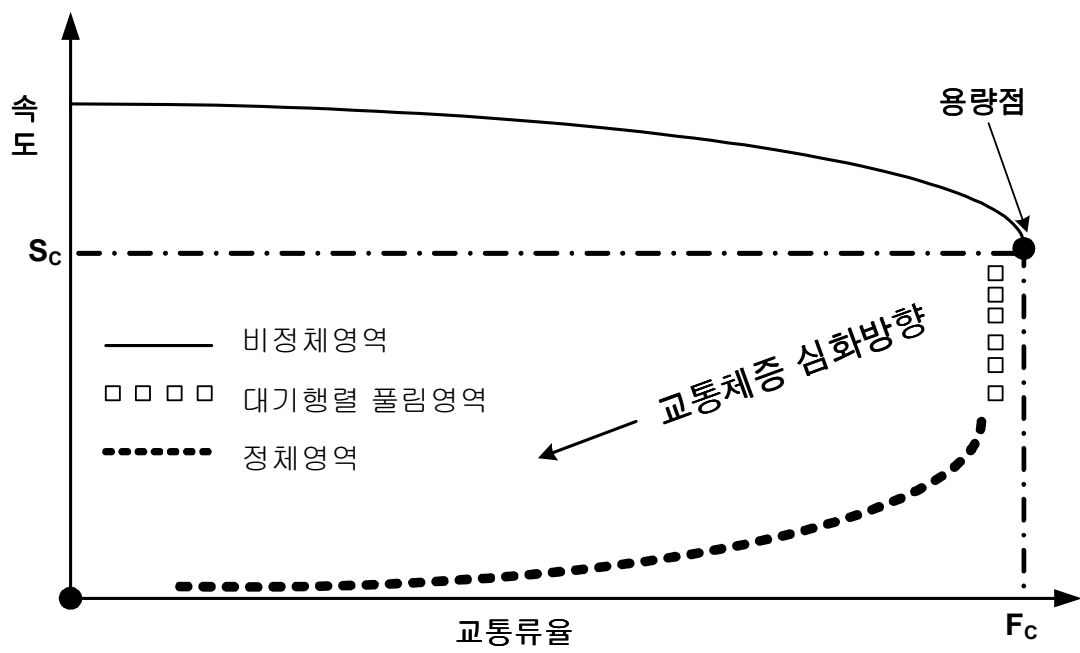


Fig. 5.7 Assumed diagram by traffic congestion worseness

5.2 서비스수준의 체계

5.2.1 서비스수준의 확장

현재 교통와해상태이후의 교통정체상태에 대해 서비스수준을 LOS F라고 단일 표현하는 것은 대부분 도로시설에서 교통정체의 전일 발생비중이 상대적으로 높으므로 적합하지 않다. 그러므로 LOS A에서 LOS F까지의 기존 범위를 확장하여 LOS F를 LOS G, H, I, J까지 확장하는 것이 필요하다. 따라서 용량상태이전의 교통류를 다섯 단계로 나눈 것과 동일하게 용량이후의 정체상태도 다섯 단계로 구분하여 설정하였다. 교통정체의 심화정도를 구분하기 위한 효과척도로서 소통효율(Φ_r)을 적용하여 각 수준과 대응시켰다. 즉, 추정된 용량과 용량임계속도(critical speed of capacity)의 범위를 각각 동일한 구간으로 다섯 등분하고, 이에 대응하는 정체시 소통효율의 각 영역에 LOS F, LOS G, LOS H, LOS I, LOS J의 명칭을 부여하였다 (참조 Table 5.1, Fig. 5.6).

Table 5.1 Range of Φ_r per level of service

LOS	Φ_r 값의 범위
A ~ E	-
F	$0.8 \leq \Phi_r < 1.0$
G	$0.6 \leq \Phi_r < 0.8$
H	$0.4 \leq \Phi_r < 0.6$
I	$0.2 \leq \Phi_r < 0.4$
J	$0 \leq \Phi_r < 0.2$

