

공학석사 학위논문

선형의 속도/밀도모형을 이용한 도시고속도로 진입램프  
접속부의 용량평가에 관한 연구

Capacity Evaluation on the On-ramp Merge Section within Urban Freeway  
Using the Linear Speed/Density Model

指導教授 金 殆 坤

2005年 2月

한국해양대학교 대학원

토목환경공학과 李智永

本 論 文 을 李 智 永 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함

위 원 장   金 度 三   인

위    원   慶 甲 秀   인

위    원   金 殆 坤   인

2005年 2月

한 국 해 양 대 학 교 대 학 원

토 목 환 경 공 학 과 李 智 永

# Capacity Evaluation on the On-ramp Merge Section within Urban Freeway Using the Linear Speed/Density Model

Ji Young, Lee

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

## Abstract

Urban freeway means a high-speed and high-volume network for travel in the big city. However, most of the urban freeways are experiencing a severe traffic congestion caused by increased traffic. Thus, the purpose of this study is to investigate the traffic characteristics, analyze the relationships between the traffic characteristics, construct the speed-density model, and finally evaluate the capacity of the merge section within the entrance ramp junction of urban freeway in Busan city.

From the analyses of traffic characteristics, construction of the speed-density models, and evaluation of the capacity on the merge sections of urban freeway under the study, the following conclusions were drawn ;

- i) Flow rate showed a big difference depending on the entrance ramps on urban freeway during the weekday and weekend, and also the peak flow rate and the mixed rate of medium and large vehicles did a remarkable difference depending on the time periods.
- ii) Speed-density models were shown to be highly explanatory with the  $R^2$  values greater than 0.9, and also highly correlative between speed and density with the  $R$  values greater than 0.9 on the merge sections under the study.
- iii) Capacity showed a considerable reduction by about 30% to 39% when compared with the that of the highway capacity manual(HCM) depending on the entrance ramp merge sections of urban freeway.
- iv) The urban freeway traffic management system(UFTMS) measures like the changeable message sign(CMS), ramp metering system, or both were shown to be more effective on the entrance ramps in the daytime period.

# 목 차

ABSTRACT .....	i
NOMENCLATURE .....	v
그림 차례 .....	vi
표 차례 .....	vii
<b>제 1 장 서 론 .....</b>	<b>1</b>
1.1 연구 배경 .....	1
1.2 연구 목적 및 필요성 .....	1
1.3 문헌고찰 .....	2
1.3.1 도로용량편람(HCM)의 검토 .....	2
1.3.2 기존 연구 사례 .....	4
1.4 연구방법 및 내용 .....	5
1.4.1 자료의 조사 지점 .....	5
1.4.2 자료의 조사 방법 .....	6
1.4.3 자료의 분석 방법 .....	7

<b>제 2 장 이론적 고찰 및 교통특성분석</b>	<b>11</b>
2.1 교통류율	11
2.2 속도	16
2.3 밀도	19
<b>제 3 장 모형구축 및 검증</b>	<b>23</b>
3.1 구축 방법	23
3.2 모형 구축	23
3.3 모형 검증	24
3.3.1 검증 방법	24
3.3.2 모형 검증	25
<b>제 4 장 용량평가</b>	<b>36</b>
<b>제 5 장 결론 및 제안</b>	<b>40</b>
<b>참고문헌</b>	<b>41</b>

## NOMENCLATURE

$v$	:	1시간 단위시간 교통류율(veh/h/l)
$v_i$	:	15분 단위시간의 교통류율(veh/15min/l)
$v_{15}$	:	침두 15분 교통류율(veh/15/l)
$PHF$	:	침두시간계수
$p_m$	:	중형차량(6m이상~12m이하)의 비율(%)
$e_m$	:	중형트럭의 승용차 환산계수(=1.5)
$p_l$	:	대형차량(12m이상)의 비율(%)
$e_l$	:	대형트럭의 승용차 환산계수(=2.0)
$f_{HV}$	:	중 차량 보정계수
$q$	:	1시간 단위시간의 교통류율(pc/h/l)
$q_i$	:	15분 단위시간의 교통류율(pc/15min/l)
$u_s$	:	공간평균속도(km/h)
$u_i$	:	속도등급 내 평균속도(km/h)
$f_i$	:	속도등급 내 뜻수
$n$	:	속도등급 수
$k$	:	평균 밀도(pc/km/l)
$u_m$	:	임계속도(km/h)
$q_M$	:	최대 교통류율(pc/h/l)

## 그림 차례

<그림 1.1> 자료 조사 지점의 개략도 .....	6
<그림 1.2> 연구의 수행 과정 .....	8
<그림 1.2> 주중 교통류와 속도의 관계(합류지점 A) .....	9
<그림 1.3> 주말 교통류와 속도의 관계(합류지점 A) .....	9
<그림 1.4> 주중 교통류와 속도의 관계(합류지점 B) .....	10
<그림 1.5> 주말 교통류와 속도의 관계(합류지점 B) .....	10
<그림 2.1> 주중 24시간 교통류율의 분포(합류지점 A) .....	14
<그림 2.2> 주말 24시간 교통류율의 분포(합류지점 A) .....	14
<그림 2.3> 주중 24시간 교통류율의 분포(합류지점 B) .....	15
<그림 2.4> 주말 24시간 교통류율의 분포(합류지점 B) .....	15
<그림 2.5> 주중 24시간 속도의 분포(합류지점 A) .....	17
<그림 2.6> 주말 24시간 속도의 분포(합류지점 A) .....	18
<그림 2.7> 주중 24시간 속도의 분포(합류지점 B) .....	18
<그림 2.8> 주말 24시간 속도의 분포(합류지점 B) .....	19
<그림 2.9> 주중 24시간 밀도의 분포(합류지점 A) .....	21
<그림 2.10> 주말 24시간 밀도의 분포(합류지점 A) .....	21
<그림 2.11> 주중 24시간 밀도의 분포(합류지점 B) .....	22
<그림 2.12> 주말 24시간 밀도의 분포(합류지점 B) .....	22
<그림 3.1> 주중모형의 검증(합류지점 A) .....	26
<그림 3.2> 주말모형의 검증(합류지점 A) .....	26

<그림 3.3> 주중모형의 검증(합류지점 B) .....	27
<그림 3.4> 주말모형의 검증(합류지점 B) .....	27
<그림 3.5> 주중에 관측된 교통류과 계산된 교통류율의 비교도(합류지점 A) ....	28
<그림 3.6> 주말에 관측된 교통류과 계산된 교통류율의 비교도(합류지점 A) ....	28
<그림 3.7> 주중에 관측된 교통류과 계산된 교통류율의 비교도(합류지점 B) ....	29
<그림 3.8> 주말에 관측된 교통류과 계산된 교통류율의 비교도(합류지점 B) ....	29
<그림 3.5> 주중에 관측된 속도와 계산된 속도의 비교도(합류지점 A) .....	30
<그림 3.6> 주말에 관측된 속도와 계산된 속도의 비교도(합류지점 A) .....	30
<그림 3.7> 주중에 관측된 속도와 계산된 속도의 비교도(합류지점 B) .....	31
<그림 3.8> 주말에 관측된 속도와 계산된 속도의 비교도(합류지점 B) .....	31
<그림 3.9> 주중에 관측된 밀도와 계산된 밀도의 비교도(합류지점 A) .....	32
<그림 3.10> 주말에 관측된 밀도와 계산된 밀도의 비교도(합류지점 A) .....	32
<그림 3.11> 주중에 관측된 밀도와 계산된 밀도의 비교도(합류지점 B) .....	33
<그림 3.12> 주말에 관측된 밀도와 계산된 밀도의 비교도(합류지점 B) .....	33
<그림 3.12> 주중 속도와 밀도의 관계(합류지점 A) .....	34
<그림 3.12> 주말 속도와 밀도의 관계(합류지점 A) .....	34
<그림 3.12> 주중 속도와 밀도의 관계(합류지점 B) .....	35
<그림 3.12> 주말 속도와 밀도의 관계(합류지점 B) .....	35
<그림 4.1> 주중 최대교통류율의 평가(합류지점 A) .....	38
<그림 4.2> 주말 최대교통류율의 평가(합류지점 A) .....	38
<그림 4.3> 주중 최대교통류율의 평가(합류지점 B) .....	39
<그림 4.4> 주말 최대교통류율의 평가(합류지점 B) .....	39



## 표 차례

<표 1.1> 조사대상 램프접속부의 형태 .....	5
<표 1.2> 차종구분 및 승용차 환산계수 .....	7
<표 1.3> 구간속도와 정의 값 .....	7
<표 2.1> 조사대상 합류부지점의 평균 교통류율 (pc/h/l) .....	13
<표 2.2> 조사대상 합류부지점의 침두 교통류율 (pc/h/l) .....	13
<표 2.3> 조사대상 합류부지점의 공간평균속도(km/h) .....	17
<표 2.4> 조사대상 합류부지점의 평균밀도(pc/km) .....	20
<표 3.1> 조사대상 합류부지점의 모형구축 .....	24
<표 3.2> 조사대상 합류부지점의 모형검증 .....	25

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구 배경

1960년대 이후 우리나라는 산업근대화에 총력을 기울이면서 경이로운 경제성장을 지속적으로 이룩하여 왔고, 또한 대도시의 인구집중과 활동영역의 확대 등으로 통행 수요가 급증하고 있는 상황 하에서 도시고속도로는 도시교통체계에 중추적인 역할을 담당하여 왔다.

흔히 도시고속도로(urban freeway)란 도시지역 내 안전하고 효율적이며 대량의 차량통행을 허용하는 주요 간선도로로 출퇴근시간대를 제외하고는 거의 자유류 속도(free flow speed, FFS)를 유지하는 고속화도로를 의미하지만, 대부분의 도시고속도로는 이용차량의 폭발적인 증가로 인하여 출퇴근시간대에 관계없이 심각한 교통체증을 겪고 있는 실정이다.

게다가, 대도시지역 내 새로이 유발되는 통행수요에 비하여 도시고속도로와 같은 도로시설의 공급이 턱없이 부족하고, 더구나 도로시설공급을 위한 가용재원에도 한계에 직면하고 있기 때문에 가용재원의 허용범위 내에서 새로운 도시고속도로의 확충 및 확장도 필요하겠지만, 기존 도시고속도로의 특성분석을 통해 관리체계를 수립하여 효율성을 증대시키는 것이 중요한 연구과제로 대두되고 있다.

## 1.2 연구 목적 및 필요성

일반적으로 도시고속도로는 대도시지역 내 핵심 간선도로로 차량의 이동성과 통행의 효율성을 증대시킬 목적으로 건설되고 있지만, 도시고속도로를 대신할 대체도로 시설의 부족과 도시고속도로와 주변 서비스도로시설과의 상호 연계성 미비 등으로 보다 많은 차량들이 도시고속도로에 집중함으로써 교통체증이 날로 심화되어 도시

고속도로의 본래 기능이 상실되고 있다. 게다가 첨두시간대 도시고속도로의 진출입 램프 접속부는 진출입차량과 본선 통과차량사이에 엇갈림 현상으로 사고와 정체가 자주 발생하는 구간이고, 더구나 진입램프 접속부에서는 과도한 차량진입으로 정체가 심화되어 진입램프 접속부의 소통능력이 현저히 감소하는 구간으로서 도시고속 도로의 관리체계가 절실히 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 연구대상지역으로 부산지역 내 제 1 도시고속도로(번영로)의 진입램프 접속부 중에서 도심에 근접하고 교통정체가 심한 진입램프 접속부를 선정하여 i) 교통특성 자료조사와 분석을 실시하고, ii) 교통특성 분석결과를 바탕으로 속도/밀도모형을 구축 검증하며, iii) 구축 검증된 속도/밀도모형을 중심으로 도시고속도로의 진입램프 접속부의 관리방안을 제시하기 위한 용량평가를 실시하고자 한다.

## 1.3 문헌고찰

### 1.3.1 도로용량편람의 검토

#### 1) 미국의 도로용량편람(USHCM)

2000년도 미국의 도로용량편람<sup>1)</sup>(highway capacity manual, HCM)에서는 고속도로의 진입진출램프 접속부의 노즈(nose)부를 기준으로 영향권을 450m로 설정하고 이 영향권에서 각 서비스수준별 진출입램프 형태별 통행량을 제시하고 있다. 특히, 고속도로의 진출입램프 접속부에서는 차량의 진출입활동으로 접속부의 용량 제약이 발생할 수 있다는 명확한 근거를 찾을 수 없다고 전제하면서 진입램프 접속부의 용량은 우측 1, 2차로를 포함하여 최대 4,600pc/h를 초과할 수 없고, 진출램프 접속부의 용량은 우측 1, 2차로를 포함하여 최대 4,400pc/h를 초과할 수 없다고 언급하고 있다.

## 2) 일본의 도로용량편람(JHCM)

일본의 도로용량편람(JHCM)<sup>2)</sup>은 기본적으로 1985년도 미국의 도로용량편람(USHCM)에 기초하여 유사하게 적용하고 있으며, 고속도로의 용량분석에서는 다차로도로(multi-lane highway)와 별도 구분하지 않고 동일하게 적용하고 있다. 특히, 특정 구배구간을 갖는 고속도로에 대한 용량분석도 별도로 고려하지 않고, 구배에 따른 중차량 보정을 고려함으로써 이를 대신하고 있으며, 이상적인 조건에서 고속도로의 용량은 2,200pcphpl로 적용하고 있다.

## 3) 한국의 도로용량편람(KHCM)

2004년도 한국의 도로용량편람(KHCM)<sup>3)</sup>은 2000년도년도 미국의 도로용량편람(USHCM)의 분석방법을 따르며 고속도로의 진입진출램프 접속부의 노즈(nose)부를 기준으로 영향권을 450m로 설정하고 이 영향권에서 각 서비스수준별 진출입램프 형태별 통행량을 제시하였으며, 진입램프 접속부의 용량은 우측 1, 2차로를 포함하여 최대 4,600pc/h를 초과할 수 없고, 진출램프 접속부의 용량은 우측 1, 2차로를 포함하여 최대 4,400pc/h를 초과할 수 없다고 언급하고 있다.

## 4) 독일의 도로용량편람(GHCM)

대체적으로 미국의 도로용량편람(USHCM)<sup>4)</sup>을 모태로 자기나라의 특성에 맞도록 수정하여 사용하고 있으나, 독일의 도로용량편람(GHCM)은 USHCM의 분석 방법과 다소 차이가 있다. 특히, 독일에서는 속도제한이 없기 때문에 USHCM과는 달리 교통량변화에 따라 실제 교통량을 사용하고 있고 서비스수준의 효과척도로 평균운행속도를 사용하고 있으며, 15분 교통량을 1시간 교통량으로 환산하지 않고 1시간 교통량을 사용하고 있다.

### 1.3.2 기존 연구사례

국내의 연구사례로 이상관<sup>5)</sup>외 1인(2000)은 우리나라의 도시가로에 대한 교통류 특성과 교통용량 산정기법에 관한 연구를 수행하면서 우리나라의 도시가로에 가장 적합한 교통류 모형으로 Greenshields모형을 제시하고 있고, 또한 도시가로의 교통류 특성파악과 용량산정 기법에 대한 필요성을 역설하고 있다.

김상구<sup>6)</sup>(1997)는 고속도로 합류구간 내 교통행태를 파악하고자 임계간격이라는 변수를 사용하여 유형별 합류확률, 가속차로 내 합류특성 등 여러 가지 측면에서 특성분석과 합류차량으로 인한 본선 교통류에 미치는 영향을 분석하고 합류 교통특성을 나타내는 모형식의 개발 및 적용을 수행함으로써 합류구간에서의 용량감소의 원인을 규명하고 각 서비스수준별 용량감소에 따른 최대합류용량 산정을 위한 모형구축의 필요성을 강조하고 있다.

이정수<sup>7)</sup>외 2인(1992)은 고속도로의 연결로 분석기법에 관한 연구를 수행하면서 편도 4차선의 진입램프접속부의 용량감소는 약 10%정도로 추산할 수 있다고 언급하면서 단순히 진입램프 접속부 교통량을 접속차로의 교통량과 연결램프 교통량의 합으로 산정하기보다 합류차량이 본선에 미치는 영향을 고려하여 합류교통량을 산정하는 것이 바람직할 것으로 역설하고 있다.

