

공학석사 학위논문

도시고속도로의 유입연결로 접속부내 선형의
속도-밀도모형 구축에 관한 연구

The Linear Speed-Density Models on the On-Ramp
Junction in the Urban Freeway

지도교수 김 태 곤

2006년 8월

한국해양대학교 대학원

토목환경공학과 김 정 서

本 論 文 을 김 정 서 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

위 원 장 김 도 삼 (인)

위 원 경 갑 수 (인)

위 원 김 태 곤 (인)

2006년 8월

한 국 해 양 대 학 교 대 학 원

목 차

NOMENCLATURE	iii
LIST OF TABLES	iv
LIST OF FIGURES	v
ABSTRACT	vii
제 1 장 서 론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 목적 및 필요성	1
1.3 문헌고찰	2
1.3.1 도로용량편람의 검토	2
1.3.2 기존 연구사례	3
1.4 연구방법 및 내용	4
1.4.1 자료의 조사지점	4
1.4.2 자료 조사방법	5
1.4.3 자료의 분석방법	6
제 2 장 자료 분석	8
2.1 교통류율	8
2.2 속도	14

2.3 밀도	18
제 3 장 모형 구축 및 검증	22
3.1 구축방법	22
3.2 모형구축	22
3.3 모형검증	30
3.3.1 검증방법	30
3.3.2 모형검증	30
제 4 장 결론 및 제안	37
참 고 문 헌	38

NOMENCLATURE

v	hourly volume in veh/hour
v_{15}	volume during the peak 15min of the peak hour, veh/15min
PHF	peak-hour factor
f_{HV}	heavy-vehicle adjustment factor
p_M	proportion of medium vehicle(6m~12m) in the traffic stream, %
p_L	proportion of large vehicle(more then 12m) in the traffic stream, %
E_M	passenger-car equivalents for medium vehicle in the traffic stream
E_L	passenger-car equivalents for large vehicle in the traffic stream
Q	hourly passenger-car equivalent flow rate, pc/hour
Q_i	peak 15-minute passenger-car equivalent flow rate, pc/15min
U_s	space mean speed, km/hour
u_i	speed in speed interval, km/hour
f_i	frequency in speed interval
n	number of speed interval
K	average density, pc/km
α	regression coefficient, km/h
β	regression coefficient, km ² /h/pc

LIST OF TABLES

Table 1. 1	On-ramp conditions under the study	4
Table 1. 2	Types of vehicle and passenger car equivalents	6
Table 1. 3	Speed intervals and mean values(km/h)	6
Table 2. 1	Peak hour factors(PHF) and percentage of heavy vehicles	11
Table 2. 2	Flow on the on-ramps under the study	11
Table 2. 3	Speed on the on-ramps under the study	15
Table 2. 4	Density on the on-ramps under the study	19
Table 3. 1	Linear models at the on-ramps under the study(1-day DB)	23
Table 3. 2	Linear models at the on-ramps under the study(4-day DB)	24
Table 3. 3	Correlation coefficients by the linear model (1-day DB)	31
Table 3. 4	Correlation coefficients by the linear model (4-day DB)	31

LIST OF FIGURES

Fig. 1. 1	On-ramp geometry under the study	5
Fig. 1. 2	Flow chart for this study	7
Fig. 2. 1	Flow distribution of on-ramp A	12
Fig. 2. 2	Flow distribution of on-ramp B	12
Fig. 2. 3	Flow distribution of on-ramp C	13
Fig. 2. 4	Flow distribution of on-ramp D	13
Fig. 2. 5	Speed distribution of on-ramp A	16
Fig. 2. 6	Speed distribution of on-ramp B	16
Fig. 2. 7	Speed distribution of on-ramp C	17
Fig. 2. 8	Speed distribution of on-ramp D	17
Fig. 2. 9	Density distribution of on-ramp A	20
Fig. 2.10	Density distribution of on-ramp B	20
Fig. 2.11	Density distribution of on-ramp C	21
Fig. 2.12	Density distribution of on-ramp D	21
Fig. 3. 1	Speed-density curve on the on-ramp A(1-day DB)	25
Fig. 3. 2	Speed-density curve on the on-ramp B(1-day DB)	26
Fig. 3. 3	Speed-density curve on the on-ramp C(1-day DB)	27
Fig. 3. 4	Speed-density curve on the on-ramp D(1-day DB)	28
Fig. 3. 5	Speed-density curve on the on-ramp (4-day DB)	29
Fig. 3. 6	Observed & expected speeds on the on-ramp A (1-day DB)	32
Fig. 3. 7	Observed & expected speeds on the on-ramp B (1-day DB)	33
Fig. 3. 8	Observed & expected speeds on the on-ramp C (1-day DB)	34