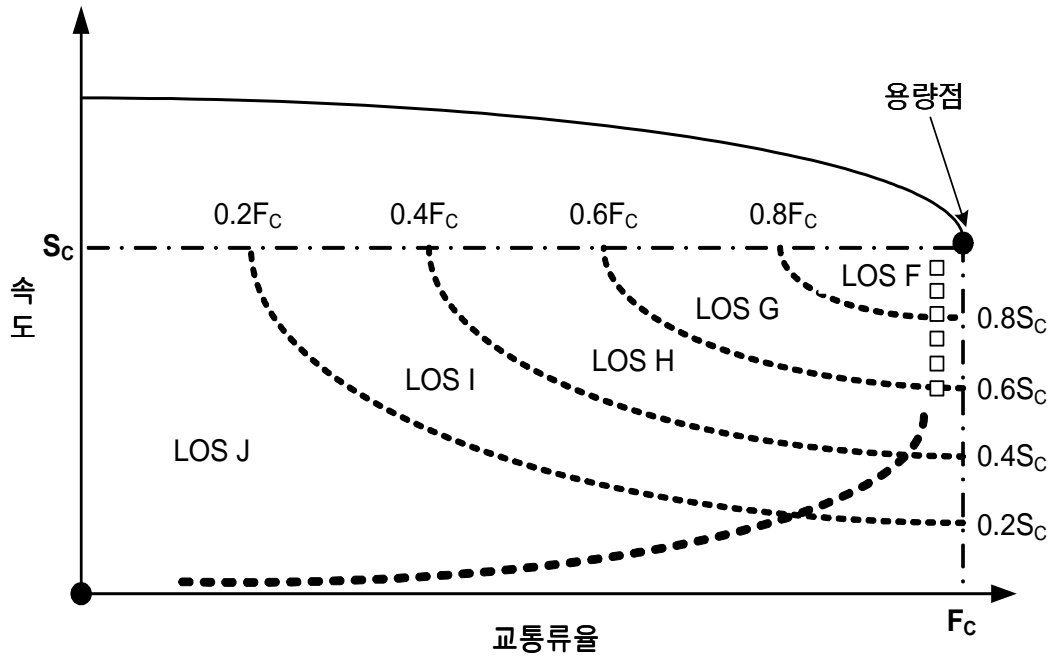


Fig. 5.8 Level of service domain expanded for traffic congestion

소통효율과 확장된 서비스수준체계를 연구대상 지점 중에서 지점 C에 대해 적용한 결과를 살펴보면, 이 관측지점에서는 교통류율과 속도의 산점도가 교통정체영역인 LOS F에서 LOS I까지 분포되어 있는 것으로 명확하게 확인되었으며, 이 중에서 LOS I는 출·퇴근시간대 및 전일 대비 각각 약 33.3%, 7.6%로 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 또한 다른 모든 지점에서도 마찬가지로 각각에 해당하는 추가 서비스수준의 분포영역이 명확하게 나타났다(참조 Table 5.2, Fig. 5.7~5.11). 따라서 도시고속도로의 합류 연결로 접속부에 대한 소통효율을 교통정체에 대한 효과 척도로 사용하여 그 정체정도를 구분하고, 소통효율의 독립적인 영역에 따른 서비스수준체계를 확장하는 것이 타당하다고 판단되었다.

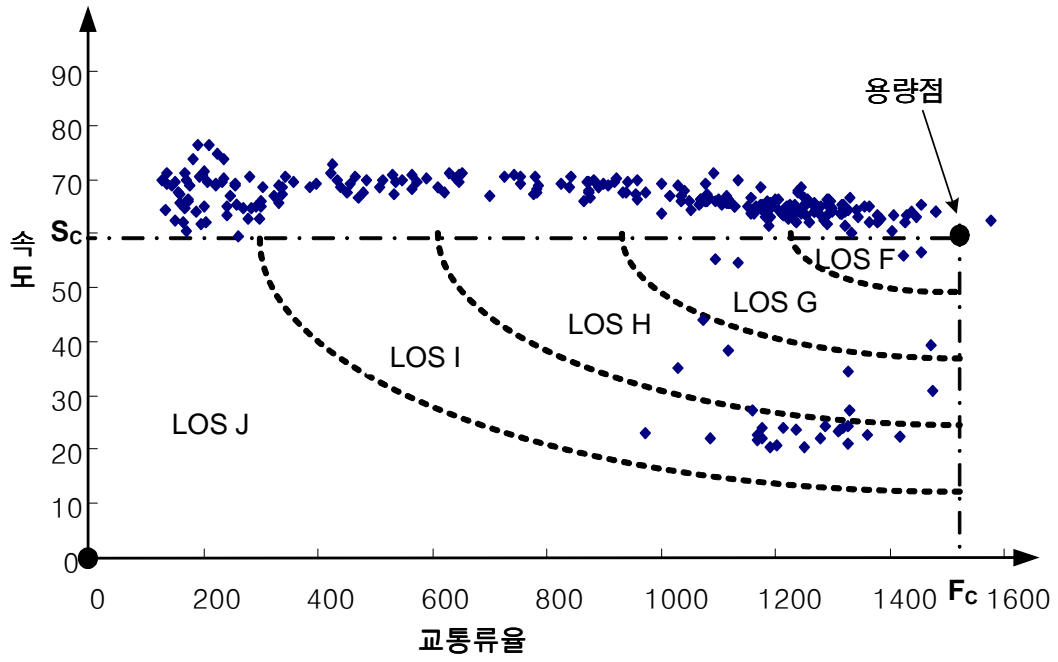


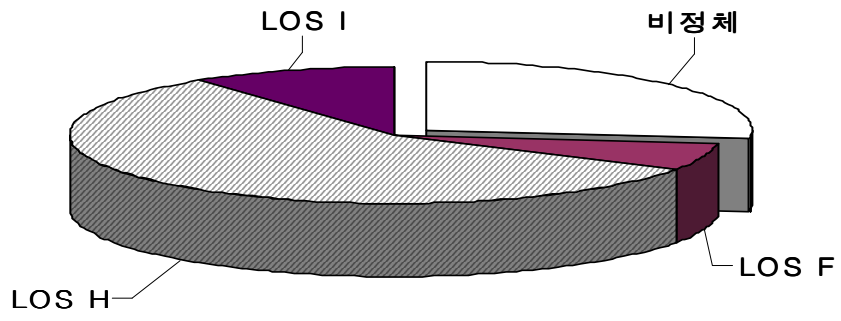
Fig. 5.9 Level of service domain for data observed(area C)

Table 5.2 Relative weight(%) of observed periods for expanded LOS

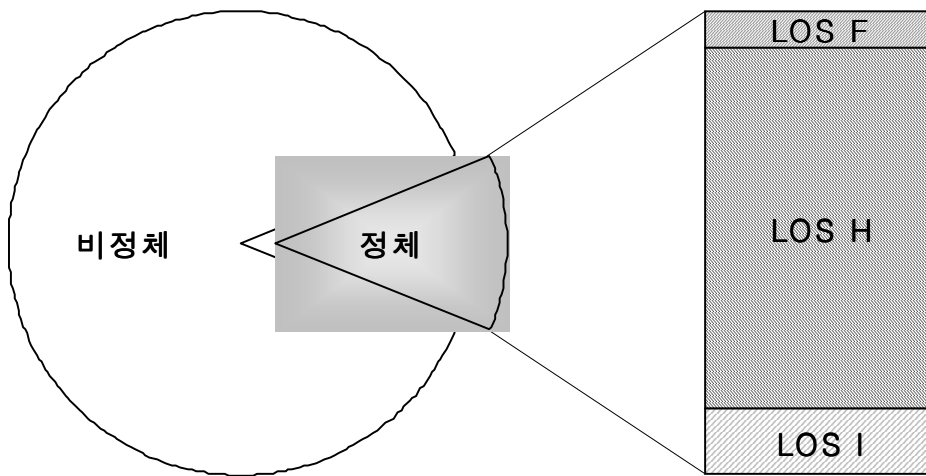
구분	지점 A		지점 B		지점 C		지점 D	
	출·퇴근 시간대*	전일**	출·퇴근 시간대	전일	출·퇴근 시간대	전일	출·퇴근 시간대	전일
LOS F	6.3	1.0	4.2	5.2	4.2	0.7	4.2	1.0
LOS G	0.0	0.0	8.3	5.6	2.1	1.0	6.3	1.7
LOS H	56.3	9.4	58.3	18.1	18.8	1.7	22.9	4.2
LOS I	10.4	1.7	0.0	0.0	33.3	7.6	50.0	9.7
LOS J	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
계	73.0	12.1	70.8	28.9	58.4	11.0	83.4	16.6