일본의 Masao Kuwahara<sup>8)</sup>외 2인(1991)은 일본의 동경도 고속도로의 엇갈림구간(weaving section) 내 용량특성(capacity characteristics)을 비교 분석하였는데, 특히 고속도로의 접속부에서 용량은 본선구간에서의 용량에 비하여 진·출입차량의 엇갈림(weaving)현상으로 인하여 12%~26%정도 감소하였다고 보고함으로써 고속도로 램프접속부의 용량평가에 대한 연구의 필요성을 강조하고 있다.

## 1.4. 연구방법 및 내용

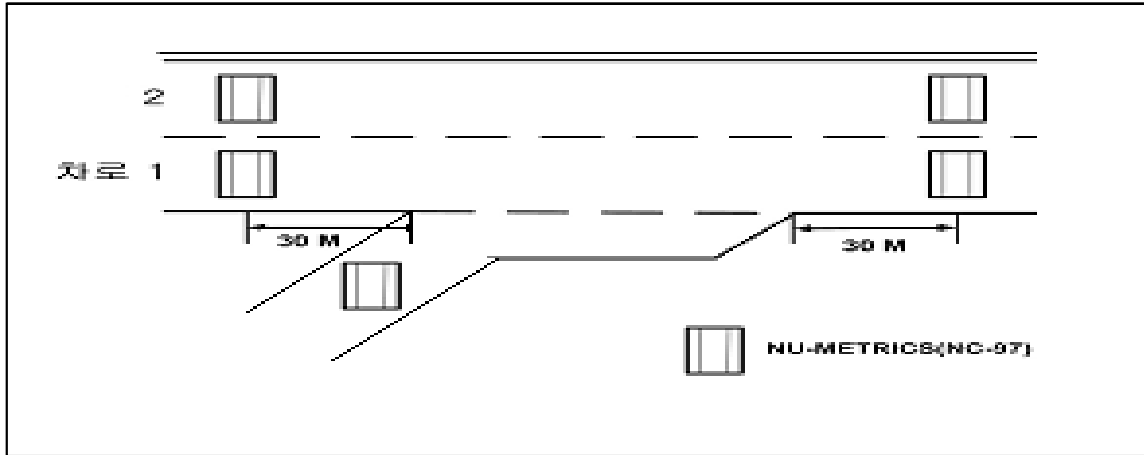
### 1.4.1. 자료의 조사지점

본 연구의 조사대상구간으로 부산지역의 남북을 가로지르는 제 1 도시고속도로의 도심지역에 근접하고 과다한 진입차량으로 정체가 가중되는 2개의 진입램프 접속부를 선정하였으며 본선은 4차로 도로(제한속도 80km/h)이고 각 접속부의 연결램프(제한속도 50km/h)는 1차로로 가속차로는 평행식 형태를 취하고 있다.

특히, 도심지역의 합류지점 A(문현 램프접속부)와 합류지점 B(대연 접속부)는 합류 영향권 범위 내에 터널이 위치하고 있어 본선에 합류하는 차량과 터널에 대한 영향으로 다른 합류지점에 비하여 속도 및 소통능력의 감소현상이 자주 발생하는 지역이며, 또한 교통와해 현상이 나타나 불안정류가 관측되는 상습적인 정체지역이다(참조 <표1.1>,<그림1.1>).

<표 1.1> 조사대상 램프접속부의 형태

구분	접속부형태	조사지점	비고
A	진입램프	문현 램프접속부 합류지점	영향권 내 터널존재
B	진입램프	대연 램프접속부 합류지점	영향권 내 터널존재



< 그림 1.1 > 조사지점의 개략도

#### 1.4.2 자료의 조사방법

본 연구대상 진입램프 접속부의 용량분석을 위해 교통특성자료(교통유율, 속도, 점유율, 차종별, 혼재비율, 차두시간, 구간속도의 분포 등)는 부산지역 내 양방향 4차로(차로폭원 3.6m)인 제 1 도시고속도로(번영로)의 도심지역에 근접한 2개의 진입램프 접속부로 한정하여 램프접속부내 램프접속부 상류부, 하류부 및 램프 상에 설치된 검지기(NC-97)를 통하여 매 15분 단위시간으로 1일 24시간씩 그리고 1주일동안 실시시간으로 관측되었다. 특히, 교통량은 차종별로 각각 6m이하, 6m이상 12m이하, 12m 이상을 기준으로 소형, 중형, 대형으로 구분하여 15분 단위시간으로 수집되었으며(참조 <표1.2>, <표1.3>), 우리나라의 도로용량편람(KHCM)에 기초하여 고속도로 기본 구간인 평지지형기준에 따라 승용차 환산계수(passenger car equivalent, pce), 첨두 시간계수(peak hour factor, *PHF*)와 중 차량 보정계수( $f_{HV}$ )를 고려하였다.

<표 1.2> 차종구분 및 승용차 환산계수

차종구분	차량 길이(L)	승용차 환산계수(pce )
소형	$L \leq 6m$	1.0
중형	$6m < L \leq 12m$	1.5
대형	$L \geq 12m$	2.0

<표 1.3 > 구간속도와 정의 값

구간속도	정의 값( $u_f$ )	구간속도	정의 값( $u_f$ )
0 ~ 7	3.5	64 ~ 71	67.5
8 ~ 15	11.5	72 ~ 79	75.5
16 ~ 23	19.5	80 ~ 87	83.5
24 ~ 31	27.5	88 ~ 95	91.5
32 ~ 39	35.5	96 ~ 103	99.5
40 ~ 47	43.5	104 ~ 111	107.5
48 ~ 55	51.5	$U \geq 112$	115.5
56 ~ 63	59.5	-	-

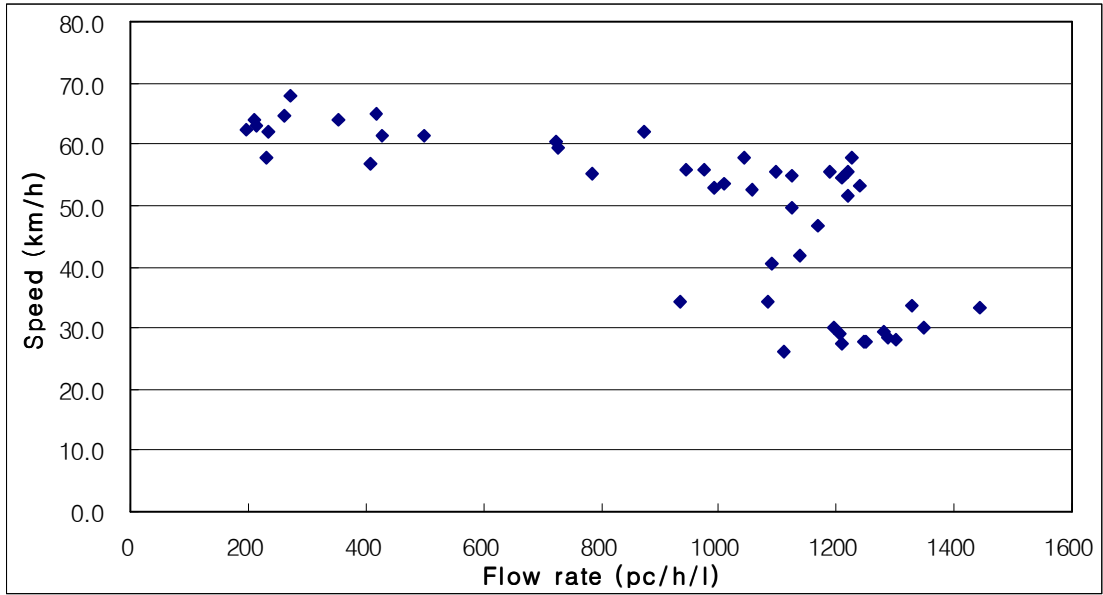
### 1.4.3 자료의 분석방법

본 연구대상 진입램프 접속부내 주중과 주말에 따라 교통류의 상태와 속도특성분포가 상이하므로 주중과 주말로 분류하여 i) 관측된 속도특성 분포자료로부터 공간평균속도를 산정하고, ii) 교통류 이론에 기초하여 산정된 교통류율과 공간평균속도와의 관계로부터 추정밀도를 산정하며, iii) 공간평균속도와 추정밀도와의 선형성과 비선형성을 검토하여 속도/밀도 모형을 구축 검증하고, 마지막으로 iv) 구축 검증된 속도/밀도 모형으로부터 임계속도에서의 최대 교통류율(용량)을 평가하여 제시한다 (참조<그림 1.2>).

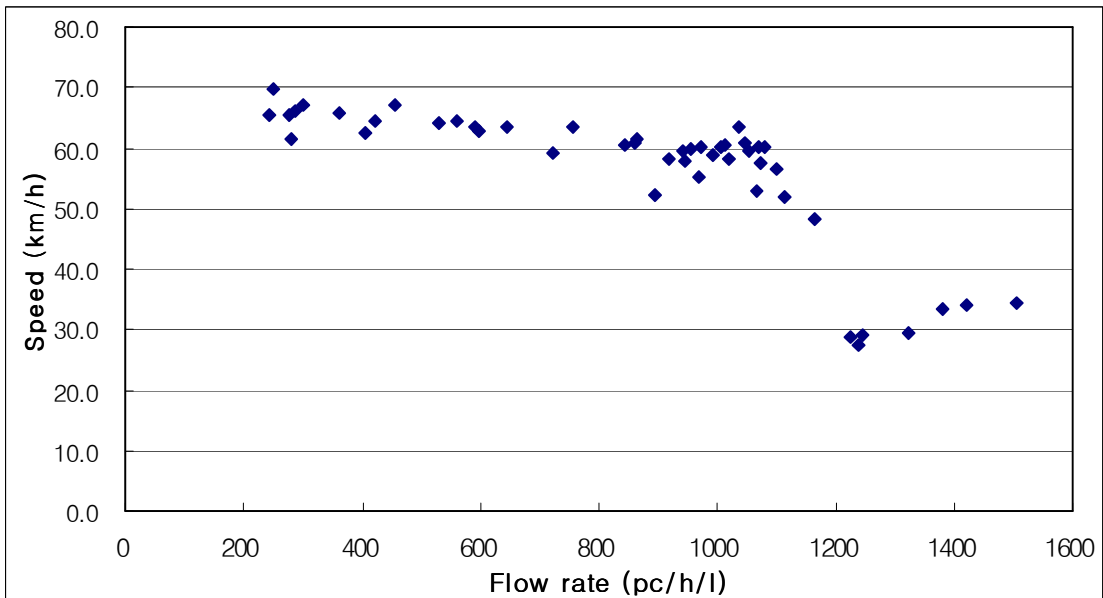




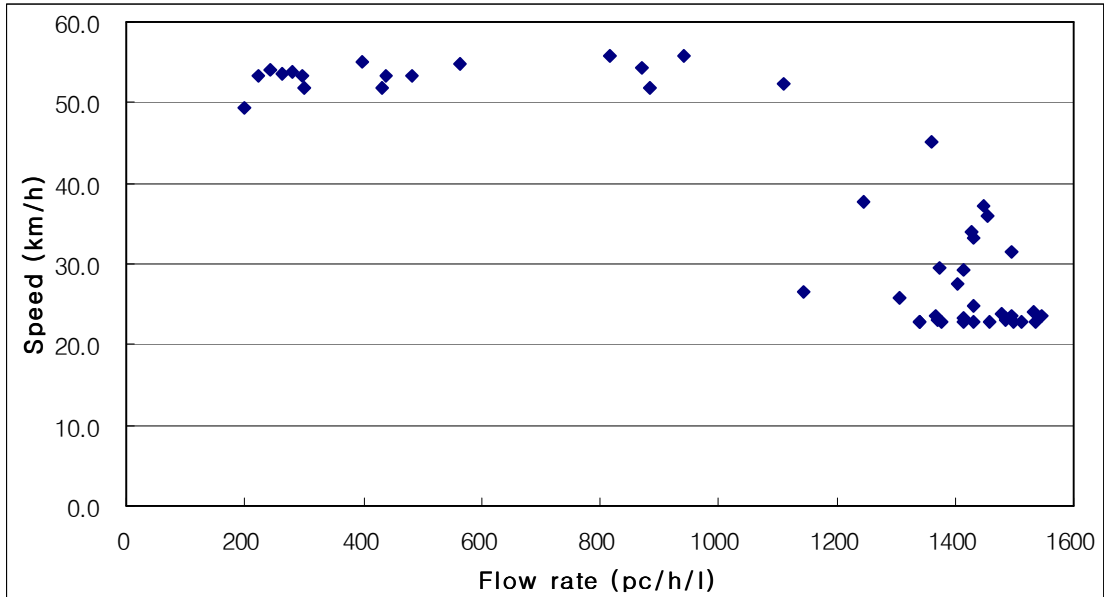
< 그림 1.2 > 연구의 수행과정



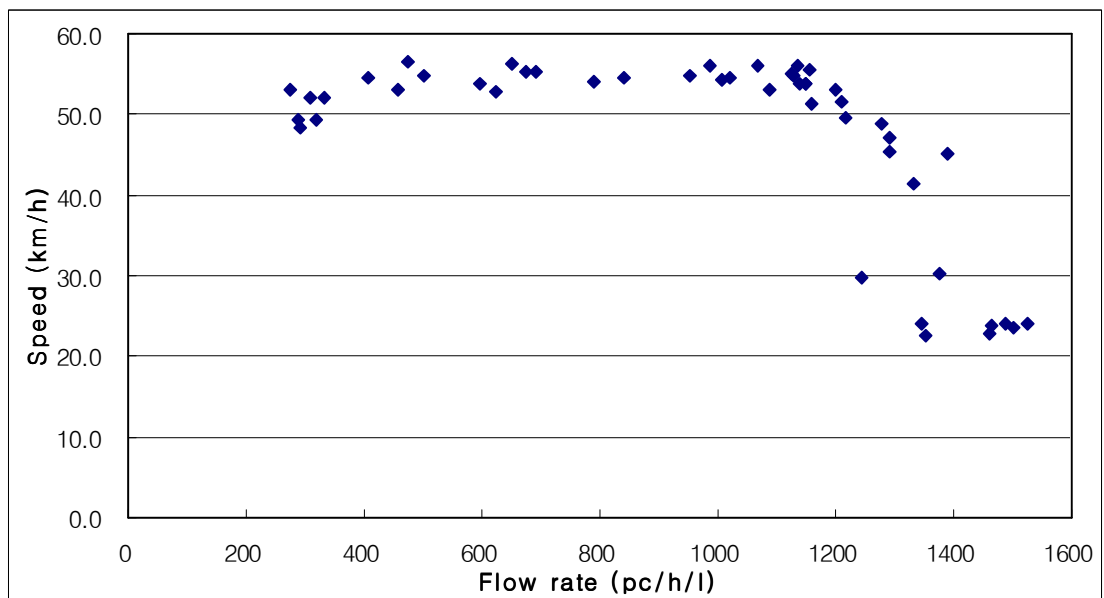
<그림 1.3> 주중 교통류율과 속도의 관계(합류지점 A)



<그림 1.4> 주말 교통류율과 속도의 관계(합류지점 A)



<그림 1.5> 주중 교통류율과 속도의 관계(합류지점 B)



<그림 1.6> 주말 교통류율과 속도의 관계(합류지점 B)

## 제 2 장 이론적 고찰 및 교통특성분석

본 교통특성분석에서는 도시고속도로의 진입램프 접속부내 설치된 검지기로부터 관측된 교통특성자료 분석이 수행되었고, 교통특성자료의 상호 관계분석이 수행되었으며, 특히 접속부내에서 교통류율, 공간평균속도와 밀도의 상호 관계분석이 수행되었다.