Fig. 3. 9	Observed & expected speeds on the on-ramp D	
	(1-day DB)	35
Fig. 3.10	Observed & expected speeds on the on-ramp	
	(4-day DB)	36

The Linear Speed-Density Models on the On-Ramp Junction in the Urban Freeway

Jeong-Seo Kim

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

ABSTRACT

Generally, urban freeways connect the urban area to the suburban areas or circulate along the circumference of the suburban areas in the big city. Today most of the urban freeways are experiencing a severe congestion with the mixed traffic on the on-ramp junction during the peak periods.

The purpose of this study was to identify the real-time traffic characteristics, construct the speed-density models depending on the areas and the directions and finally verify the models constructed. From the analyses of the real-time traffic characteristics, and the construction and verification of the speed-density models, the following results were obtained:

- i) Real-time traffic characteristics(flow, speed, occupancy, the mixed rate of the medium and large vehicles, etc.) in the urban freeway on-ramp junctions under the study showed a distinct difference depending on the time periods, the on-ramps and the directions. Especially, they did a big difference depending on the closeness of the urban area during the peak periods.

- ii) The mixed rate of the medium and large vehicles in the urban freeway on-ramp junctions under the study were shown to be an important factor in the analyses of the real-time traffic characteristics and the construction of the speed-density models by showing a considerable difference depending on the time periods.

- iii) Constructing the linear speed-density models in the urban freeway on-ramp junctions under the study showed a considerable explanatory power with the determination coefficients(R^2) of over 0.70 between the speed and the density data based on the real-time traffic characteristic data.

- iv) Verifying the linear speed-density models constructed in the urban freeway on-ramp junctions under the study also showed a considerable correlativeness with the correlation coefficients(r) of over 0.83 between the observed speed data and the expected speed data estimated by the linear models constructed.

Thus, it was concluded that the linear modeling would be considerably valid in the analysis of the speed-density relationship on the urban freeway on-ramp junctions in the country.

제 1 장 서론

1.1 연구 배경

일반적으로 도시고속도로(urban freeway)란 도시지역 내 고속도로로 안전하고 효율적이며 대량의 교통량을 처리하는 핵심 간선도로로 출퇴근시간대를 제외하고는 거의 자유흐름속도(free flow speed, FFS)를 유지하는 도로를 의미하지만, 오늘날 대부분의 도시고속도로는 용량에 비하여 통행량의 급격한 증가로 인하여 출퇴근시간대에 관계없이 극심한 정체에 시달리고 있는 실정이다.

그런데 대부분의 도시지역에서는 새로이 유발되는 통행수요에 비하여 도시고속도로의 공급이 턱없이 부족하고, 이러한 도시고속도로시설의 공급을 위한 가용재원의 확보에 있어서도 한계에 직면하고 있기 때문에 가용재원의 허용범위 내에서 새로운 도시고속도로시설의 확충 및 확장도 필요하겠지만, 기존 도시고속도로시설 내 진출입연결로 접속영향권의 교통특성분석을 통해 운영방안을 수립하여 효율성을 증대시키는 것이 더욱 중요한 연구과제로 대두되고 있다.

1.2 연구 목적 및 필요성

상기에서 이미 언급했듯이 당초 도시고속도로는 도시지역의 핵심 간선도로이기 때문에 차량의 이동성과 통행의 효율성을 증대시킬 목적으로 건설되고 있으나, 도시고속도로를 대신할 대체도로시설의 부족으로 많은 차량들이 도시고속도로에 집중하고 있다.

또한 도시고속도로와 주변 서비스도로와의 연계체계가 미비함으로써 도시고속도로의 진출입연결로 접속영향권에서 교통체증이 날로 심화되어 도시고속도로의 본래 기능이 상실되고 있는 실정이다.

더구나 도시고속도로의 진출입연결로 접속영향권은 출퇴근시간대에 진출입차량과 본선통과차량사이의 엇갈림 현상으로 교통사고 및 정체가 자주 발생하는 구간이고, 차량의 과도한 진출입통행으로 지체가 심화되어 진출입연결로 접속영향권의 소통능력이 현저히 감소하는 구간으로서 도시고속도로 관리방안의 필요성이 절실히 요구되는 지역이다.