* 출근시간대(07:00~09:00), 퇴근시간대(18:00~20:00)

** 전일(00:00~24:00)

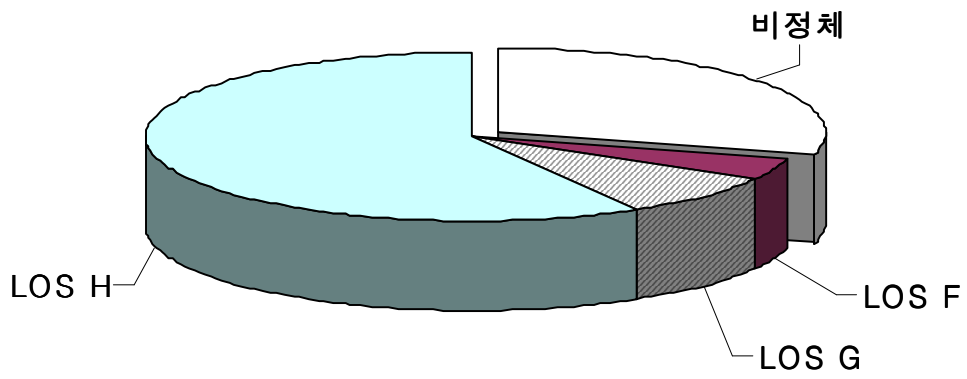


(a) 출·퇴근시간대

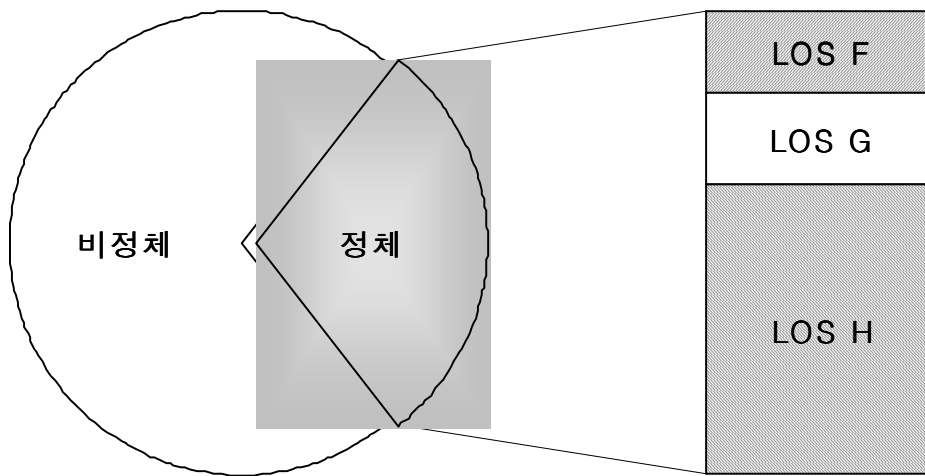


(b) 전일(00:00~24:00)

Fig. 5.10 Weight diagram for expanded levels of service(area A)

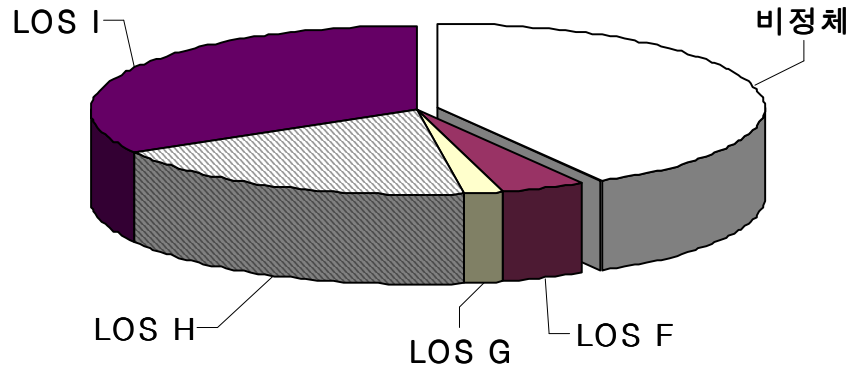


(a) 출·퇴근시간대

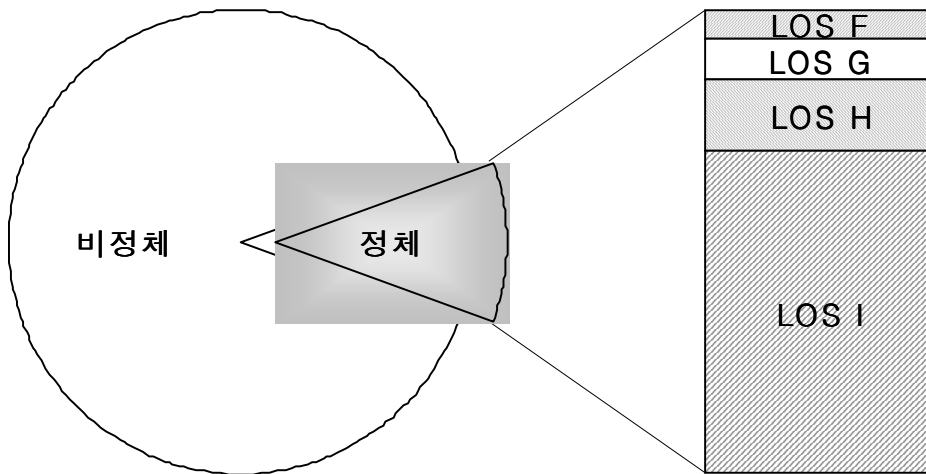


(b) 전일(00:00~24:00)

Fig. 5.11 Weight diagram for expanded levels of service(area B)