### 2.1 교통류율 분석

교통류율(flow rate)이란 1시간 단위시간동안 검지기를 통과한 차량의 수를 중 차량 보정계수와 침투시간계수를 고려한 승용차 환산대수로서 단위는 passenger car per hour(pc/h)로 표현되며, 접속부내 교통류율은 다음과 같이 산정된다.

$$v = \sum_{i=1}^4 v_i \quad (2.1)$$

$$PHF = \frac{v}{4 \times v_{15}} \quad (2.2)$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + p_m(1 - e_m) + p_l(1 - e_l)} \quad (2.3)$$

$$q_i = \frac{v_i}{PHF \times f_{HV}} \quad (2.4)$$

$$q = \sum_{i=1}^4 q_i \quad (2.5)$$

여기서,

$v$  : 1시간 단위시간 교통류율(veh/h/l)

$v_i$  : 15분 단위시간의 교통류율(veh/15min/l)

- $v_{15}$  : 침두 15분 교통류율(veh/15/l)
- $PHF$  : 침두시간계수
- $p_m$  : 중형차량(6m이상~12m이하)의 비율(%)
- $e_m$  : 중형트럭의 승용차 환산계수(=1.5)
- $p_l$  : 대형차량(12m이상)의 비율(%)
- $e_l$  : 대형트럭의 승용차 환산계수(=2.0)
- $f_{HV}$  : 중 차량 보정계수
- $q$  : 1시간 단위시간의 교통류율(pc/h/l)
- $q_i$  : 15분 단위시간의 교통류율(pc/15min/l)

연구대상 도시고속도로의 진입램프 접속부를 중심으로 산정된 단위시간동안 교통류율의 특성을 비교해보면, 진입램프 접속부의 1시간 교통류율 특성분석 결과 침두시간계수( $PHF$ )는 대체적으로 0.7~0.99였으며, 중대형차량의 혼재율이 15%~28%로 나타났다. 특히, 도심지역에 근접한 램프일수록 오전시간대보다는 오후시간대에 상대적으로 교통류율이 높게 나타났고, 야간시간대보다는 주간시간대에 통행량이 집중됨으로써 주간시간대 진입램프의 정체가 심화되는 것으로 나타났다(참조<표2.1>, <그림2.1, 2.2, 2.3, 2.4>).

특히, 합류지점 A(문현 램프접속부)에서는 주중과 주말의 교통류율의 특성을 비교 분석하였을 때 전반적인 교통류율에 있어서 큰 차이는 보이지 않으나 주중과 주말의 오전 오후 침두교통류율에 상당한 차이를 보이는 것으로 나타났다(참조<표2.2>, <그림 2.3, 2.4>). 또한, 합류지점 B(대연 램프접속부)에서는 주중에는 통행량이 출퇴근시간대에 집중되는 현상을 보인 반면, 주말에는 오전에서 오후에 걸쳐 통행량이 집중되는 현상을 보이는 것으로 나타났다. 따라서 도시고속도로의 진입램프 접속부에서

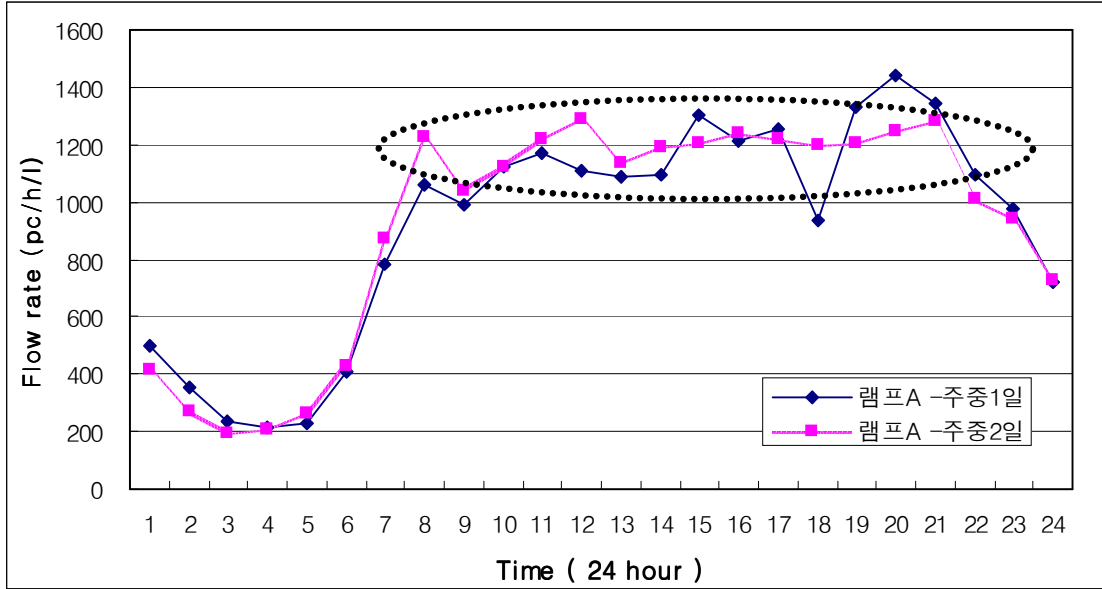
진입램프별 시간대별로 교통류율의 특성을 고려하고 도시고속도로의 본선 및 유입 램프교통류율의 집중도를 적절히 조절하여 본선 교통류율이 최대로 유지될 수 있는 도시고속도로 관리체계가 수립되어야 할 것으로 생각되었다.

<표 2.1> 조사대상 합류지점의 평균교통류율(pc/h/l)

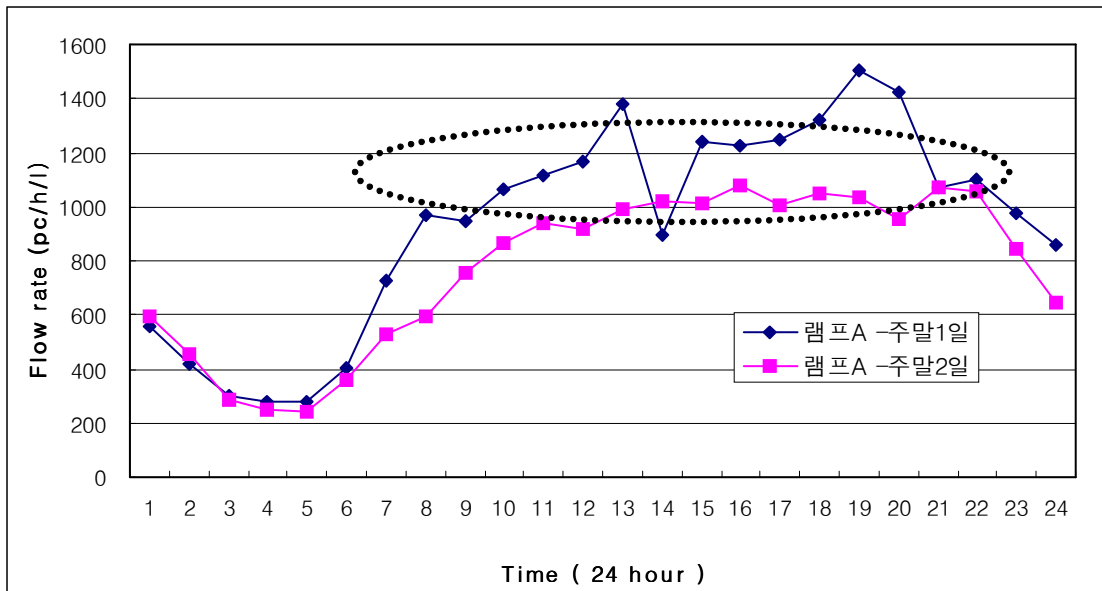
시간대별		합류지점	문현 램프접속부 A	대연 램프접속부 B
주중	최대		1442(오후)	1534(오후)
	최소		213(오전)	244(오전)
주말	최대		1504(오후)	1547(오후)
	최소		196(오전)	276(오전)

<표 2.2> 조사대상 합류지점의 첨두 교통류율(pc/h/l)

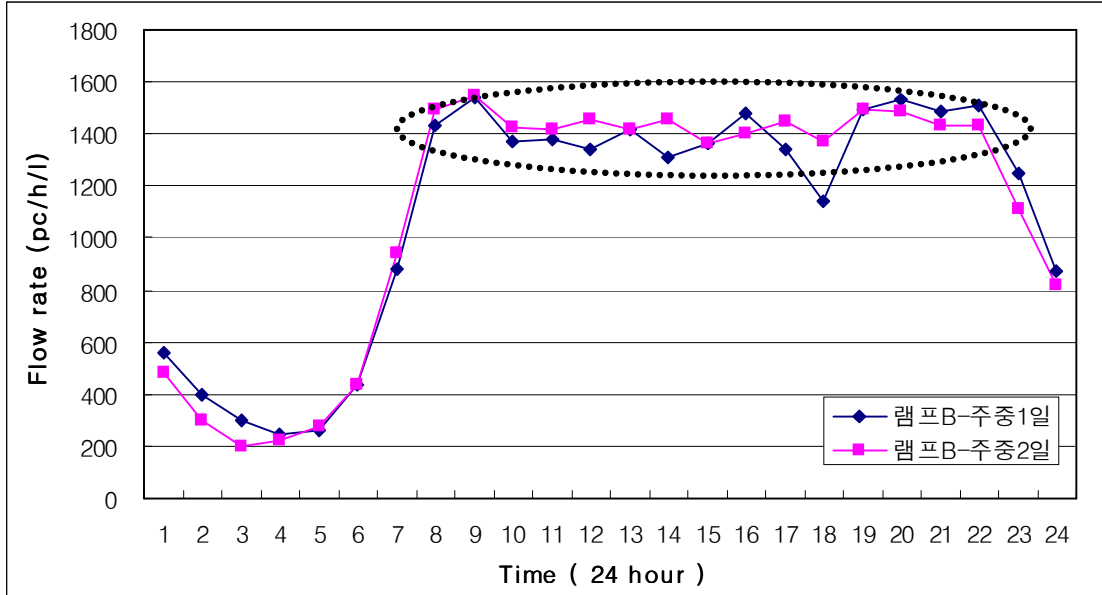
합류지점		시간대별 분류				
		24시간 평균 교통류율	오전 첨두 교통류율	변화율 (%)	오후 첨두 교통류율	변화율 (%)
합류지점 A	주중	914	1064	16.4	1442	57.8
	주말	873	943	8.1	1422	62.8
합류지점 B	주중	1076	1430	32.9	1388	28.9
	주말	1017	1200	17.9	1356	33.3



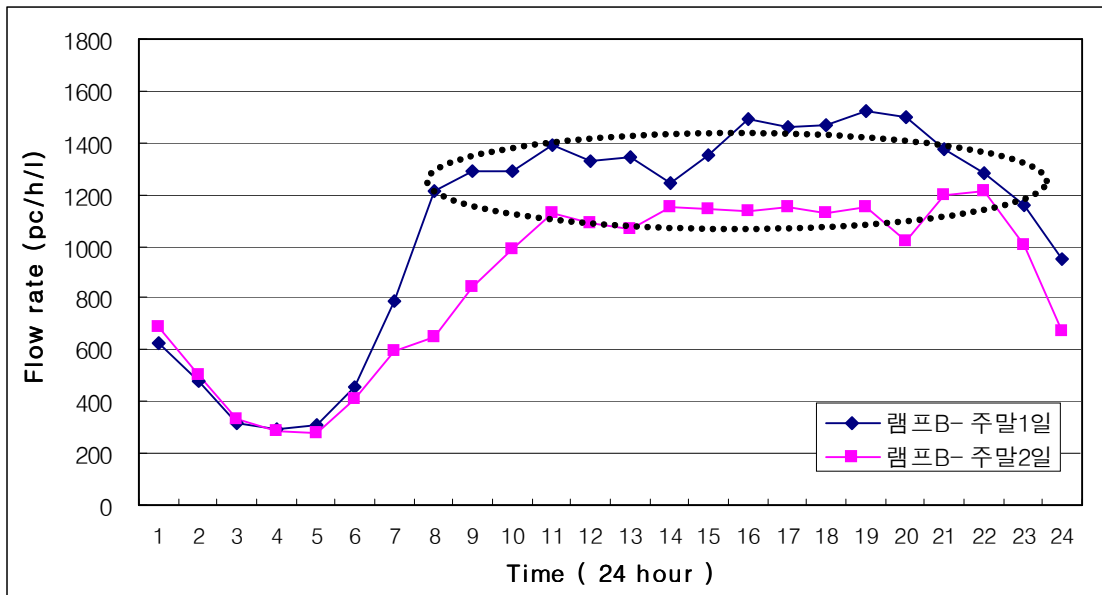
<그림 2.1> 주중 24시간 교통류율의 분포(합류지점 A)



<그림 2.2> 주말 24시간 교통류율의 분포(합류지점 A)



<그림 2.3> 주중 24시간 교통류율의 분포(합류지점 B)



<그림 2.4> 주말 24시간 교통류율의 분포(합류지점 B)



## 2.2 속도

속도(Speed)는 차량의 단위시간당 주행거리로서 그 단위는 kilometer per hour(km/h)로 표현되며, 본 연구대상 도시고속도로의 진입램프 접속부내 공간평균속도(space mean speed)는 다음과 같이 산정된다.

$$u_s = \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{\sum_{i=1}^n \frac{f_i}{u_i}} \quad (2.6)$$

여기서,

- $u_s$  : 공간평균속도(km/h)
- $u_i$  : 속도등급 내 평균속도(km/h)
- $f_i$  : 속도등급 내 횟수
- $n$  : 속도등급 수

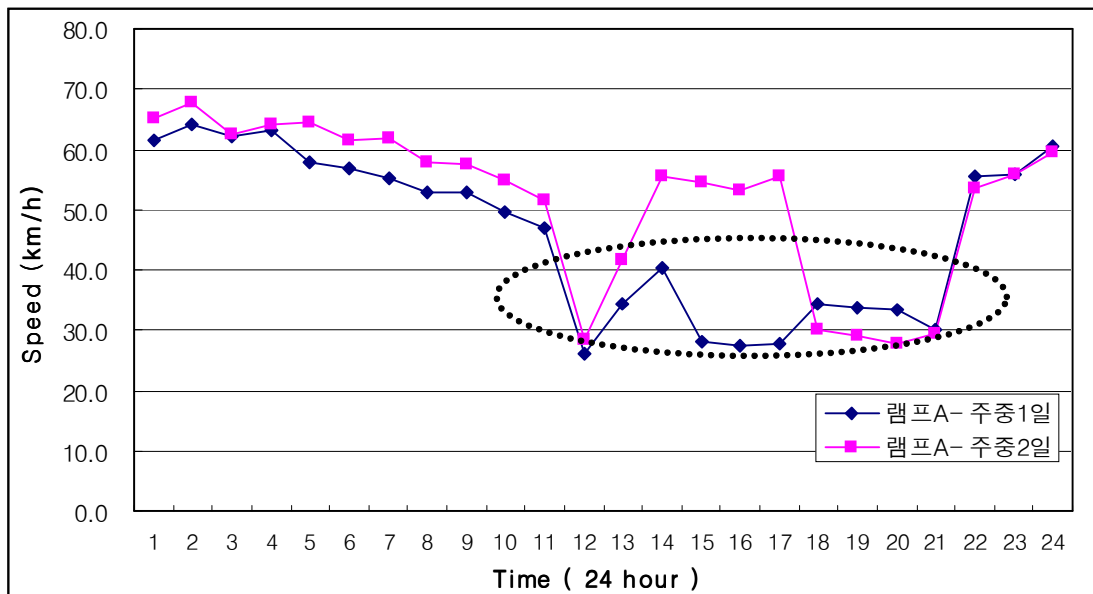
본 연구대상 도시고속도로의 진입램프 접속부를 중심으로 산정된 공간평균속도의 특성을 살펴보면, 합류지점별로 서로 다른 속도특성을 보였으며, 야간시간대가 주간시간대보다 높게 나타났다(참조 <표2.3>, <그림 2.5, 2.6, 2.7, 2.8>).