따라서 이 연구에서는 연구대상지역으로 부산지역 내 제1도시고속도로(변영로)의 유입연결로 접속부 중에서 도심과 부도심에 근접하고 교통정체가 심한 유입연결로 접속부를 선정하여 i)도로 및 교통특성자료의 조사와 분석을 실시하였고, ii)도로 및 교통특성자료의 분석결과를 바탕으로 밀도를 추정하였으며, iii)추정된 밀도를 바탕으로 속도-밀도의 선형모형을 구축 검증하여 제시하고자 한다.

1.3 문헌고찰

1.3.1 도로용량편람의 검토

1) 미국의 도로용량편람(USHCM, 2000)

2000년도 미국의 도로용량편람¹⁾(highway capacity manual, HCM)에서는 고속도로 진출입연결로 접속영향권의 서비스수준을 산정하는 효과척도(measure of effectiveness, MOE)로 밀도를 제시하고 있는데 진출입연결로 접속영향권의 밀도가 6(pcpkmpl)이하일 경우 서비스수준을 A로 하고, 22(pcpkmpl)초과일 경우 서비스수준을 E로 제시하고 있으며, 정체상태인 서비스수준 F는 연결로 접속부의 영향권 밀도가 용량(4,600pcph)을 초과할 경우에 존재한다고 언급하고 있다.

2) 한국의 도로용량편람(KHCM, 2001)

한국의 도로용량편람(KHCM)²⁾에서도 2000년도 미국의 도로용량편람(USHCM(2000))에서와 같이 고속도로 진출입연결로 접속영향권의 서비스수준

을 산정하는 효과척도로 밀도를 제시하고 있는데, 고속도로 연결로 접속부 영향권의 밀도는 보조차로를 포함하여 접속차로로부터 두 개 차로의 평균밀도로서 영향권 내 밀도가 6(pcpkmpl)이하일 경우 서비스수준을 A로 하고, 22(pcpkmpl)초과일 경우 서비스수준을 E로 하며, 정체상태인 서비스수준 F는 연결로 접속부의 영향권 밀도가 용량(4,600pcph)을 초과할 경우에 존재한다고 언급하고 있다.

1.3.2 기존 연구사례

외국의 연구사례로 Greenshields(1934)³⁾는 일찍이 속도와 밀도사이의 선형관계모형을 소개하면서 선형의 속도-밀도모형은 적용하기 가장 쉽고 확실하며 모형과 관측 자료사이의 상관성에 대해서 역설하고 있고, Huber(1957)⁴⁾도 속도와 밀도사이의 선형관계모형 연구에서 높은 상관성을 강조하고 있다.

반면 Greenberg(1959)는 속도와 밀도사이의 선형관계모형 대신 로그(logarithm)관계모형을 소개하면서 통행량이 많은 지역에서는 로그모형이 모형과 관측 자료사이에 상당히 효과적이라고 강조하고 있고, Underwood(1961)⁵⁾는 통행량이 적은 지역에 대해서는 선형관계모형대신에 지수관계모형이 오히려 더 효과적이라고 역설하고 있다.

또한 Edie(1961)⁶⁾는 통행량이 많고 적은 지역을 동시에 표현하기 위한 특성관계모형으로서 Greenberg모형과 Underwood모형의 통합모형을 제시하고 있다.

국내의 연구사례로 이상관⁷⁾외 1인(2000)은 우리나라의 도시가로에 대한 교통류 특성과 용량 산정기법에 관한 연구를 수행하면서 우리나라의 도시가로에 가장 적합한 속도-밀도 모형으로 Greenshields모형을 제시하고 있다.

1.4 연구방법 및 내용

1.4.1 자료의 조사지점

이 연구의 자료조사대상구간은 부산지역의 남북을 가로지르는 제1도시고속도로(번영로)의 도심과 부도심지역에 근접하고 과다한 진입차량으로 정체가 가중되는 4개의 유입연결로를 연구대상 유입연결로로 선정하였다.

이 도시고속도로의 본선은 양방향 4차로(제한속도 80km/h)이고, 각 연결로는 1차로(제한속도 50km/h)로 가속차로는 아래와 같이 평행식 형태를 취하고 있다(참조 Fig. 1.1).