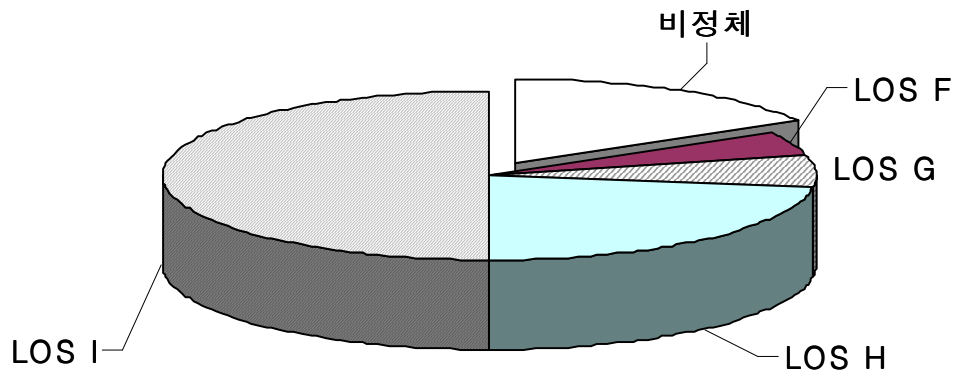


(a) 출·퇴근시간대

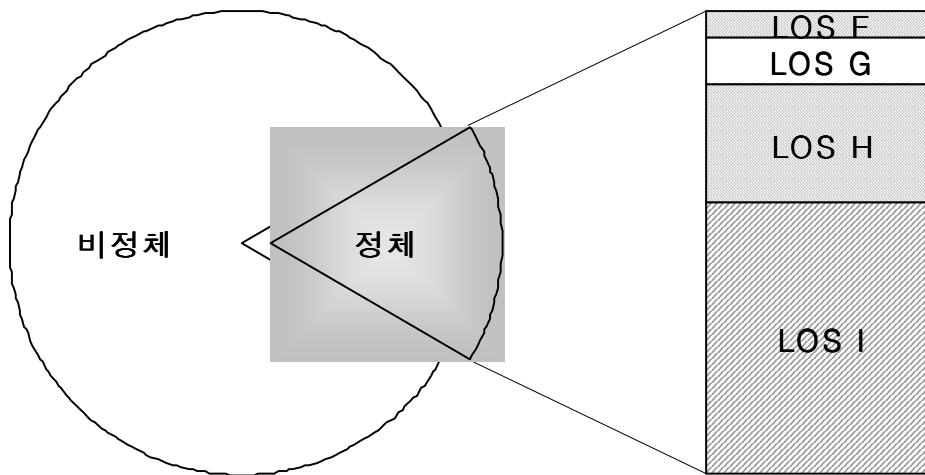


(b) 전일(00:00~24:00)

Fig. 5.12 Weight diagram for expanded levels of service(area C)



(a) 출·퇴근시간대



(b) 전일(00:00~24:00)

Fig. 5.13 Weight diagram for expanded levels of service(area D)

5.2.2 보고체계의 확대

서비스수준이 처음 도입된 당시는 교통량이 교통시설의 용량을 초과하는 경우가 많지 않았으며 차량의 통행이 출퇴근시간대에만 집중되고 그 외의 시간대에는 통행량이 적어 첨두현상이 뚜렷하였다. 그러므로 교통시설의 운영 및 계획에는 기존 첨두시간의 첨두교통량이 주로 사용되었다. 그러나 오늘날에는 교통정체가 이러한 출퇴근시간대에 국한 되지 않고 하루 중 상당시간 지속되고 있다. 기존 미국의 도로용량편람(USHCM)이나 국내의 도로용량편람(KHCM)의 방법론을 따라 분석대상인 교통시설에 대해 첨두시간 교통량을 사용하여 서비스수준을 판정하는 것은 하루 24시간동안의 전반적인 운영상태에 대한 전체적인 고려를 할 수 없다. 따라서 실제적인 교통운영상태를 파악하고자 한다면 특정 시간대 또는 전일 시간대의 분석을 통해 해당 교통시설의 운영상태를 인지하는 것이 필요하다.

소통효율의 저하에 따른 정체상태의 정도만을 보면, 관측지점의 서비스수준이 LOS *J*까지 보일 수 있다. 그러나 정체상태가 관측되는 특정 시간대(특히 출·퇴근 시간대) 또는 전일에 대한 실제적인 교통정체를 파악하기 위해서는 정체정도와 그 지속시간의 2차원적 정보를 종합적으로 고려하는 패러다임이 요구된다. 따라서 임의 지점에 대한 교통정체의 상태를 보고할 때는 그 정체정도 뿐만 아니라 지속시간에 대한 정보도 함께 보고할 필요가 있다.

본 연구에서는 특정 교통정체정도의 지속시간에 대한 보고주기를 15분으로 설정하였다. 1시간동안 관측된 4개의 15분 교통량 중 최대 교통량을 토대로 서비스수준을 파악하는 기존의 방법은 실제 도시고속도로의 관리 및 운영을 위한 보고체계로서는 시간적 폭이 상당히 넓다고 생각된다. 이는 비정체류에서 정체류로 또는 정체류에서 비정체류로의 상태변화가 현장관측에서 약 5~10분 이내로 급속히 이루어지고 있다는 것이 확인되었고, 또한 현재 관측기술의 발달로 인해 30초 단위로도 교통특성자료를 실시간 수집할 수 있으나 극단적인 불규칙성을 보일 수 있기 때문에 일반적으로 15분 교통량이 기본적인 교통류의 특성을 파악할 수 있는 합리적인 적정 시간단위로서 간주되고 있다. 따라서 새로운 서비스수준의 보고체계는 정체정도의 문자형태 제시와 함께 그 정체상태가 지속된 15분 단위시간의 개수를 동시에 제시하

는 것이 유용하다고 판단되었다(참조 Table 5.4~5.7).

5.2.3 정체수준의 도입

본 연구에서 도입된 서비스수준은 문자와 숫자의 조합체계로서 매 15분(단위시간)마다 제시된다. 이를 통해 임의의 정체시간대에 대한 서비스수준의 보고체계는 단위시간형의 LOS체계로서 문자와 숫자가 복잡하게 나열된 형태로 제시된다. 그러므로 출퇴근시간대 등과 같이 관심되는 특정 시간대에 대한 서비스수준을 간단하게 표현할 수 있는 단순화된 통합형의 LOS가 필요하다.