특히, 합류지점 A(문현 램프접속부)에서는 주중이나 주말이나 시간대별 속도분포에서 뚜렷한 차이를 보이지 않았으나(참조 <그림2.5, 2.6>), 합류지점 B(대연램프)에서는 주중과 주말사이에 속도분포에서 상당한 차이를 보였으며, 주중의 주간시간대에는 속도가 30km/h이하로 현저하게 감소함으로써 통행량 증가로 정체가 심화되고 있음을 확인할 수 있었다(참조 <그림 2.7, 2.8>). 따라서 도시고속도로의 진입램프 접속부에서 진

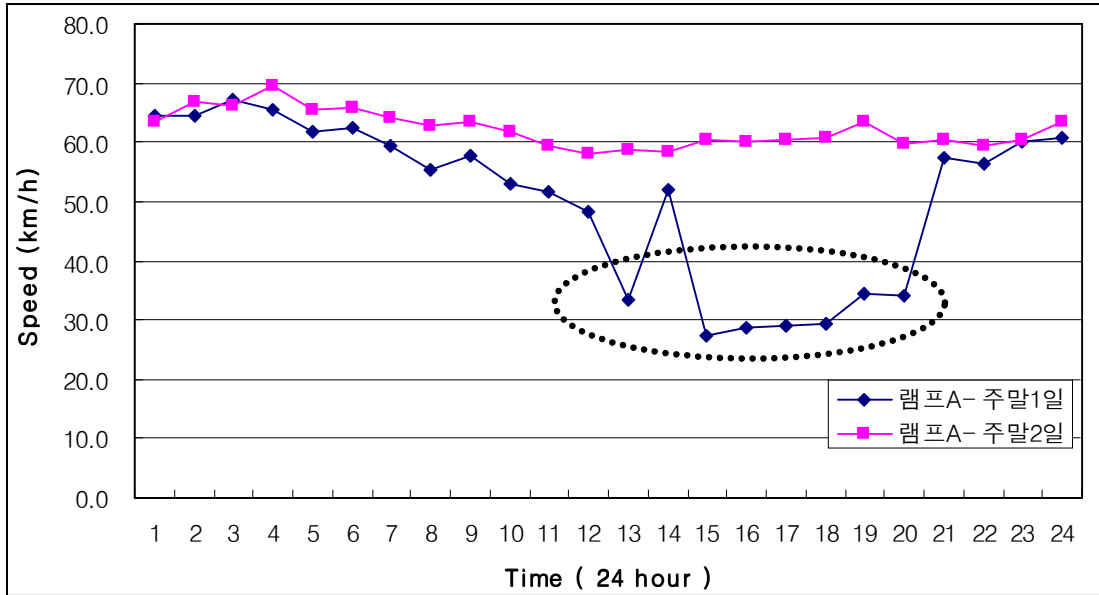
입램프별 시간대별로 속도특성을 고려하고, 도시고속도로의 본선 및 유입 램프교통류  
 율의 집중도를 적절히 조절하여 본선의 통행속도가 최대로 유지될 수 있는 도시고속  
 도로 관리체계가 수립되어야 할 것으로 생각되었다.

<표 2.3> 조사대상 합류지점의 공간평균속도(km/h)

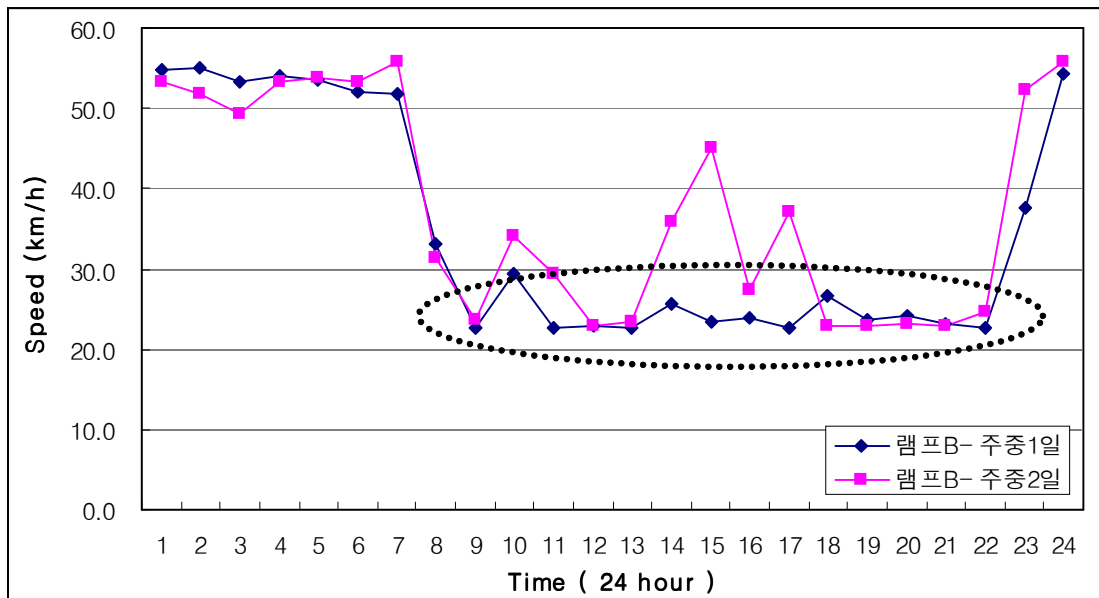
시간대별		합류지점	문현 램프접속부 A	대연 램프접속부 B
주중	최대		67.0(오후)	56.6(오후)
	최소		26.2(오전)	22.5(오전)
주말	최대		69.6(오후)	56.2(오후)
	최소		28.4(오전)	22.9(오전)



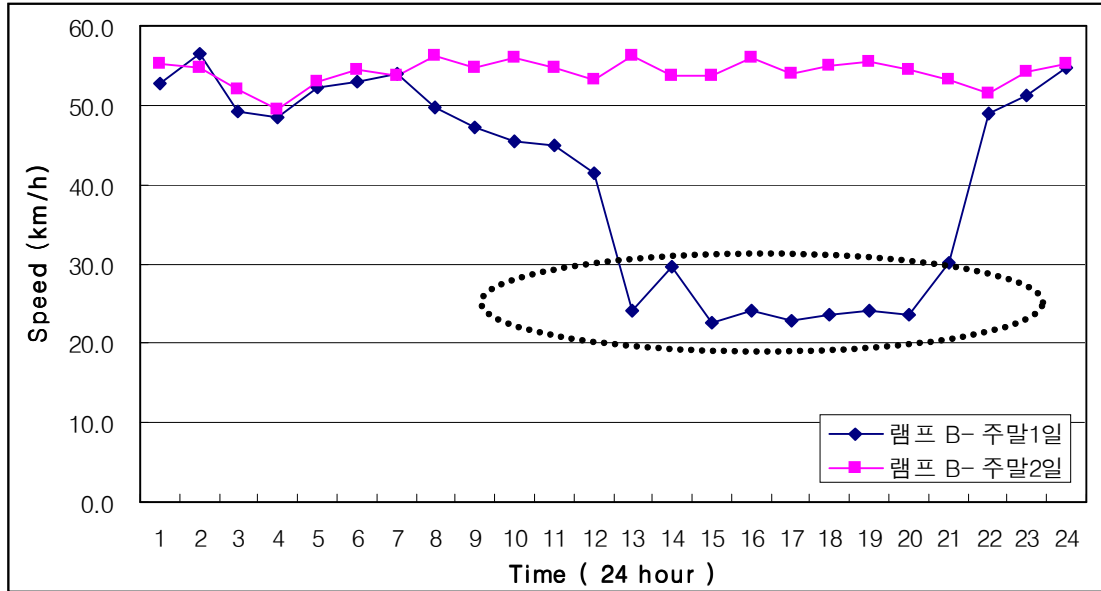
<그림 2.5> 주중 24시간 속도분포(합류지점 A)



<그림 2.6> 주말 24시간 속도분포(합류지점 A)



<그림 2.7> 주중 24시간 속도분포(합류지점 B)



<그림 2.8> 주말 24시간 속도분포(합류지점 B)

### 2.3 밀도분석

밀도(density)는 단위시간동안의 승용차 환산 교통류율과 공간평균속도로부터 산출되는 단위구간 내 차량수로서 그 단위는 passenger car per kilometer per lane(pc/km/l)로 표현되며, 진입램프 접속 부내 밀도는 다음과 같이 산정된다.

$$k = \frac{q}{u_s} \quad (2.7)$$

여기서,

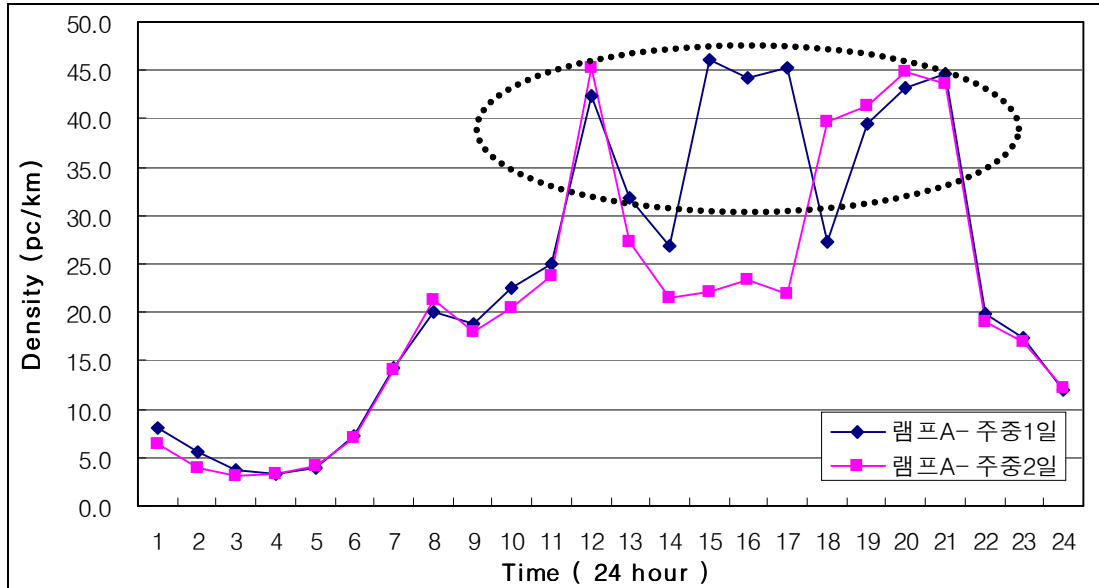
$k$  : 평균 밀도(pc/km/l)

진입램프 접속부내 밀도 분석결과 첨두시간대의 구별이 뚜렷하지 않고 도심에 근접한 램프일수록 밀도가 상대적으로 높게 나타났고, 특히 오후시간대에 보다 높은 밀도와 함께 램프접속부에서 용량을 초과하여 심각한 와해현상을 보이는 것으로 나타났다(참조 <표2.4>,<그림2.9, 2.10, 2.11, 2.12>).

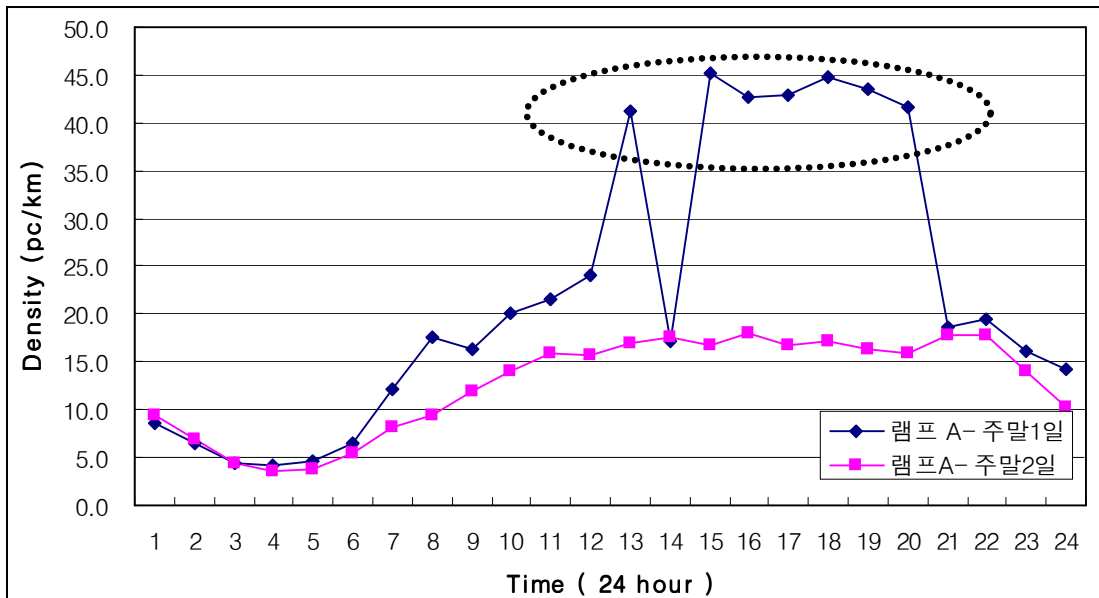
특히, 합류지점 A(문현 램프접속부)에서는 오전시간대보다는 오후시간대에 높은 밀도와 함께 차량이 집중하면서 주말과 주중의 밀도가 거의 비슷하게 나타났으나, 합류지점 B(대연 램프접속부)에서는 상대적으로 주중 주간시간대에 높은 밀도를 보이면서 차량이 집중하는 것으로 나타났으며, 주말에는 오후시간대를 중심으로 높은 밀도를 보였다(참조 <그림 2.9, 2.10, 2.11, 2.12>). 따라서 도시고속도로의 진입램프 접속부에서 진입램프별 시간대별로 차량이 집중하는 밀도특성을 고려하고, 도시고속도로의 본선 및 유입 램프교통류율의 집중도를 적절히 조절하여 본선의 차량밀도가 최대한으로 분산될 수 있는 도시고속도로 관리체계가 수립되어야 할 것으로 생각되었다.

<표 2.4> 조사대상 합류지점의 평균밀도(pc/km)

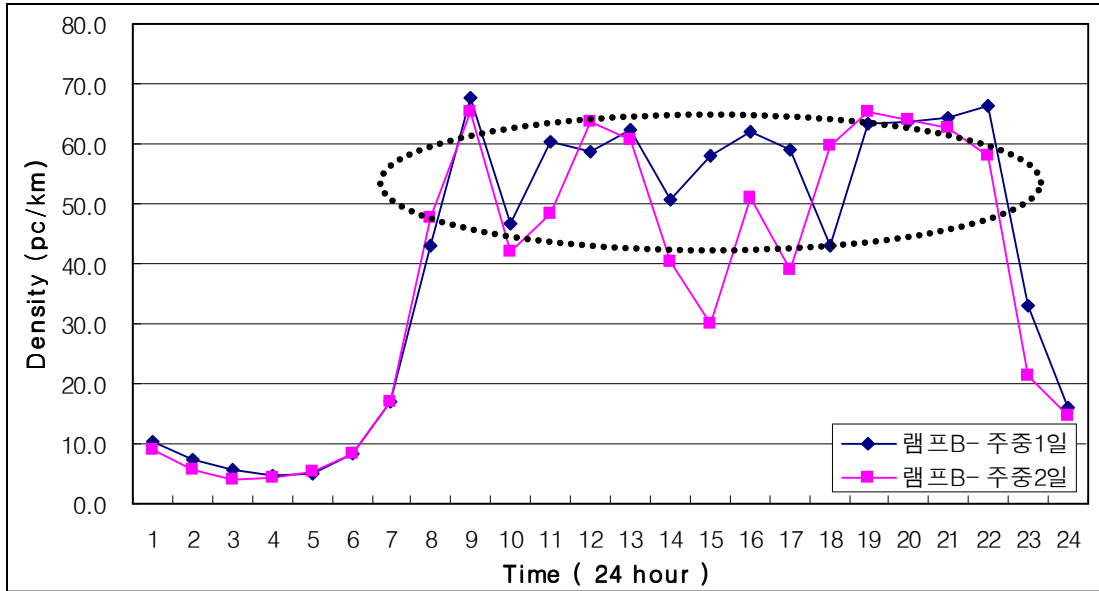
시간대별		합류지점	문현 램프접속부 A	대연 램프접속부 B
주중	최대		46.1(오후)	67.6(오전)
	최소		3.4(오전)	4.5(오전)
주말	최대		45.3(오후)	65.4(오후)
	최소		3.1(오전)	4.0(오전)