특히, 도심지역내 부도심방향의 유입연결로 접속부 A(문현)와 B(대연)는 접속부 영향권 내에 터널이 위치하고 있어 본선에 진입하는 차량과 터널에 대한 영향으로 일반 접속부에 비하여 속도 및 소통능력이 다소 감소하는 지역이다.

또한 부도심지역내 도심방향의 유입연결로 접속부 C(망미)와 D(원동)는 유입연결로의 교통량 집중과 본선구간의 접속부 주변에 속도감시카메라가 설치되어 있어 유입연결로를 통해 본선에 진입하는 차량과 속도감시카메라에 대한 영향으로 일반 접속부에 비하여 역시 속도 및 소통능력이 현저히 감소하는 지역으로 교통와해 현상이 자주 나타나 불안정류가 관측되는 상습적인 정체지역이다(참조 Table 1.1, Fig. 1.1).

Table 1.1 On-ramp conditions under the study

연결로 방향	연결로 이름	연결로 형태	연결로 접속부의 상황
도심지역의 부도심방향	A(문현)	유입 연결로	영향권 내 터널존재
	B(대연)	유입 연결로	영향권 내 터널존재
부도심지역 의 도심방향	C(망미)	유입 연결로	본선 접근부에 속도감시카메라 존재
	D(원동)	유입 연결로	본선 접근부에 속도감시카메라 존재

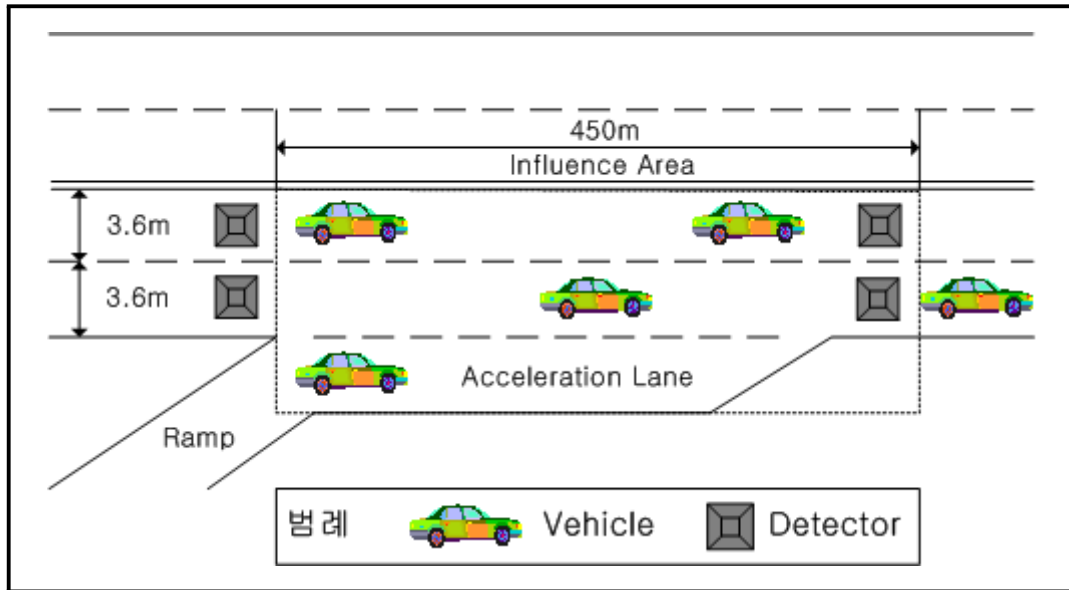


Fig. 1.1 On-ramp geometry under the study

1.4.2 자료 조사방법

이 연구대상 유입연결로의 접속부내 속도와 밀도 관계분석을 위한 특성자료 (교통량, 속도, 점유율, 차종별 교통량, 혼재비율, 차두시간과 구간속도의 분포, 접속부의 기하구조 및 통행특성 등)는 부산지역 내 양방향 4차로(차로폭원 3.6m)인 제1도시고속도로(변영로)의 도심과 부도심지역에 근접한 각각 2개의 유입연결로 접속부로 한정하여 연결로 접속부내 상류부, 하류부 및 연결로 상에 검지기(NC-97)를 설치하여 매 15분 간격으로 1일 24시간씩 2주일동안 실시간으로 관측되었다.