이러한 통합 LOS을 위해서는 추가된 서비스수준의 계량화가 요구된다. 서비스수준을 계량화하기 위해서 먼저 단위시간별 소통효율의 범위에 대응하는 서비스수준에 정체지수(Congestion Index, CI)를 부여하였다. 이 정체지수는 각 서비스수준에 대한 소통효율 구간 값의 역수를 상대적으로 나타낸 비율이다. 그리고 이와 같이 부여된 정체지수와 그 지속된 단위시간의 수를 곱한 후 합산하여서 단순한 수치인 정체수준(Congestion Level, CL)을 산정하였다(참조 Table 5.3).

정체지수와 단위시간을 이용하여 계산된 정체수준은 임의의 시간대에 대한 복잡한 단위 LOS를 단일 수치(single value)로 환산한 값이다. 이 수치는 교통정체의 정도와 그 지속시간을 통합적으로 대표하는 값으로서 그 시간대의 길이에 따라 각 서비스수준에 대응하는 정체수준의 구간범위에 존재한다. 따라서 특정 시간대를 대표할 수 있는 단일 문자형태의 서비스수준인 통합 LOS체계가 가능하다. 이와 같이 기본적으로 단위시간별로 표현되는 단위 LOS보고체계는 기존의 LOS체계와 유사한 LOS형태로서 보고 될 수 있다.

또한 정체수준을 통해 관측지점의 특정 시간대별, 전일별 교통정체의 대소를 직접적으로 비교할 수 있다. 이로서 반복적인 정체가 상대적으로 심각하게 발생하는 특정 시간대 또는 요일의 선별이 가능하다. 그리고 각 관측지점마다 산출된 정체수준은 차량소통이 상대적으로 비효율적인 지점을 나타내기 때문에 교통시설 및 운영개선 등의 우선순위를 정하는 기준으로 활용될 수 있다. 이를 통해서 기존 시설의 효

Table 5.3 Congestion index and congestion level by level of service

서비스수준	정체지수 (CI)	정체수준(CL)		
		15분	1시간	n 시간대
F	1	1	$0 < CL \leq 4$	$0 < CL \leq 4n$
G	2	2	$4 < CL \leq 8$	$4n < CL \leq 8n$
H	3	3	$8 < CL \leq 12$	$8n < CL \leq 12n$
I	4	4	$12 < CL \leq 16$	$12n < CL \leq 16n$
J	5	5	$16 < CL \leq 20$	$16n < CL \leq 20n$

올직한 교통개선 뿐만 아니라 그 개선정도에 대한 평가에도 유용될 수 있다고 판단하였다.

5.2.4 적용사례 분석

관측 지점 C의 3일간 데이터를 통해 정체수준을 비교하면 2일의 전일 정체수준이 56으로서 다른 날의 29나 26보다 크기 때문에 상대적으로 정체가 더 심각하다고 할 수 있었다(참조 Table 5.6). 2일에서는 오전 07:15이후에 교통와해가 발생하였고 09:00까지도 교통정체상태인 LOS H를 보였다. 그리고 오후 퇴근시간대에는 18:15부터 정체가 시작되어 20:00에도 여전히 교통정체상태를 보였다. 또한 전일 정체수준이 출퇴근시간대에 대한 정체수준의 합보다 11이나 크므로 출퇴근시간대외에도 정체가 존재한다는 것을 알 수 있었다. 그리고 출근시간대가 퇴근시간대보다 정체가 약간 더 심하나 전체적으로 볼 때 통합 LOS가 둘 다 H로서 비슷하다는 것을 알 수

있었다. 또한 전일 정체수준과 출퇴근시간대의 정체수준이 같기 때문에 출퇴근시간대 이외에는 정체가 발생되지 않았다는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서 관측된 지점들을 정체수준으로 비교해 보면 지점 *B*는 비록 단위 LOS가 심각한 정체상태를 나타내는 *I*나 *J*를 보이지는 않지만 상대적으로 긴 시간동안 정체가 계속되어 가장 정체수준이 높은 것으로 나타났다. 그러므로 이 지점 *B*에 대한 교통운영이나 시설개선 등이 상대적으로 가장 절실한 것으로 판단되었다. 따라서 새로운 서비스수준의 보고체계와 정체수준을 통해 자연스럽게 정체의 상대적인 비교와 그 지점의 특성을 잘 파악할 수 있음을 확인하였다(참조 Table 5.4~5.7).

Table 5.4 Level of service per rush-hour per day(area A)

구분 시간	1일						2일						3일								
	기존 LOS	정체 효율	단위 LOS			통합 LOS		기존 LOS	정체 효율	단위 LOS			통합 LOS		기존 LOS	정체 효율	단위 LOS			통합 LOS	
			15 분	1 시간	2 시간	1시간 (CL)	2시간 (CL)			15 분	1 시간	2 시간	1시간 (CL)	2시간 (CL)			15 분	1 시간	2 시간	1시간 (CL)	2시간 (CL)
07:00-07:15		-	-					-	-						-	-					
07:15-07:30		-	-					-	-						-	-					
07:30-07:45	-	-	-	-		-	-	-	-					-	-	-				-	
07:45-08:00		-	-					-	-						-	-					
08:00-08:15		-	-					-	-						-	-					
08:15-08:30	-	-	-	-		-	-	-	-					-	-	-				-	
08:30-08:45		-	-					-	-						-	-					
08:45-09:00		-	-					-	-						-	-					
18:00-18:15		0.45	H					0.41	H				H		0.46	H					
18:15-18:30	F	0.48	H	H4		H	(12)	F	0.47	H	H4		H	(12)	F	0.43	H	H4		H	(12)
18:30-18:45		0.46	H					0.46	H						0.50	H					
18:45-19:00		0.48	H		H8		H	0.40	H		H7		H	(21)	0.50	H		H6		H	(18)
19:00-19:15		0.49	H					0.44	H						0.40	H					
19:15-19:30	F	0.46	H	H4		H	(12)	F	0.47	H	H3		H	(9)	0.54	H		H2		G	(6)
19:30-19:45		0.49	H					0.47	H						-						
19:45-20:00		0.50	H					-							-						
전일 단위 LOS		F2, H12, I3				전일 CL	49	전일 단위 LOS	F1, H8, I1			전일 CL	30	전일 단위 LOS	H7, I1			전일 CL	25		