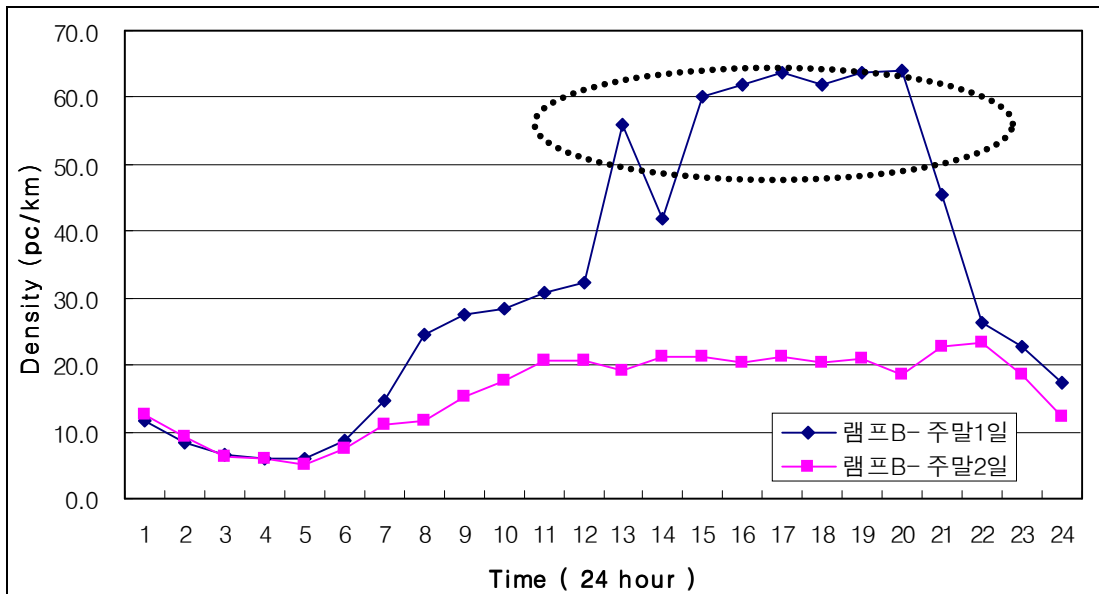
<그림 2.9> 주중 24시간 밀도의 분포(합류지점 A)



<그림 2.10> 주말 24시간 밀도의 분포(합류지점 A)



<그림 2.11> 주중 24시간 밀도의 분포(합류지점 B)



<그림 2.12> 주말 24시간 밀도의 분포(합류지점 B)

## 제 3 장 모형 구축 및 검증

본 연구대상 도시고속도로의 진입램프 접속부내 영향권의 교통특성 분석결과와 실시간 자료를 중심으로 주중과 주말의 속도/밀도모형을 구축하고 검증하였다.

### 3. 1 구축방법

본 연구대상 도시고속도로의 진입램프 접속부내 속도/밀도모형을 구축하기 위해 사용된 변수들은 다음과 같다.

$u_s$  : 진입램프 접속부내 공간평균속도(km/h)

$k$  : 진입램프 접속부내 밀도(pc/km)

특히, 모형구축에 있어서 회귀모형이 적용되었고, 공간평균속도( $u_s$ )는 종속변수로, 밀도( $k$ )는 독립변수로 사용되었으며, 선형모형의 적합성과 타당성이 확인되었다.

### 3. 2 모형구축

본 연구대상 도시고속도로의 진입램프 접속부내에서 관측된 교통특성자료(속도와 밀도)를 중심으로 다음과 같은 속도/밀도의 선형모형을 구축하였다.

$$u_s = \alpha - \beta k \quad (3.1)$$

여기서,



$\alpha$  : 속도/밀도모형의 회귀계수 (km/h)

$\beta$  : 속도/밀도모형의 회귀계수 (pc/km)

본 연구대상 램프접속부의 상·하향류 및 램프 교통류에 대해 최적의 속도/밀도의 선형모형이 구축되었으며, 모형의 결정계수 ( $R^2$ )의 값이 대체적으로 0.9이상으로 나타남으로써 선형의 속도/밀도모형의 구축에 높은 설명력을 나타내고 있었다(참조 <표 3.1>).

<표3.1> 조사대상 합류지점의 모형구축

합류지점	주중/주말	모형	$R^2$
합류지점 A	주중	$u_s = 71.336 - 0.929k$	0.929
	주말	$u_s = 70.968 - 0.914k$	0.929
합류지점 B	주중	$u_s = 58.291 - 0.556k$	0.945
	주말	$u_s = 59.48 - 0.574k$	0.916

### 3. 3 모형검증

#### 3. 3. 1 검증방법

본 연구대상 도시고속도로의 진입램프 접속부내에서 관측된 실측자료를 중심으로 구축된 속도/밀도모형을 검증하기 위하여 모형구축에 사용되지 않는 실측된 자료와 이전 3.2절에서 구축된 모형으로부터 예측된 자료를 바탕으로 구축된 모형이 실제상황에서 발생하는 현상들을 정확히 나타내는지 판단하기 위하여 통계적 검정법인  $t$ -검정법과  $\chi^2$ -검정법 등을

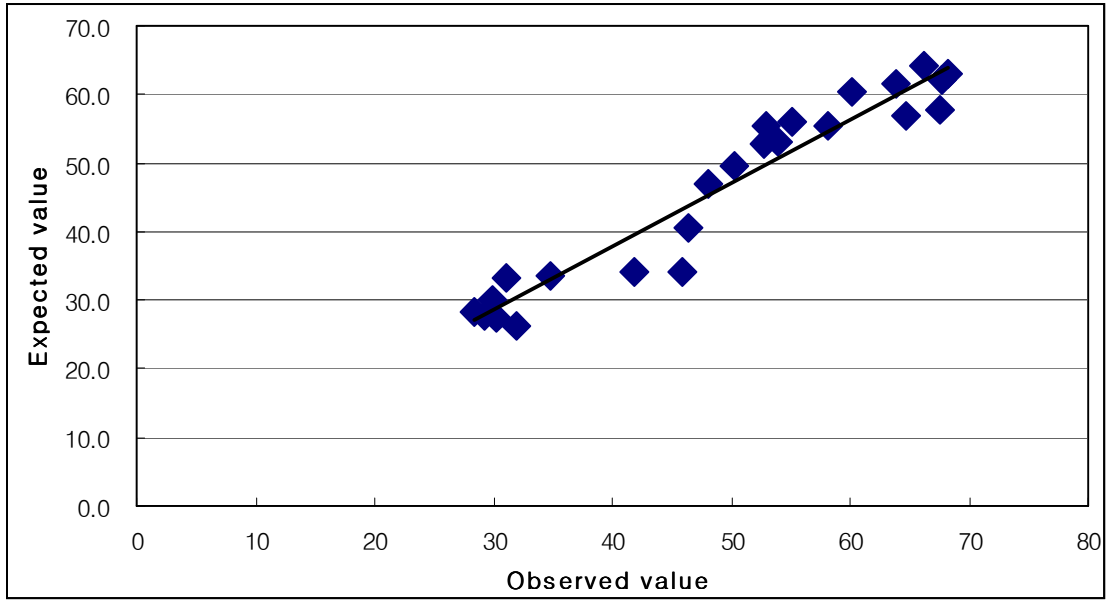
적용하여 모형을 검증해야하지만, 본 연구에서는 검증방법으로 상기의 통계적 방법을 사용하지 않고, 실측자료와 속도/밀도모형으로부터 예측된 예측자료사이의 상관관계분석(correlation analysis)을 통해서 모형을 검증하였다.

### 3. 3. 2 모형 검증

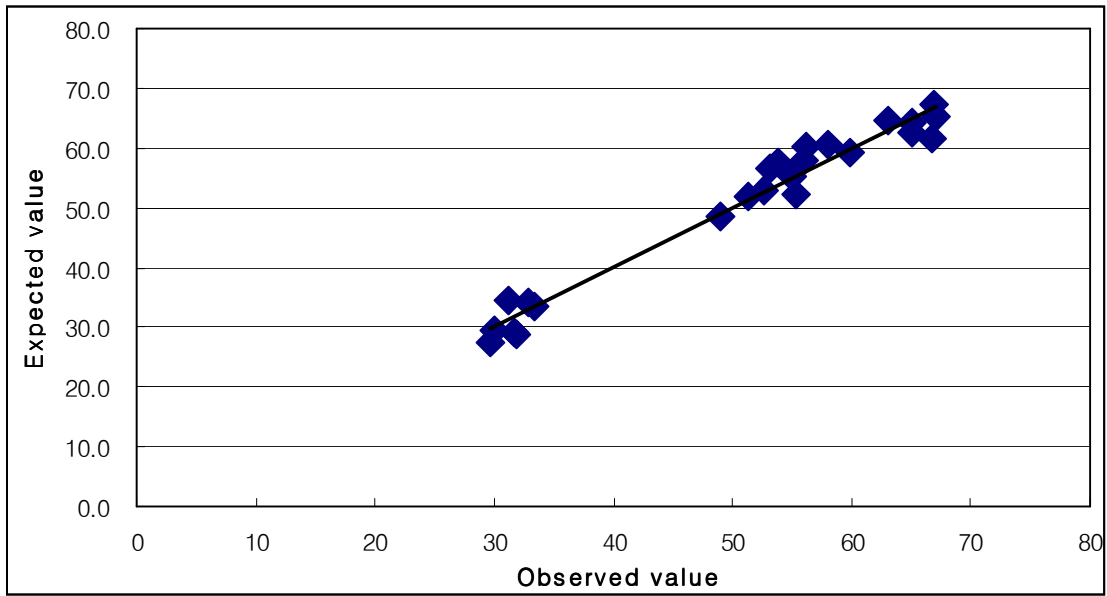
본 연구대상 램프접속부에서 구축된 속도/밀도모형을 검증하기 위해서 실측자료와 예측자료간의 상관관계분석(correlation analysis)을 실시한 결과, 합류지점 A와 B는 주중과 주말에 있어서 상관계수가 0.9이상으로 높은 상관성과 설명력을 보이는 것으로 분석되었다(참조 <표 3.2>, <그림3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20>).

<표 3.2 > 조사대상 합류지점의 모형검증

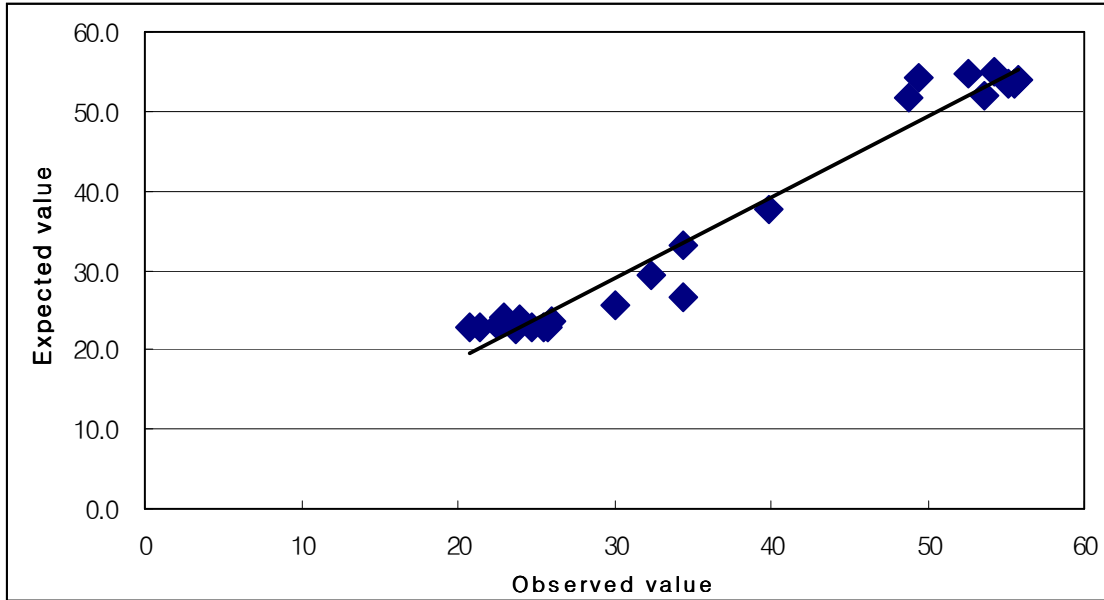
비교 상관계수	문현 램프접속부 합류지점 A		대연 램프접속부 합류지점 B	
	주중	주말	주중	주말
<i>R</i>	0.975	0.923	0.935	0.933



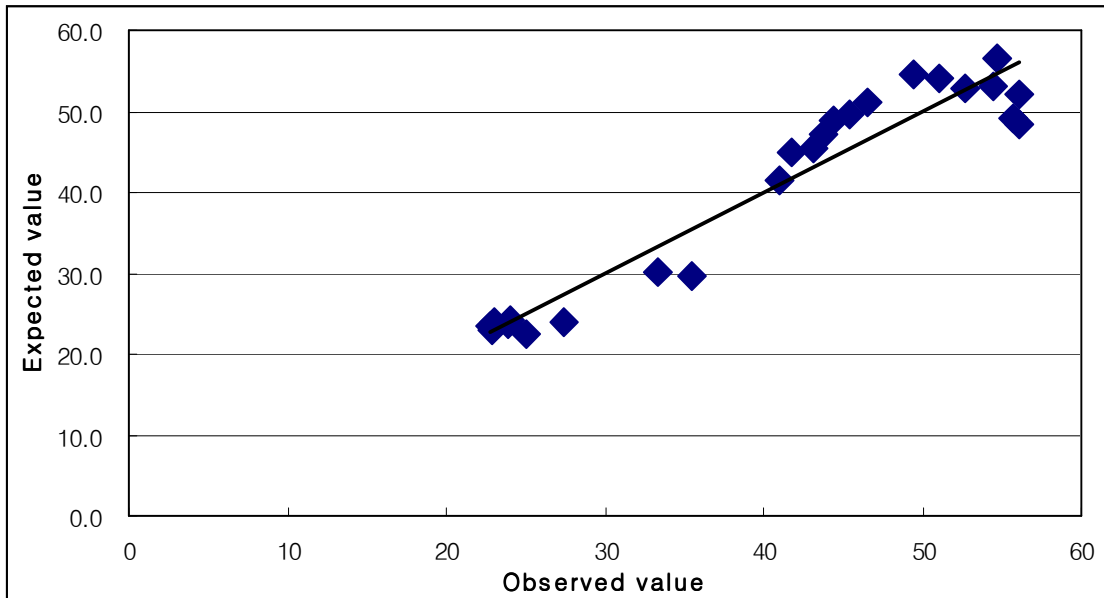
<그림 3.1> 주중 모형의 검증(합류지점 A)



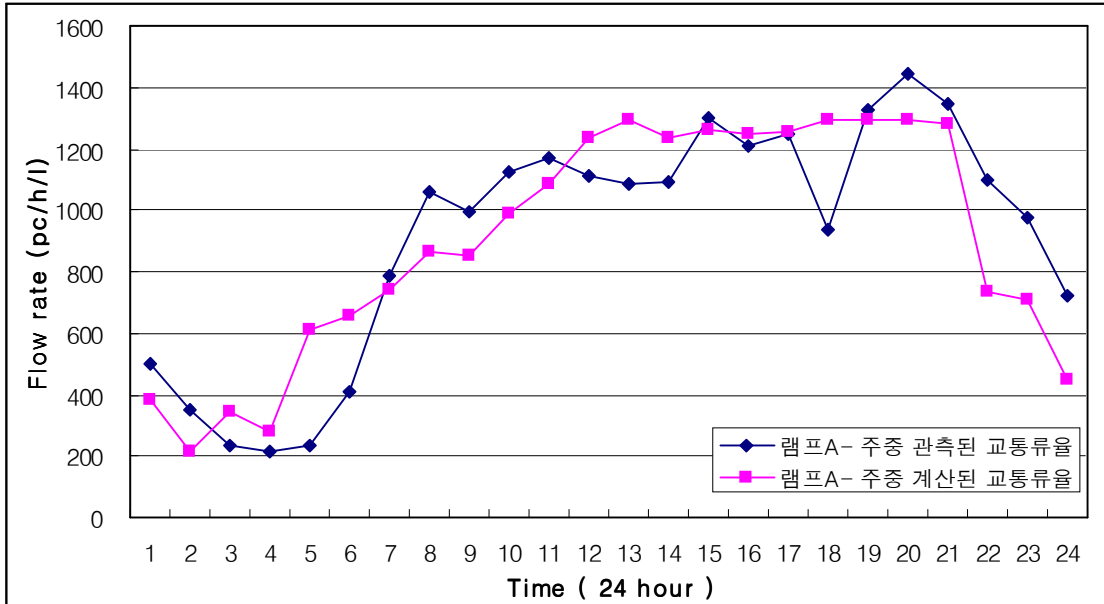
<그림 3.2> 주말 모형의 검증(합류지점 A)