특히, 교통량은 차종별로 각각 6m이하, 6m이상 12m이하, 12m이상을 기준으로 소형, 중형, 대형으로 구분하여 15분 간격으로 수집되었으며(참조 Table 1.2~1.3), 우리나라의 도로용량편람(KHCM)에 기초하여 고속도로 기본구간인 평지형기준($-3\% < \text{Grade} < 3\%$)에 따라 승용차 환산계수(passenger car equivalent, PCE), 첨두시간계수(peak hour factor, PHF)와 중차량 보정계수(f_{HV})를 고려하였다.

Table 1.2 Types of vehicle and passenger car equivalents

types of vehicle	length of veh(L)	passenger car equivalent(PCE)
소형	$L \leq 6m$	1.0
중형	$6m < L \leq 12m$	1.5
대형	$L \geq 12m$	2.0

Table 1.3 Speed intervals and mean values(km/h)

speed interval	mean speed(u_i)	speed interval	mean speed(u_i)
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	≥ 112	115.5
56 ~ 63	59.5	-	-

1.4.3 자료의 분석방법

이 연구대상 유입연결로 접속부내 통행특성 및 속도특성분포가 주중과 주말에 상이하나 주말에 비하여 상대적으로 주중에 출퇴근통행으로 정체가 심화되기 때문에 주중자료를 중심으로 i)구간속도별 통행분포자료로부터 공간평균속도를 산정하고, ii)차종별 통행분포자료와 승용차 환산계수를 고려하여 승용차 단위의 교통류율을 산정하며, iii)교통류 이론에 기초하여 산정된 승용차 단위 교통류율과 공간평균속도와의 관계로부터 밀도를 추정하고, iv)공간평균속도와 추정밀도와의 선형성을 검토하여 최적의 속도-밀도 모형을 구축·검증하며, 마지막으로 v)구축·검증된 속도-밀도 모형과 기존의 모형과의 상호 관련성을 비교한다(참조 Fig. 1.2).