Table 5.5 Level of service per rush-hour per day(area B)

구분 시간	1일						2일						3일								
	기준 LOS	정체 효율	단위 LOS			통합 LOS		기준 LOS	정체 효율	단위 LOS			통합 LOS		기준 LOS	정체 효율	단위 LOS			통합 LOS	
			15 분	1 시간	2 시간	1시간 (CL)	2시간 (CL)			15 분	1 시간	2 시간	1시간 (CL)	2시간 (CL)			15 분	1 시간	2 시간	1시간 (CL)	2시간 (CL)
07:00-07:15	-	-	-					-	-						-	-					
07:15-07:30		-	-					-	-						-	-					
07:30-07:45		-	-					-	-						F	-					
07:45-08:00		-	-			G2		F							F	0.93	F		F1	F1	F (1)
08:00-08:15	F	0.74	G		F1			0.80	G		H2			F	0.60	H		G1	H2		G (9)
08:15-08:30		0.73	G	G2		G		F	0.57	H	G1		G		F	0.54	H	G1		G	
08:30-08:45		0.87	F	F1		(5)		F	0.82	H	H2		(8)		F	0.68	G	H2		G	(8)
08:45-09:00		-							-	-						-	-				
18:00-18:15	F	0.53	H					0.45	H						0.48	H					
18:15-18:30		0.50	H			H		F	0.50	H	H4		H		F	0.49	H	H4		H	
18:30-18:45		0.48	H	H4		(12)		F	0.50	H			(12)		F	0.49	H			H	(12)
18:45-19:00		0.50	H						0.51	H			H			0.48	H		H8		H
19:00-19:15	F	0.53	H		H8			0.49	H		H8				0.51	H					
19:15-19:30		0.45	H			H		F	0.52	H	H4		H		F	0.49	H	H4		H	
19:30-19:45		0.53	H	H4		(12)		F	0.52	H			(12)		F	0.49	H			H	(12)
19:45-20:00		0.50	H						0.52	H						0.51	H				
전일 단위 LOS	전일 단위 LOS	F6, G6, H18				전일 CL	72	전일 단위 LOS	F5, G6, H19				전일 CL	74	전일 단위 LOS	F4, G4, H15				전일 CL	57

Table 5.6 Level of service per rush-hour per day(area C)

구분 시간	1일						2일						3일								
	기준 LOS	정체 효율	단위 LOS			통합 LOS		기준 LOS	정체 효율	단위 LOS			통합 LOS		기준 LOS	정체 효율	단위 LOS			통합 LOS	
			15 분	1 시간	2 시간	1시간 (CL)	2시간 (CL)			15 분	1 시간	2 시간	1시간 (CL)	2시간 (CL)			15 분	1 시간	2 시간	1시간 (CL)	2시간 (CL)
07:00-07:15	F	-	-	G1 I2	G1 I6	H (10)	I (26)	F	-	-	H3 H7	H (9)	H (21)	F	-	-	F1 H1 I1	F1 H1 I5	G (8)	H (24)	
07:15-07:30		0.63	G						0.50	H					0.87	F					
07:30-07:45		0.30	I	0.35					H	0.50					H						
07:45-08:00		0.38	I	0.34					H	0.29					I						
08:00-08:15	F	0.38	I	I4	I (16)	F	0.32	H	H4	H (12)	F	0.39	I	I4	I (16)	I (16)	I (16)	I (16)	I (16)		
08:15-08:30		0.36	I				0.34	H				0.31	I								
08:30-08:45		0.36	I				0.31	H				0.32	I								
08:45-09:00		0.27	I				0.38	H				0.40	I								
18:00-18:15	-	-	-	-	-	-	F	-	-	F1 I2 H1 I5	H (9)	H (24)	-	-	-	-	-	-	-		
18:15-18:30		0.90	F					0.39	I					0.39	I						
18:30-18:45		-	-					0.39	I					-	-						
18:45-19:00		-	-					0.37	I					-	-						
19:00-19:15	-	-	-	-	-	F	0.38	I	H1 I3	I (15)	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
19:15-19:30		0.38	I				0.33	I						-	-						
19:30-19:45		-	-				0.33	I						-	-						
19:45-20:00		-	-				0.43	H						-	-						
전일 단위 LOS	전일 단위 LOS	G1, H1, I6				전일 단위 LOS	29	F1, G1, H3, I11				전일 단위 LOS	56	전일 단위 LOS	F1, G1, H1, I5				전일 단위 LOS	26	

Table 5.7 Level of service per rush-hour per day(area D)

구분 시간	1일						2일						3일									
	기준 LOS	정체 효율	단위 LOS			통합 LOS		기준 LOS	정체 효율	단위 LOS			통합 LOS		기준 LOS	정체 효율	단위 LOS			통합 LOS		
			15 분	1 시간	2 시간	1시간 (CL)	2시간 (CL)			15 분	1 시간	2 시간	1시간 (CL)	2시간 (CL)			15 분	1 시간	2 시간	1시간 (CL)	2시간 (CL)	
07:00-07:15	F	-	-	H1 I2	H2 I5	H (11)	I (26)	F	-	-	I3 I7	H (12)	I (28)	F	-	-	G1 I2	G1 H1 I5	H (10)	I (25)		
07:15-07:30		0.52	H						0.37	I					0.39	I					0.35	I
07:30-07:45		0.38	I						0.36	I					0.39	I					0.38	I
07:45-08:00		0.38	I	0.39					I	0.37	I				0.38	I						
08:00-08:15	F	0.44	H	H1 I3	I (15)	I (15)	F	0.39	I	I4 I7	I (16)	I (28)	F	0.35	I	H1 I3	I (15)	I (15)	I (25)			
08:15-08:30		0.37	I					0.37	I					0.38	I					0.38	I	
08:30-08:45		0.37	I					0.38	I					0.38	I					0.39	I	
08:45-09:00		0.34	I	0.38				I	0.38	I				0.39	I							
18:00-18:15	F	-	-	F1 G1 H1	F1 G1 H2	G (6)	H (17)	F	0.90	F	F1 H3 I4	H (10)	I (26)	F	0.76	G	G1 H3	G1 H3 I1	H (11)	G (15)		
18:15-18:30		0.82	F						0.43	H					0.40	H					0.59	H
18:30-18:45		0.70	G						0.40	H					0.41	H					0.49	H
18:45-19:00		0.49	H	0.41					H	0.41	H				0.45	H						
19:00-19:15	F	0.38	I	H1 I2	H (11)	H (11)	F	0.33	I	I4 I7	I (16)	I (26)	F	0.39	I	I1	F (4)	I (25)				
19:15-19:30		0.33	I					0.38	I					0.31	I				-	-		
19:30-19:45		0.51	H					0.31	I					0.35	I				-	-		
19:45-20:00		-	-	0.35				I	-	-				-	-							
전일 단위 LOS	전일 단위 LOS	F1, G1, H4, I8				전일 CL	47	전일 단위 LOS	F1, G1, H4, I13				전일 CL	67	전일 단위 LOS	F1, G3, H4, I7				전일 CL	47	