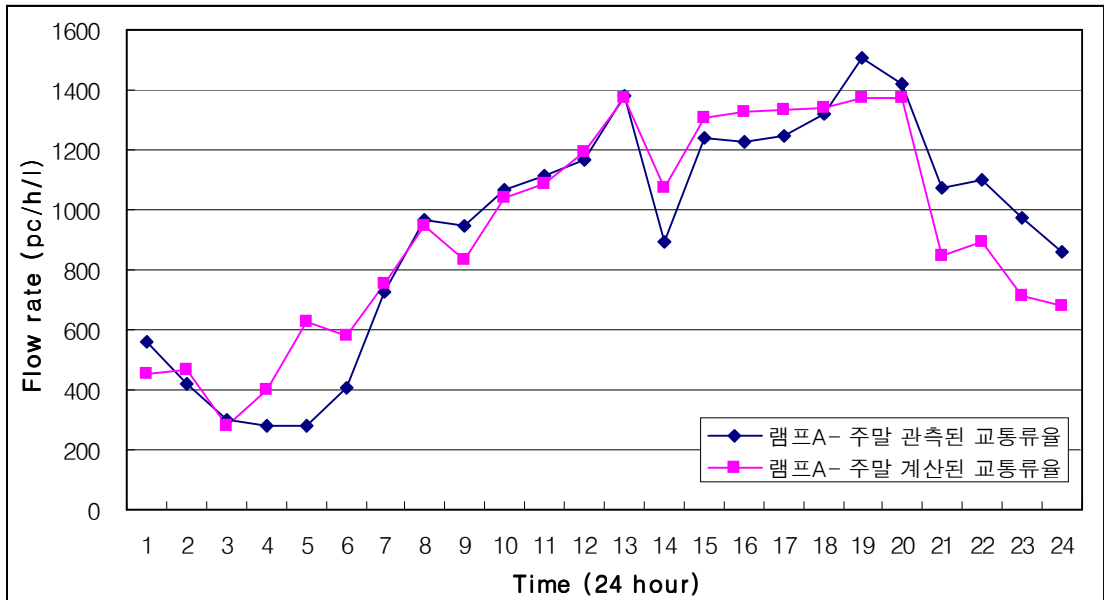
<그림 3.3> 주중 모형의 검증(합류지점 B)



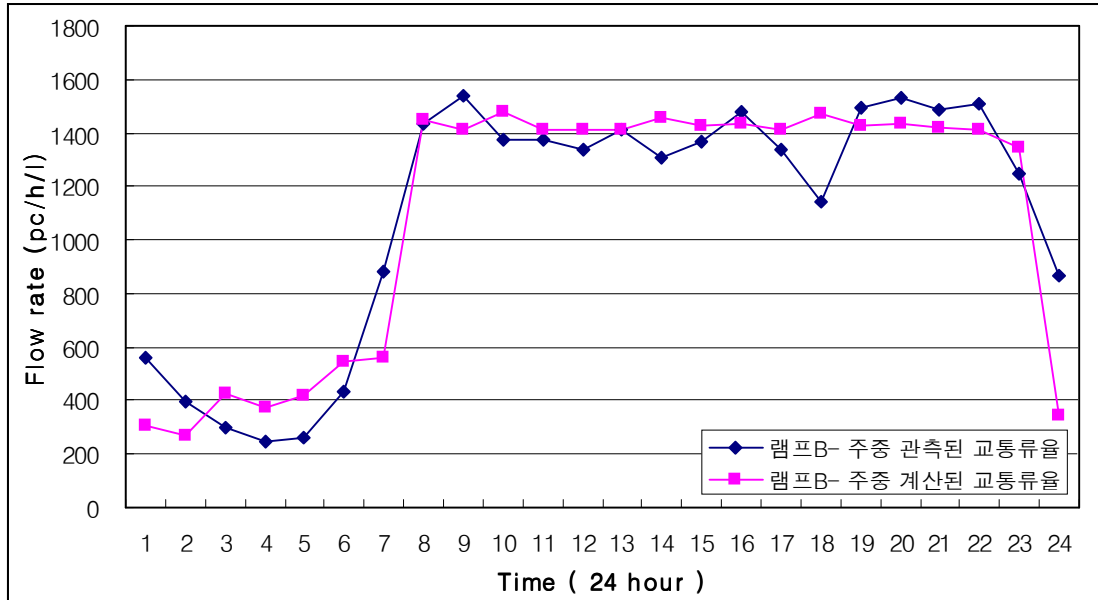
<그림 3.4> 주말 모형의 검증(합류지점 B)



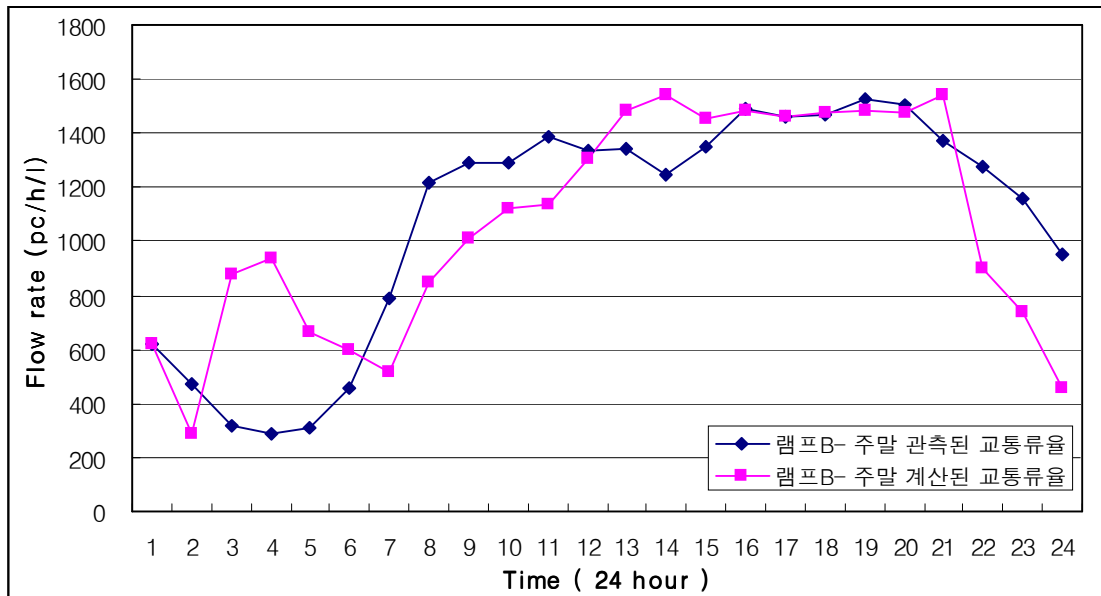
< 그림 3.5 > 주중에 관측된 교통류율와 계산된 교통류율의 비교도 (합류지점 A)



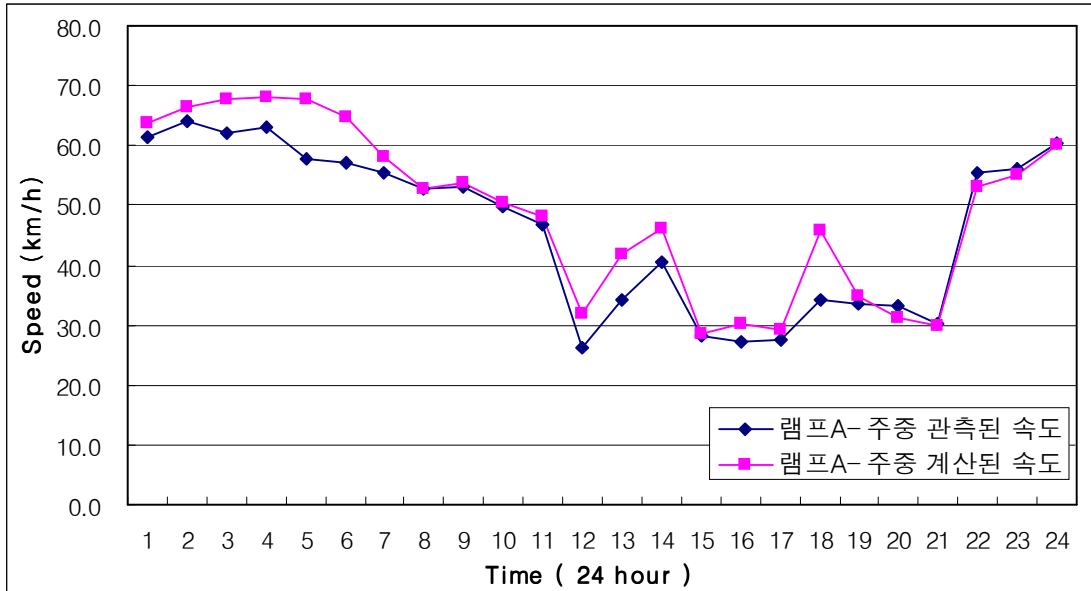
< 그림 3.6 > 주말에 관측된 교통류율와 계산된 교통류율의 비교도 (합류지점 A)



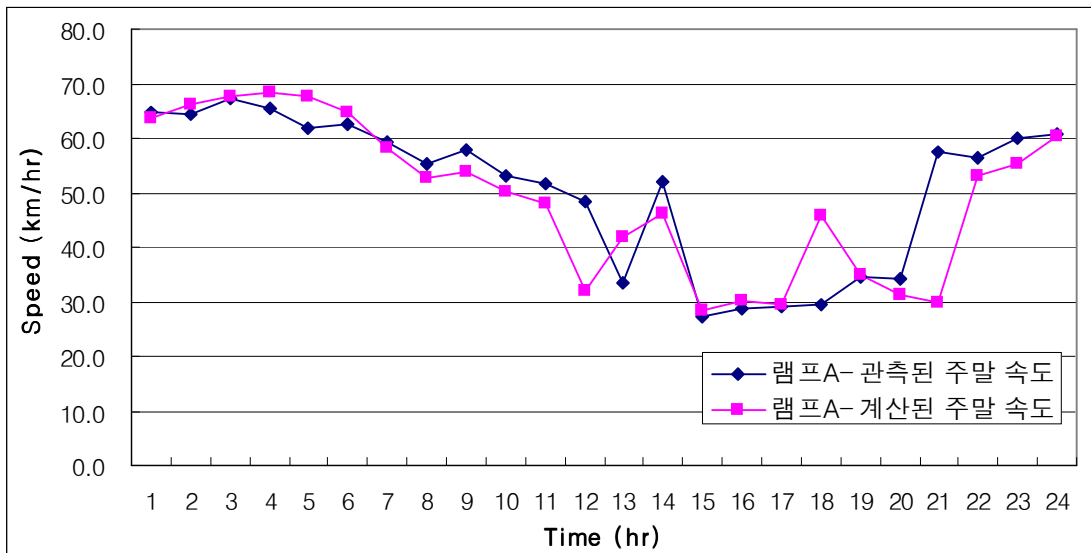
< 그림 3.7 > 주중에 관측된 교통류율와 계산된 교통류율의 비교도 (합류지점 B)



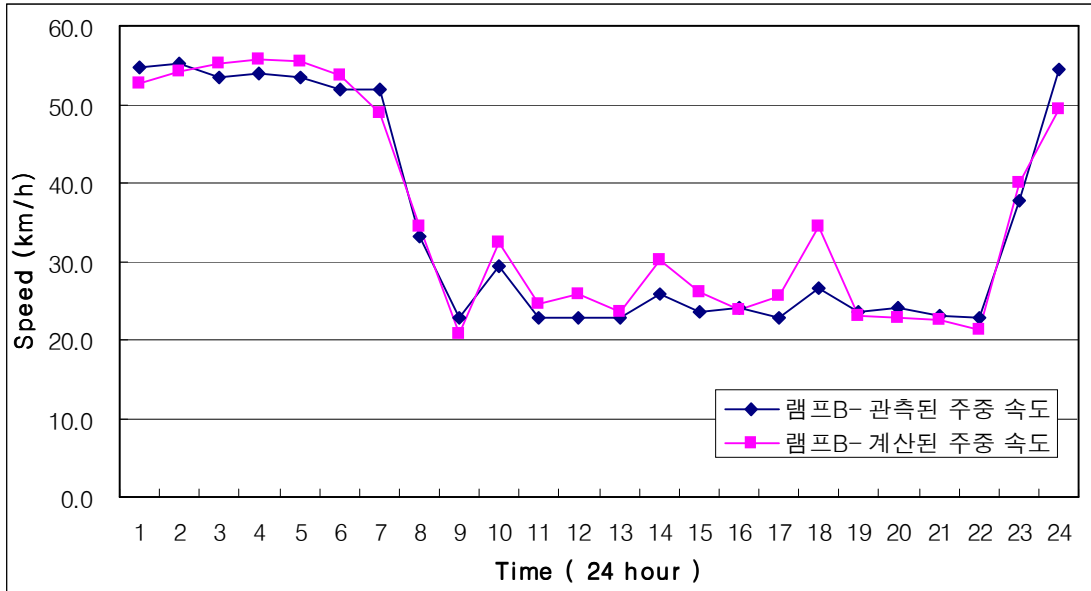
< 그림 3.8 > 주말에 관측된 교통류율와 계산된 교통류율의 비교도 (합류지점 B)



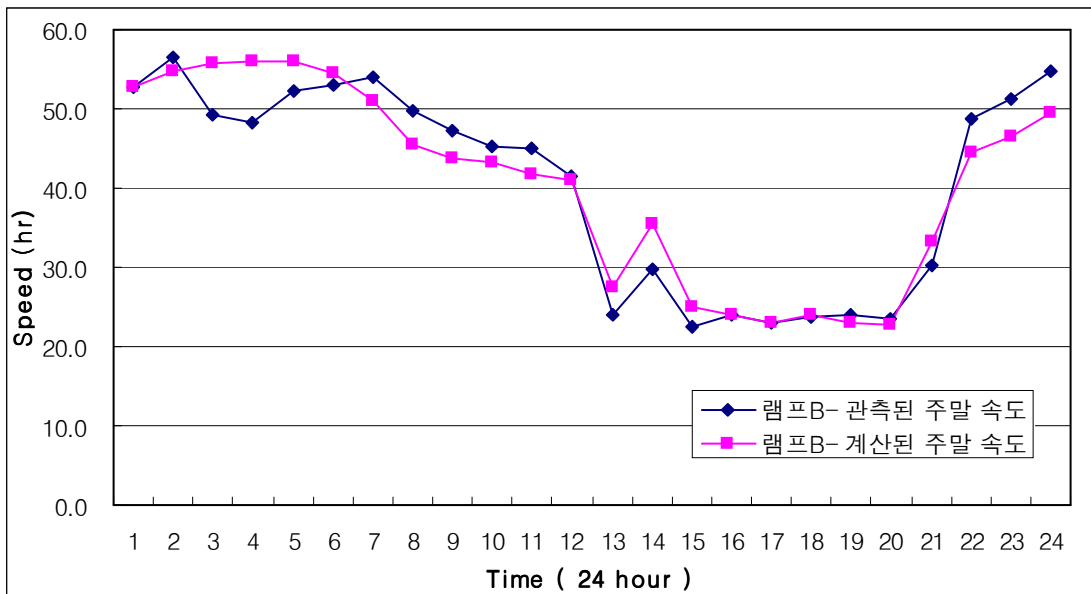
< 그림 3.5 > 주중에 관측된 속도와 계산된 속도의 비교도 (합류지점 A)



< 그림 3.6 > 주말에 관측된 속도와 계산된 속도의 비교도 (합류지점 A)