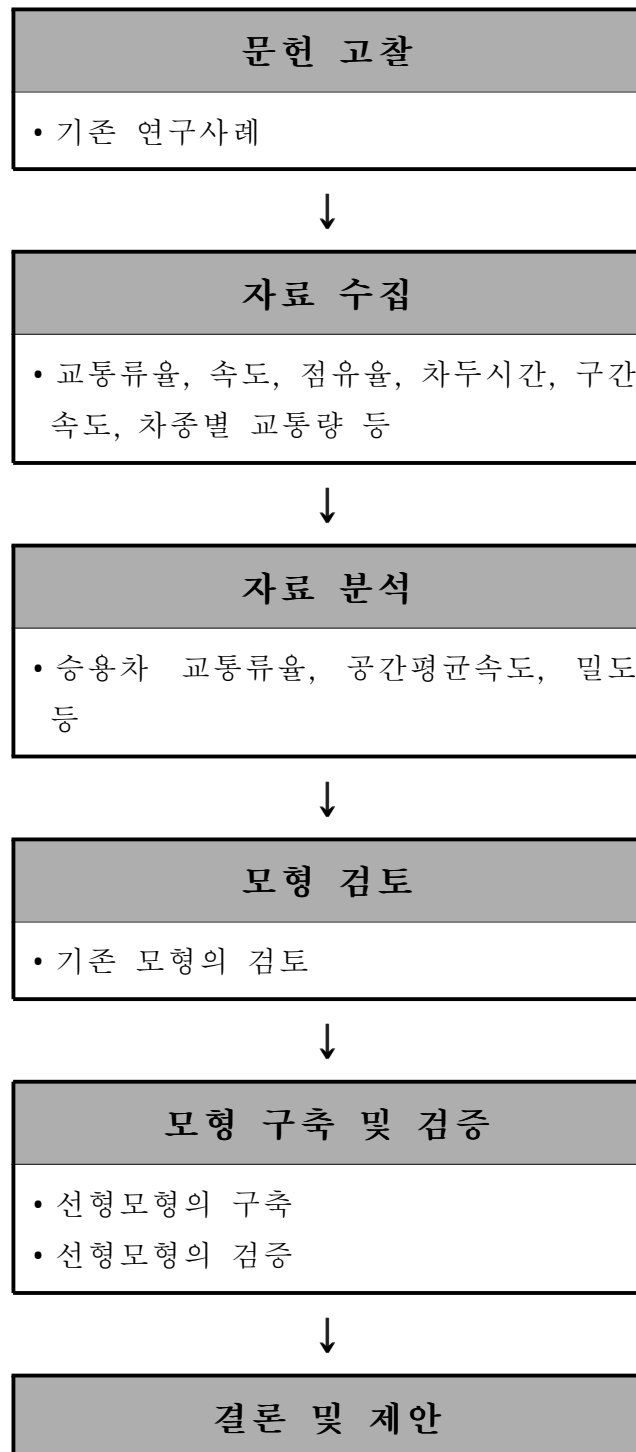


Fig. 1.2 Flow chart for this study

제 2 장 자료 분석

이 장에서는 연구대상 도시고속도로의 도심방향과 부도심방향의 유입연결로 접속부내 설치된 검지기로부터 관측된 주요 교통특성자료를 바탕으로 개별 교통특성분석과 함께 15분 간격의 교통류율, 공간평균속도 및 밀도사이의 상호 관계분석이 수행되었다.

2.1 교통류율

일반적으로 교통류율(flow rate)이란 단위시간동안 검지기를 통과한 차량의 수를 중차량 보정계수를 고려한 단위시간당 승용차 환산대수(passenger car equivalent, PCE)로 나타내고, 첨두시간교통류율은 15분단위의 교통류율과 첨두시간계수를 고려하여 산정된 첨두 1시간 교통류율로서 pc/h로 나타내는데, 이 연구대상 유입연결로 접속부내에서 관측된 교통류율은 15분단위시간의 교통류율로서 1시간단위 교통류율과 첨두교통류율은 다음과 같이 산정된다.

$$v = \sum_{i=1}^4 v_i \quad (2. 1)$$

$$PHF = \frac{v}{4 \times v_{15}} \quad (2. 2)$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + p_M(E_M - 1) + p_L(E_L - 1)} \quad (2. 3)$$

$$Q_i = \frac{v_i}{PHF \times f_{HV}} \quad (2. 4)$$

$$Q = \sum_{i=1}^4 Q_i \quad (2. 5)$$

여기서,

- v : 1시간 단위의 교통류율(veh/h/l)
- v_i : 15분 단위의 교통류율(veh/15min/l)
- v_{15} : 15분 단위의 침투교통류율(veh/15min/l)
- PHF : 침투시간계수
- f_{HV} : 중차량 보정계수
- p_M : 중형차량(6m이상~12m이하)의 비율(%)
- E_M : 중형트럭의 승용차 환산계수(=1.5)
- p_L : 대형차량(12m이상)의 비율(%)
- E_M : 대형트럭의 승용차 환산계수(=2.0)
- Q : 1시간 단위의 승용차 환산 침투교통류율(pc/h/l)
- Q_i : 15분 단위의 승용차 환산 침투교통류율(pc/15min/l)

이 연구대상 도시고속도로의 유입연결로 접속부를 중심으로 15분 단위시간의 교통류율 변화에 따르면 침투시간계수(PHF)는 대체적으로 0.62~0.99를 보였으며, 중대형차량의 혼재율은 0%~58%로 유입연결로에 따라 상당한 차이를 보였다(참조 Table 2.1).

특히, 도심지역에 근접한 유입연결로일수록 오전시간대보다는 오후시간대에 상대적으로 통행량이 집중되고 있었고, 야간시간대보다는 주간시간대에 통행량 집중이 가중됨으로써 오후퇴근시간대에 유입연결로의 정체가 심화되는 것으로 나타났다. 반면에 부도심지역에 근접한 유입연결로에서는 오전출근시간대가 오후퇴근시간대에 비하여 상대적으로 교통류율이 높게 나타났고, 역시 야간시간대보다는 주간시간대 통행량이 집중됨으로써 출퇴근시간대 유입연결로의 정체가 심화되는 것으로 나타났다(참조 Table 2.2, Fig. 2.1~2.4).

도심지역과 부도심지역 유입연결로 접속부의 통행특성 및 중차량비율 분석결과를 살펴보면, 도심지역 부도심방향의 유입연결로 접속부의 경우 A(문현)에서는 시간평균 400pcphpl의 낮은 통행량을 보였고, 전반적으로 오후 퇴근시간대에 통행량이 집중되면서 다른 유입연결로 접속부 B(대연), C(망미), D(원동)에 비하여 최대 첨두시간 교통류율이 1,068pcphpl로 상대적으로 낮은 첨두특성을 보였으며, 중차량비율은 상대적으로 높은 58%를 나타냈다. 반면에 유입연결로 접속부 B(대연)에서는 출퇴근시간대에 특별한 구분 없이 통행량이 분포하고 있었고, 오전 출근시간대에 최대 첨두시간 교통류율이 1,547pcphpl의 첨두특성을 나타냈으며, 중차량비율은 최대 27%로 상대적으로 낮게 나타났다(참조 Table 2.1~2.2, Fig. 2.1~ 2.2).