제 6 장 결론

본 연구에서는 부산지역의 양방향 4차로인 도시고속도로(본선 제한속도 80kph, 연결로 제한속도 50kph)의 합류부 교통특성을 토대로 교통정체상태에 대한 서비스수준의 확장 및 보고체계를 제시하고자 하였다. 먼저 본 연구와 관련하여 기존의 문헌연구와 더불어 연구대상 도시고속도로인 변영로에서 상습적인 정체현상을 보이는 도심방향과 부도심방향의 합류부를 대상으로 교통특성자료를 수집하고 분석하였다. 우선적으로 교통류율, 속도, 점유율에 대하여 전일별, 지점별, 차로별, 그리고 전 차로별 각각의 교통특성과 상호관계를 통해 교통류의 특성을 파악하였고, 다음으로 교통특성분석결과를 바탕으로 연구대상 도시고속도로의 합류부에 대해 임계속도와 용량을 결정하였으며, 마지막으로 용량에 대해 상대적인 교통정체를 계량적으로 구분하기 위하여 LOS F에 대한 서비스수준을 F, G, H, I, J로 확장하고, 이에 대한 보고체계를 보다 효율적으로 제시함으로써 다음과 같은 결론에 도달하게 되었다.

- 1) 도시고속도로의 합류부에서 영향권의 밀도 또는 단독의 교통류율, 평균통행속도로는 교통정체상태를 명확하게 구분할 수 없었다.
- 2) 정체상태의 도로시설에 효율 개념을 적용한 소통효율(Φ_r)은 교통정체의 정량화를 통해 각 수준별 경계가 명확하여 고속도로 연결로 접속부의 효과척도(MOE)로서 타당한 것으로 확인되었다.
- 3) 교통류율과 속도의 관계를 바탕으로 도로용량과 임계속도를 각각 동일한 구간으로 다섯 등분하여 기존의 LOS F에 대응하는 소통효율(Φ_r)의 각 영역을 LOS F, LOS G, LOS H, LOS I, LOS J로 세분화하는 것은 교통정체상태에 대한 추가적인 서비스수준의 확장으로서 적합하다고 판단되었다.
- 4) 교통정체상태에 대한 서비스수준을 보고할 때 그 정체정도 뿐만 아니라 지속시간에

대한 정보를 포함하는 것이 필요하며, 이를 위해 15분 단위시간의 단위 LOS체계로서 실제 교통류에 대한 변동의 특성을 보다 명확하게 제시하는 것이 유용하다고 판단되었다.

- 5) 통합 LOS체계는 각 단위시간별 추가된 서비스수준에 정체지수(CI)를 부여하고 지속된 단위시간의 수를 고려하여 산출된 정체수준(CL)을 통해서 정체 임의시간대를 대표할 수 있는 단일 문자형태의 서비스수준으로 표현될 수 있다. 따라서 정체상태에 대한 교통관리 및 운영측면에서 기존 서비스수준의 대안으로서 제시될 수 있는 것으로 판단되었다.
- 6) 마지막으로 본 연구에서 산출되는 정체수준(CL)은 차량소통이 상대적으로 비효율적인 지점을 선별하여 교통시설 및 운영개선 등의 우선순위를 정하는 기준으로도 활용될 수 있다고 판단되었다.

본 연구의 향후 연구과제로서는 정체시 소통효율의 산정에서 기준점(reference point)으로 필요한 용량과 임계속도를 보다 합리적으로 추정하고 또한 이에 대한 계절이나 기후의 영향을 고려할 수 있는 기법 등이 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 강재수(1998) 도로계획과 설계, 엔지니어즈.
- 건설교통부(1992, 2001) 도로용량편람, 대한교통학회.
- 건설교통부(1999) 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙, 건설교통부.
- 김갑수, 신관식(1998) 도시고속도로 기본구간의 교통특성분석-대구신천대로를 대상으로, 대한교통학회, 제16권 제4호, pp. 99-112.
- 김상구(1997) 고속도로 합류구간 교통특성 및 용량모형식 개발연구, 박사학위논문, 서울대학교.
- 김집산(2004) 연속류의 미시적 행태분석을 통한 도로용량 산정, 박사학위논문, 서울대학교.
- 박상조(2001) 교통류 시·공간 분석을 통한 혼잡교통류 해석, 박사학위논문, 서울대학교.
- 박성현 외 2인(2002) 한글 SPSS, SPSS 아카데미.
- 박창호 외 11인(2000) 교통공학개론, 영지문화사.
- 이승준(1998) 도시고속도로 차로별 교통류특성에 관한 연구, 석사학위논문, 서울대학교.
- 이의은(1995) 고속도로 교통류의 특성분석과 그 응용에 관한 연구, 박사학위논문, 서울대학교.
- 이의은(1999) 3영역 모형을 이용한 고속도로 교통류의 해석, 대한토목학회, 제19권 제 III-5호, pp. 851-862.
- 이현홍(2002) 도시부 고속도로 교통류 전이과정 분석 및 거시적 교통류 모형의 적용성 고찰, 박사학위논문, 서울대학교.

이호병(1999) 불량한 입지조건에 고속도로에 대한 교통류 개선대안, 한국지역개발학회, 제11권 제2호, pp. 83-93.

최병국(1999) 각국 도로용량편람의 고속도로 기본구간 용량 및 서비스수준 분석방법론 비교 연구, 대한교통학회, 제17권 제4호, pp. 19-31.