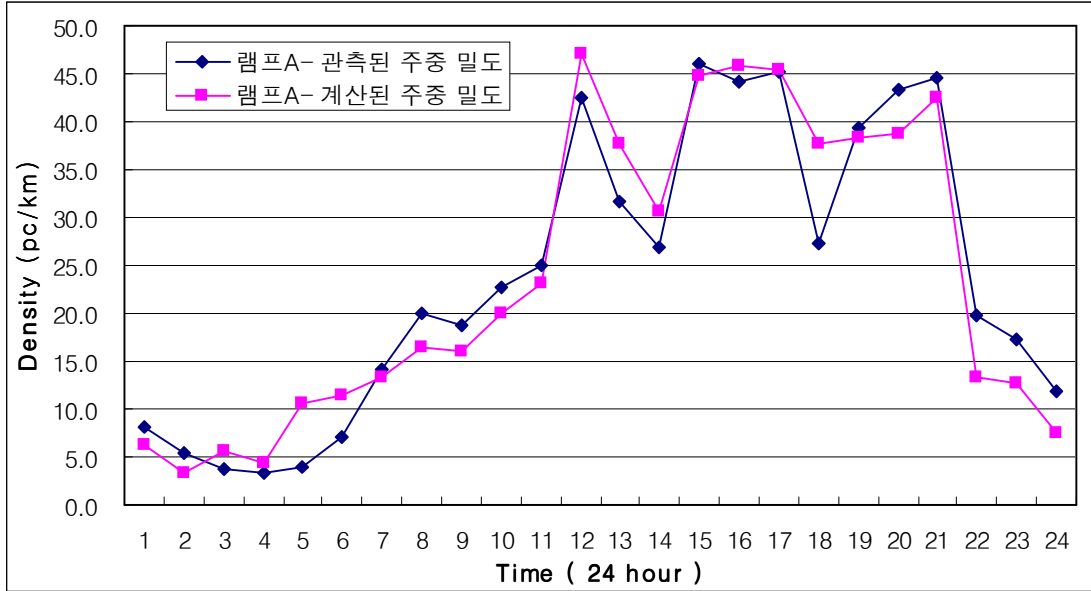


< 그림 3.7 > 주중에 관측된 속도와 계산된 속도의 비교도 (합류지점 B)

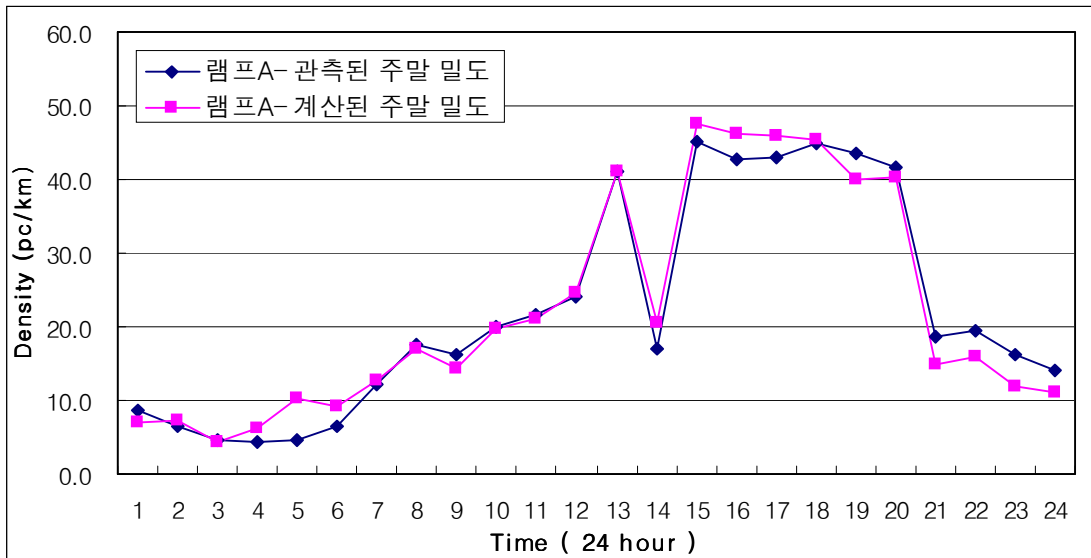


< 그림 3.8 > 주말에 관측된 속도와 계산된 속도의 비교도 (합류지점 B)

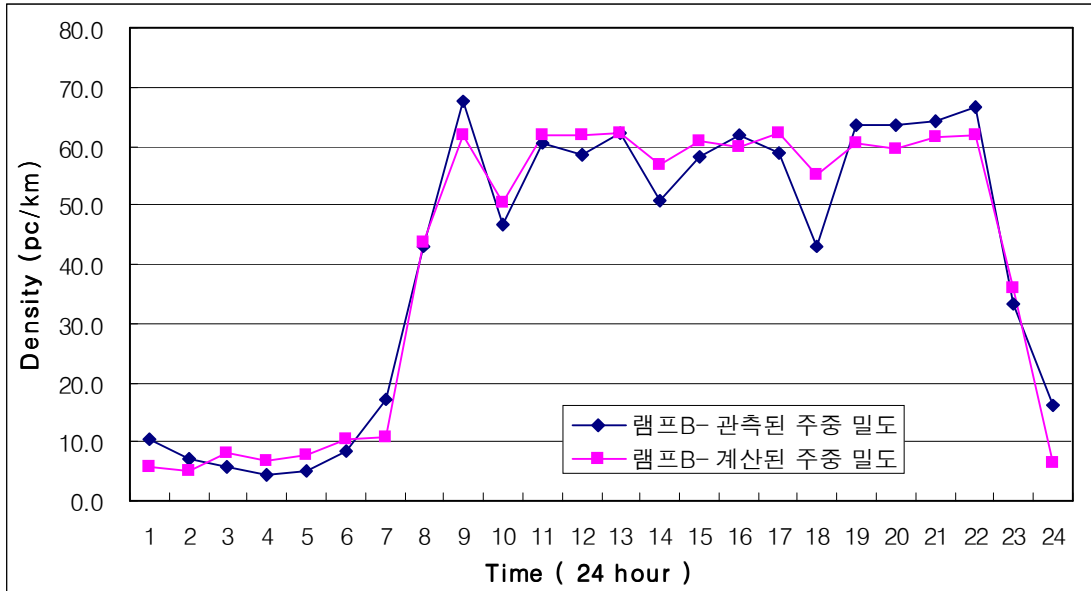




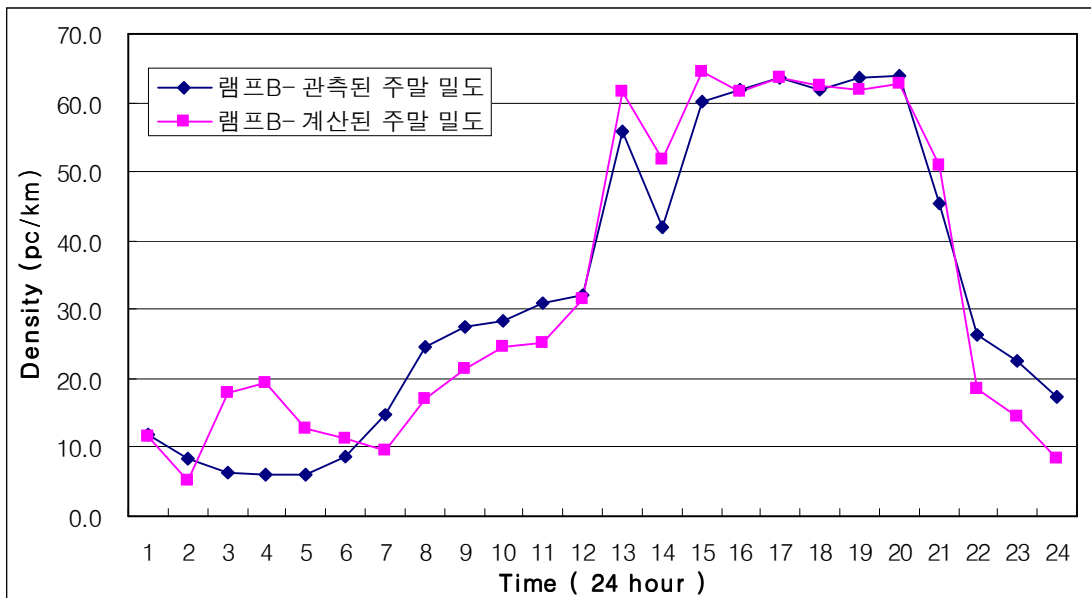
< 그림 3.9 > 주중에 관측된 밀도와 계산된 밀도의 비교도 (합류지점 A)



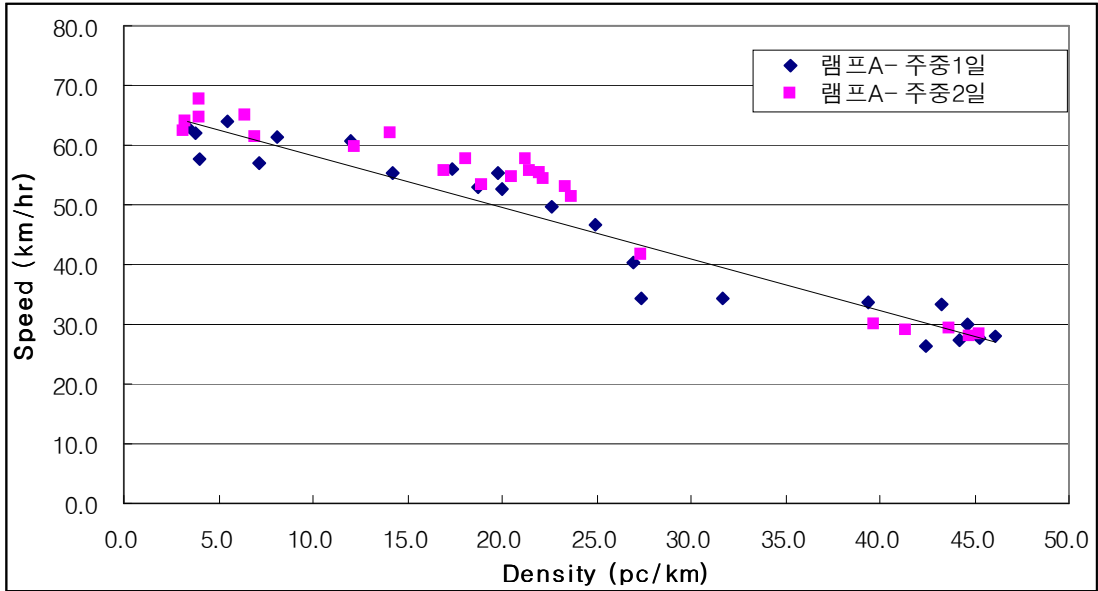
< 그림 3.10 > 주말에 관측된 밀도와 계산된 밀도의 비교도 (합류지점 A)



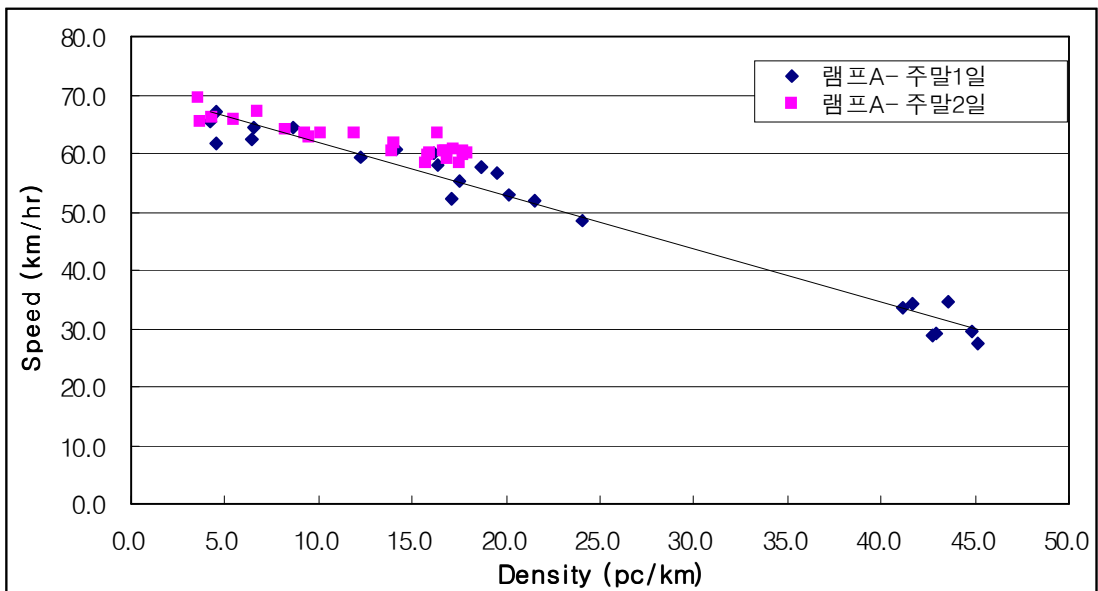
< 그림 3.11 > 주말에 관측된 밀도와 계산된 밀도의 비교도 (합류지점 B)



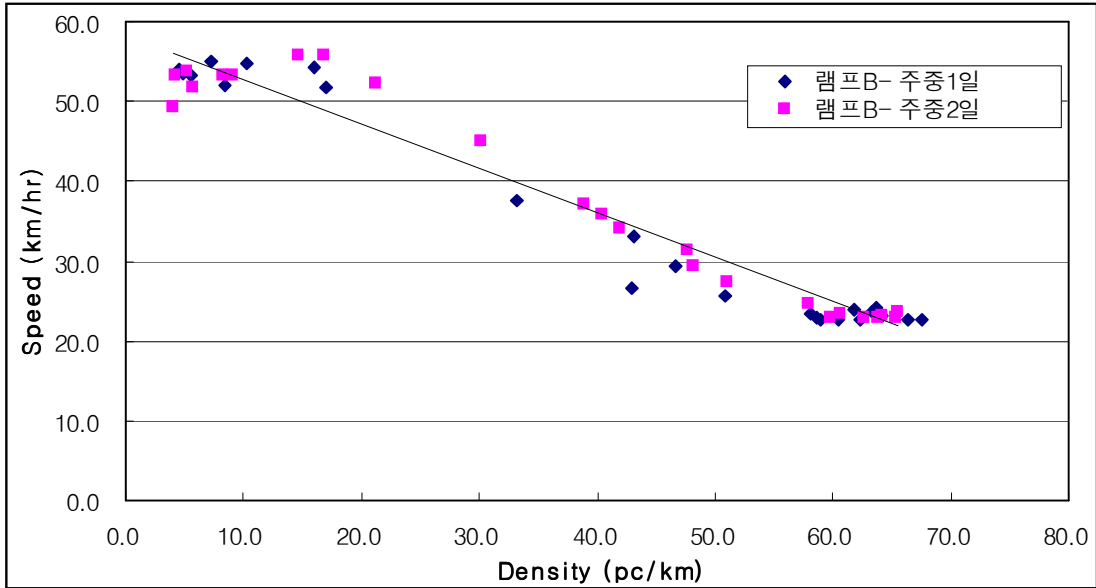
< 그림 3.12 > 주말에 관측된 밀도와 계산된 밀도의 비교도 (합류지점 B)



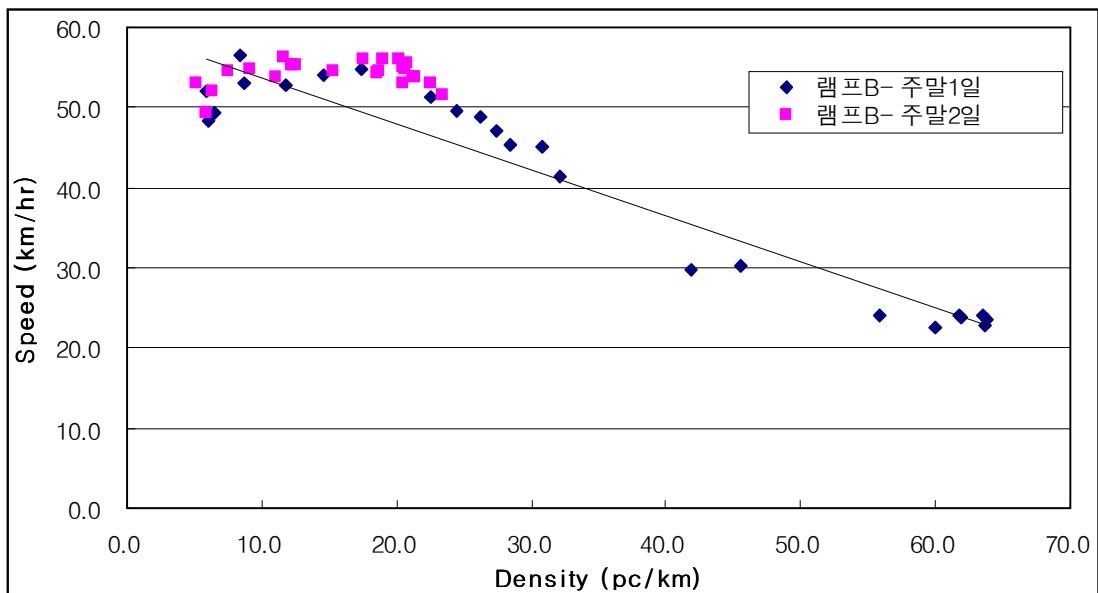
< 그림 3.13 > 주중 속도와 밀도의 관계 (합류지점 A)



< 그림 3.14 > 주말 속도와 밀도의 관계 (합류지점 A)



< 그림 3.15 > 주중 속도와 밀도의 관계 (합류지점 B)



< 그림 3.16 > 주말 속도와 밀도의 관계 (합류지점 A)

## 제 4 장 용 량 평 가

### 4.1. 평가 방법

일반적으로 용량이란 주어진 시간 내에 주어진 도로조건, 교통조건 및 교통운영조건 아래에서 도로 또는 차로의 균일 구간이나 지점을 통과 할 수 있는 합리적인 최대 시간교통량을 말하며 이것은 도로의 운행상태를 평가하여 기존 도로의 개선방안을 세우는데 중요한 지표가 된다. 그러나 용량은 노면의 상태나 기후조건에 따라 변할 수도 있는데 여기에서는 이러한 영향이 없다는 가정 하에 용량 평가를 실시하였다.