또한, 부도심지역 도심방향의 유입연결로 접속부 C(망미)와 D(원동)에서는 출퇴근시간대에 통행량 분포에 있어서 뚜렷한 첨두특성은 없었으나 오전 출근시간대 최대 첨두시간 교통류율이 각각 2,110pcphpl, 1,677pcphpl로 상대적으로 높게 나타났고, 중차량비율은 유입연결로 접속부 C(망미)에서는 최대 38%로 나타났고, 유입연결로 접속부 D(원동)에서는 최대 45%로 C(망미)에 비해 상대적으로 높게 나타났다(참조 Table 2.1~2.2, Fig. 2.3~2.4).

따라서 도시고속도로의 유입연결로 접속부에서 방향별, 접속부별, 시간대별 교통류율의 특성분석을 통하여 도시고속도로의 본선 및 연결로 교통류율의 집중도를 적절히 조절하고, 본선과 연결로 교통류율이 최대로 유지될 수 있는 도시고속도로의 유입연결로 접속부 관리방안이 수립되어야 할 것으로 생각되었다.

Table 2.1 Peak hour factors(*PHF*) and percentage of heavy vehicles

on-ramp	<i>PHF</i>	percentage of heavy vehicles(%)		
		min	max	average
A	0.62 ~ 0.98	0	58	16
B	0.68 ~ 0.99	0	27	8
C	0.66 ~ 0.99	0	38	12
D	0.73 ~ 0.98	5	45	21

Table 2.2 Flow on the on-ramps under the study

on-ramp	flow(pc/h)		
	min	max	average
A	46	1,068	400
B	144	1,547	909
C	109	2,110	1,220
D	120	1,677	833