최태성, 김성호(2003) 의사결정을 위한 응용통계학, 다산출판사.

홍우식(2001) 도시고속도로 합류부의 교통특성 및 합류교통량 모형식의 연구, 석사학위 논문, 명지대학교.

Mannering, F. L. and Kilareski, W. P. (1998) 도로교통공학, 김형진, 최희균 공역, 청문각.

Al-Kaisy, A. F., Hall, F. L. and Reisman, E. S. (2002) Developing passenger car equivalents for heavy vehicles on freeways during queue discharge flow, *Transportation Research, Part A* 36, pp. 725-742.

American Association of State Highway and Transportation Officials(2001) *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, 4th ed. AASHTO, Washington, D. C..

Banks, J. H. (1989) Freeway Speed-Flow-Concentration Relationships: More Evidence and Interpretations, *Transportation Research Record* 1225, Transportation Research Board, Washington, D. C..

Baumgaertner, W. E. (1996) Level of Service-Getting Ready for the 21st Century, *Institute of Transportation Engineers Journal*, Jan, pp. 36-39.

Cameron, R. M. (1996) G3 F7-An Expanded LOS Gradation System, *Institute of Transportation Engineers Journal*, Jan, pp. 40-41.

- Carlsson, A. and Cedersund, H. A. (1998) A Macro Speed-Flow Model for On-and Off ramps on Multi-lane Roads, *Swedish National Road and Transport Research Institute*, Sweden.
- Cassidy, M. J. and Bertini, R. L. (1999) Some traffic features at freeway bottlenecks, *Transportation Research, Part B* 33, pp. 25-42.
- Duncan, N. C. (1976) A Note on Speed/ Flow/ Concentration Relations, *Traffic Engineering and Control*, pp. 482-483.
- Duncan, N. C. (1979) A Further Look at Speed/ Flow/ Concentration, *Traffic Engineering and Control*, pp. 34-35.
- Elefteriadou, L. and Lertworawanich, P. (2003) Defining, measuring and estimating freeway capacity, *TRB, Annual Meeting CD-ROM*.
- Federal Highway Administration(2003) *Freeway Management and Operations Handbook*. Report No. FHWA-OP-04-003, Washington, D. C..
- Greenshields, B. D. (1934) A Study of Traffic Capacity, *Highway Research Board Proceedings*, Vol. 14, pp. 448-477.
- Hall, F. L., Hurdle, V. F., and Banks J. H. (1992) Synthesis of Recent Work on the Nature of Speed-Flow and Flow-Occupancy (or Density) Relationships on Freeways, *Transportation Research Record 1365*, Transportation Research Board, Washington, D. C..
- Hurdle, V., and Datta, P. (1983) Speeds and Flows on an Urban Freeway: Some Measurements and a Hypothesis, *Transportation Research Record 905*, Transportation Research Board, Washington, D. C..
- Institute of Transportation Engineers(1992) *Transportation Planning Handbook*, Prentice Hall, New Jersey.

- May, A. D. (1990) *Traffic Flow Fundamentals*, Prentice Hall, New Jersey.
- McShane, W. R., Roess, R. P., and Prassas, E. S. (1998) *Traffic Engineering*, 2nd ed. Prentice Hall, New Jersey.
- Navin, F., and Hall, F. (1996) Understanding Traffic Flow At and Near Capacity, *Institute of Transportation Engineers Journal*, Jan, pp. 40-41.
- Roess, R. P. and McShane, W. R. (1987) Changing Concepts of Level of Service in the 1985 Highway Capacity Manual: Some Examples, *Institute of Transportation Engineers Journal*, May, pp. 27-31.
- Rothenberg, M. J. (1985) Urban Congestion in the United States What Does the Future Hold? *Institute of Transportation Engineers Journal*, July, pp. 22-39.
- SPSS(1993) *SPSS for Windows Base System User's Guide*, Release 6.0, SPSS Inc., Chicago.
- Transportation Research Board(1981) *Experiences in Transportation System Management*, National Research Council, Washington, D. C.
- Transportation Research Board(1965, 1985, 1994, 2000) *Highway Capacity Manual*, National Research Council. Washington, D. C.
- Transportation Research Board(1975, 1997) *Traffic Flow Theory*, Special Report 165, National Research Council. Washington, D. C.
- Qin, L. and Brian, L. S. (2001) Characterization of Accident Capacity Reduction, *Smart Travel Laboratory*, Report No. STL-2001-02, University of Virginia.

감사의 글

많은 부분에서 부족한 저에게 차고 넘칠 정도로 깊은 관심과 아낌없는 지도를 해주신 김 태곤 교수님께 진심으로 감사드립니다. 바쁘신 중에 심사를 해주신 김 도삼 교수님, 이 중우 교수님, 경 갑수 교수님, 김 태형 교수님께 감사드립니다. 그리고 그 동안 많은 가르침과 사랑을 주신 조 성철 교수님, 김 길수 교수님, 김 재봉 교수님, 국 승기 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 토목환경공학과 교수님들과 물류시스템공학과 교수님들께도 감사를 드립니다.

부족한 선배와 그 동안 같이하며 위험한 현장관측으로 고생한 실험실 후배들에게 고마운 마음을 전합니다. 또한 지금까지 관심과 도움을 준 주위의 선배님들과 동기들 그리고 후배들에게 감사한 마음을 전합니다.

변함없는 사랑으로 희로애락을 같이 나누는 아내 은영과 아들 시원, 지원, 기도와 따뜻한 애정으로 대해주시는 장인어른과 장모님, 처제 은경에게 고마움을 전합니다. 또한 멀리 독일에 걱정해주는 동서와 은희에게도 고마움을 전합니다.

저를 깊은 사랑으로 길러주시고 기도해 주시는 어머니, 동생 상훈, 제부와 미경이에게 고마운 마음을 전합니다. 그리고 소천하신 아버지께 이 논문을 바칩니다.

끝으로 지금까지 함께하신 하나님께 감사기도를 드리며, 오늘은 허리 디스크로 고생하시는 지도 교수님의 쾌유와 모레 수술을 앞 둔 지원이의 나음을 위해 기도드립니다.

2005년 1월 11일 아들 시원의 생일날에