본 연구대상 진입램프 접속부의 교통특성자료를 대상으로 구축 검증된 속도/밀도모형과 교통류율사이의 관계로부터

$$q = k u_s \quad (4.1)$$

이고, 여기에 식 (3.1)을 대입하여 교통류율과 속도와의 2차 함수관계를 유도하면

$$q = \frac{\alpha u_s - u_s^2}{\beta} \quad (4.2)$$

이 된다.

그런데 최대 교통류율과 속도와의 상호 관계로부터 최대교통류율을 산정하면

$$\frac{dq}{du_s} = 0 \quad (4.3)$$

이 되어야 하고, 여기에 식 (4.1)을 대입하면

$$\frac{d}{du_s} \left( \frac{\alpha u_s - u_s^2}{\beta} \right) = \frac{\alpha - 2u_s}{\beta} = 0 \quad (4.4)$$

이 되므로,

교통류율이 최대교통류율 상태에 도달할 때의 임계속도( $u_m$ )와 최대교통류율( $q_M$ )을 산정하면

$$u_m = \frac{a}{2} \quad (4.5)$$

$$q_M = \frac{a^2}{4\beta} \quad (4.6)$$

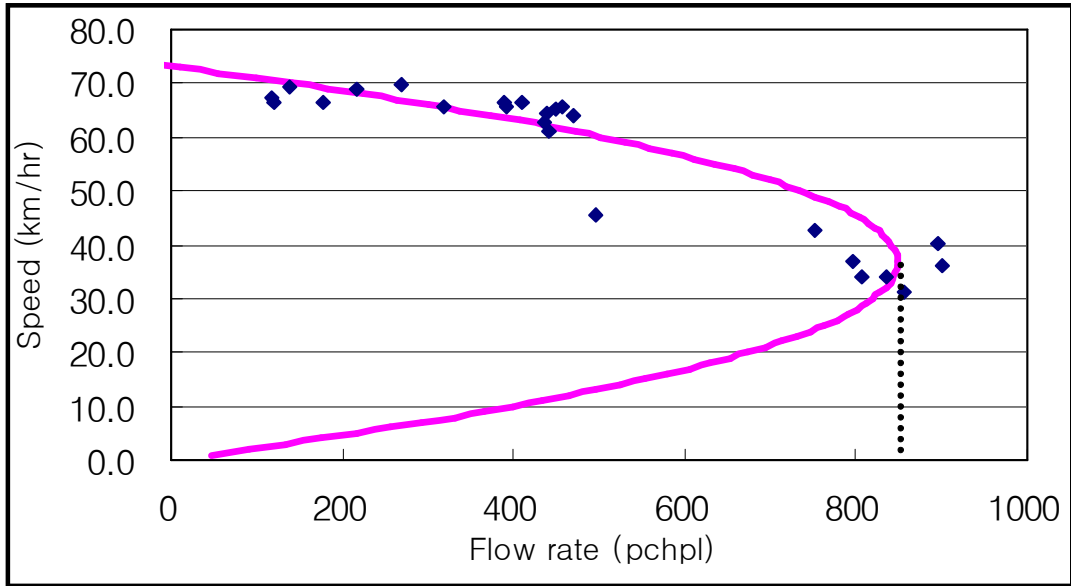
이 된다.

여기서,

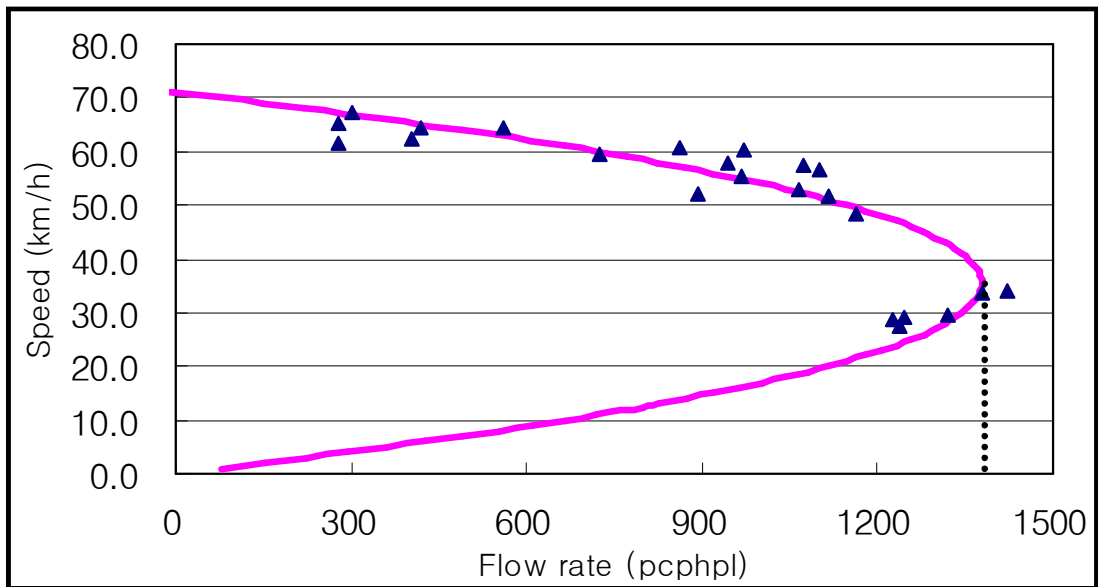
$u_m$  : 임계속도(km/h)

$q_M$  : 최대 교통류율(pc/h/l)

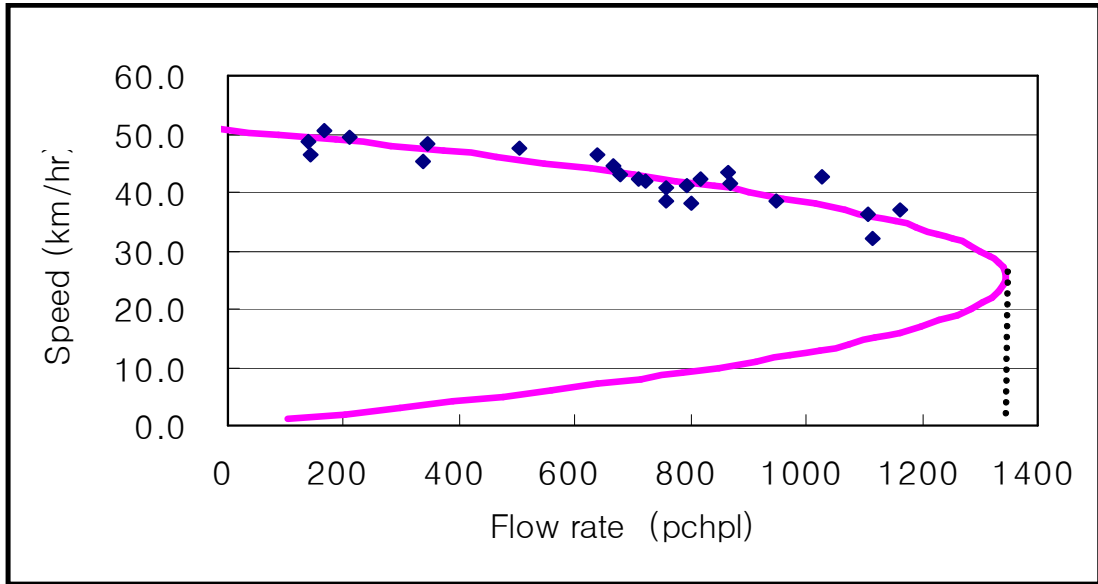
본 연구대상 진입램프 접속부에 대한 용량평가를 실시한 결과 도심지역에 근접한 합류지점 A(문현 램프접속부)의 최대교통류율(용량)은 약 1,400pc/h/l이하로 평가되었고, 도심에서 다소 떨어진 합류지점 B(대연 램프접속부)의 최대교통류율(용량)이 약 1,600pc/h/l이하로 평가됨으로써 도로 용량편람의 최대교통류율(용량) 2,100pc/h/l에 비하여 약 24%~33%정도 용량이 감소되는 것으로 확인되었다(참조<그림 4.1, 4.2, 4.3, 4.4>).



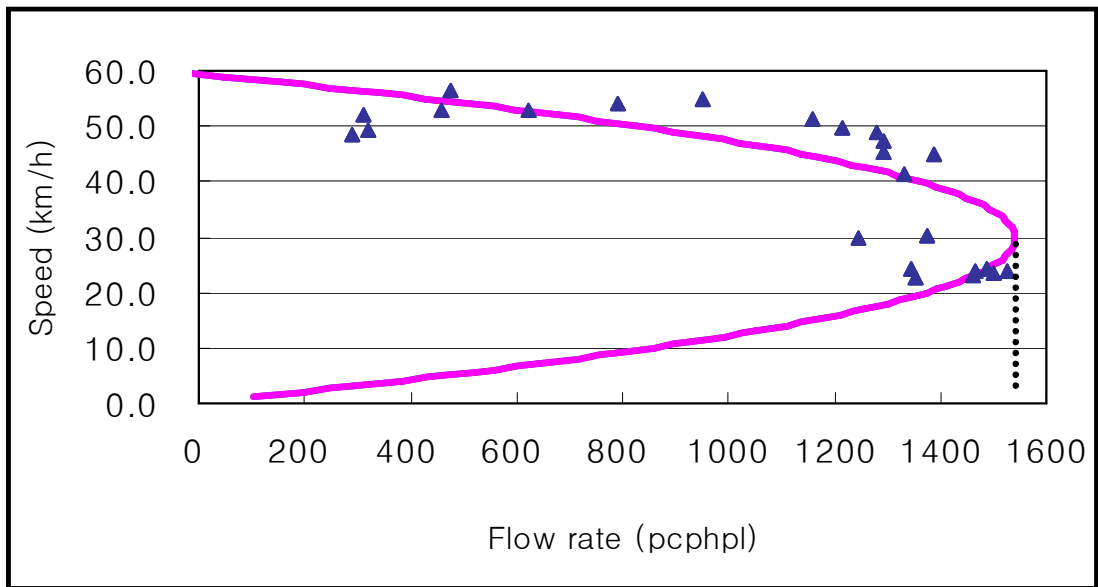
<그림 4.1> 주중 최대교통류율의 평가(문현 램프접속부 합류지점 A)



<그림 4.2> 주말 최대교통류율의 평가(대연 램프접속부 합류지점 A)



<그림 4.3> 주중 최대교통류율의 평가(문현 램프접속부 합류지점 B)



<그림 4.4> 주말 최대교통류율의 평가(문현 램프접속부 합류지점 B)



## 제 5 장 결론 및 제안

본 연구대상 도시고속도로의 진입램프 접속부의 교통특성분석, 속도/밀도모형의 구축과 검증 그리고 용량평가를 통해서 다음과 같은 결론에 도달하게 되었다.

- i) 교통류율의 분포는 진입램프별로 주중과 주말 그리고 시간별로 상당한 차이를 보였고, 침투 현상도 진입램프의 도심과의 근접여부에 따라 차이를 보였으며, 특히 중·대형차량의 혼재율은 시간별로 현저한 차이를 보이고 있어서 중·대형차량의 혼재율이 통행특성분석, 속도/밀도모형의 구축 및 용량평가에 있어서 주요 변수가 될 수 있다고 판단되었다.
- ii) 속도/밀도모형에 있어서  $R^2$  값이 대체적으로 0.9이상으로 나타남으로써 선택된 변수들이 모형구축에 높은 설명력을 나타내었고, 또한  $R^2$  값도 대체적으로 0.9이상으로 높은 상관성과 설명력이 있는 것으로 판단되었다.
- iii) 연구대상 램프접속부에 대한 용량평가의 결과 다소 차이를 보였으나, 합류지점 A(문현 램프 접속부)의 용량은 1,400pcphpl이하, 합류지점 B(대연 램프접속부)의 용량은 1,600pcphpl이하로 고속도로의 합류지점 용량(2,100pcphpl)에 비하여 약 24%~33%정도 감소하는 것으로 나타났다.
- iv) 도시고속도로의 주요 진입램프 접속부의 용량(1,400pcphpl~1,600pcphpl)평가를 통해 합류지점 A(문현 램프접속부)에 대해서는 차량이 집중하면서 속도가 급격히 떨어지는 오후시간대를 중심으로, 합류지점 B(대연 램프접속부)에 대해서는 차량이 집중하면서 속도가 급격히 떨어지는 주간시간대를 중심으로 램프미터링 시스템(ramp metering system)이나 실시간 가변정보시스템(changeable message sign, CMS) 도입 검토를 제안하고자 한다.

## 참 고 문 헌

- 1) TRB, "Highway Capacity Manual", Special Report 209, Washington. D. C., 2000, pp. 25-1~25-19.
- 2) 日本道路協會, 道路交通容量, 1984年 9月.
- 3) 한국건설기술연구원 · 교통개발연구원, 도로용량편람, 건설교통부 2004, pp 73~106.
- 4) Ning Wu, The Proposed New Version Of German Highway Capacity Manual, Traffic And Transportation Studies Proceeding of ICTTS '98, 1998, pp. 538~547'.
- 5) 이상관, " 도시가로에서 교통류특성과 교통용량 산정기법에 관한 연구 ", 영남대학교 산업기술연구논문집, Vol. 3 No.1, 2000.
- 6) 김상구, "고속도로합류구간 교통특성 및 용량모형식 연구", 대한교통학회연구논문집, Vol. 15 No.1, 1997.
- 7) 이정수, " 고속도로 연결로 분석기법에 대한 평가 ", 대한교통학회 연구논문집, Vol. 10 No.1, 1992..
- 8) Masao Kuwahara, Masaki Koshi, and Takashi Suzuki, "Capacity and Speed of Weaving Sections of Tokyo Metropolitan Expressway", ITE Journal, March 1991, pp. 27-32
- 9) 김승길, "70mph 제한속도를 갖는 고속도로 연결로 접속부에서의 속도예측모형 구축에 관한 연구", 한국해양대학교 대학원 학위논문, 2000.
- 10) 서혜선의 4명 "SPSS를 활용한 회귀분석", (주)데이터솔루션, 2001, pp. 164~200.
- 11) 정충영외1인, "SPSSWIN을 활용한 통계분석", 무역경영사, 2003, pp.174~187,190~228.