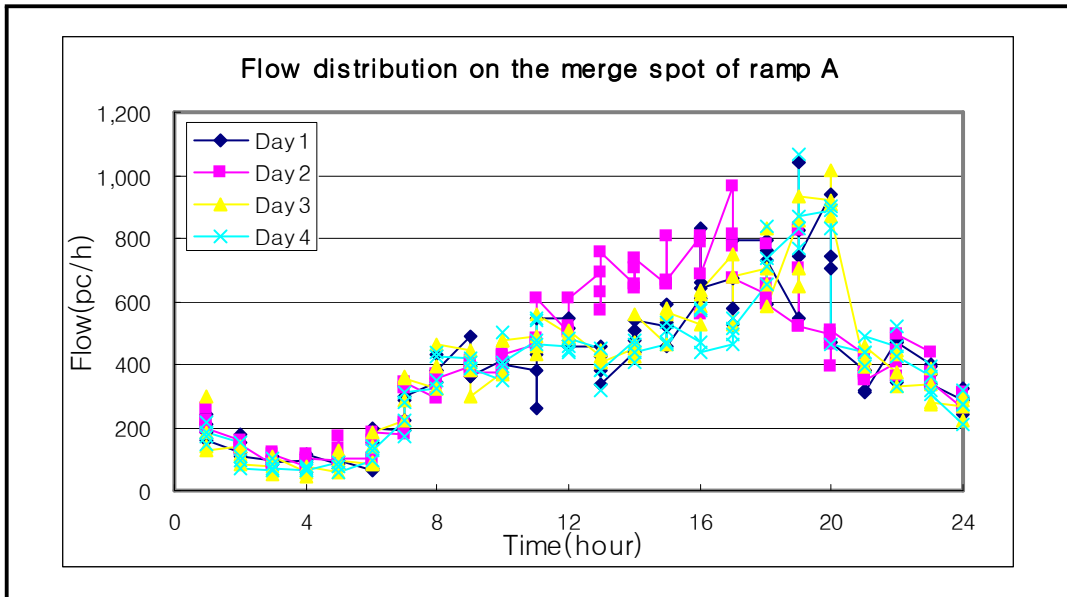


Fig. 2.1 Flow distribution of on-ramp A

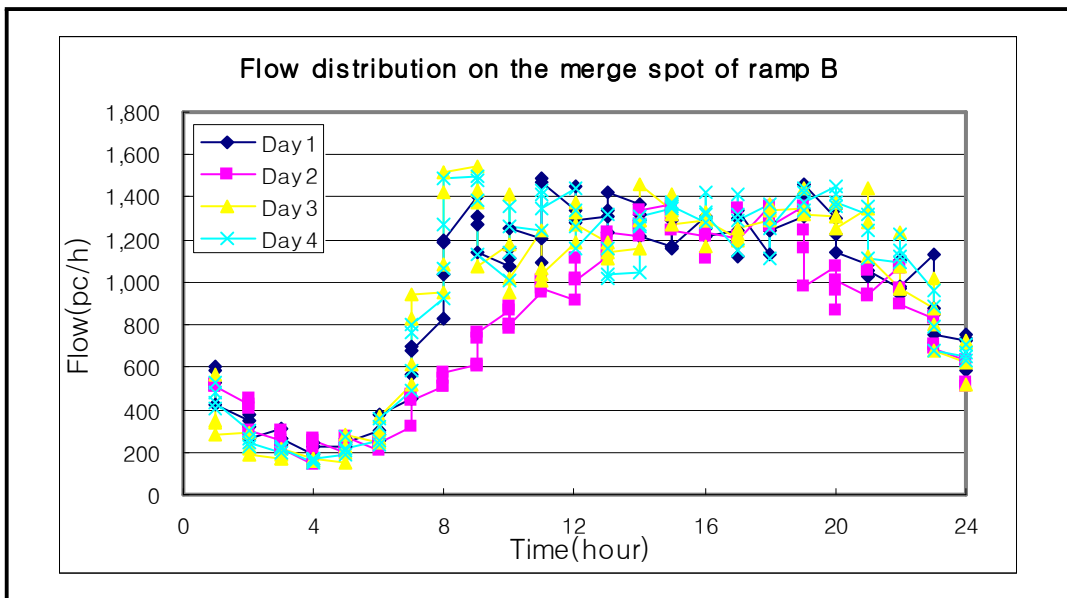


Fig. 2.2 Flow distribution of on-ramp B

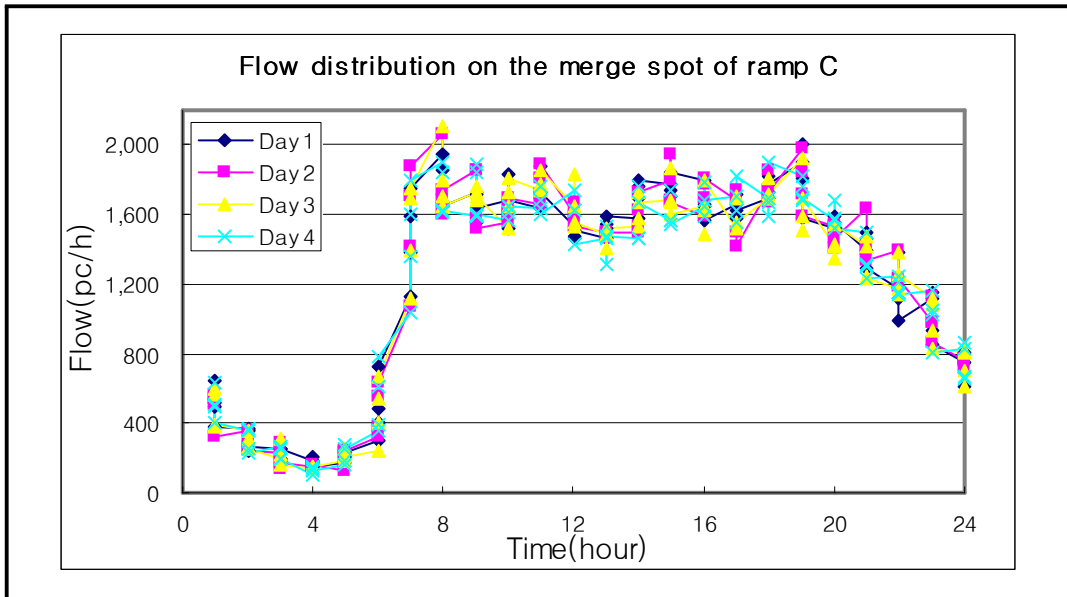


Fig. 2.3 Flow distribution of on-ramp C

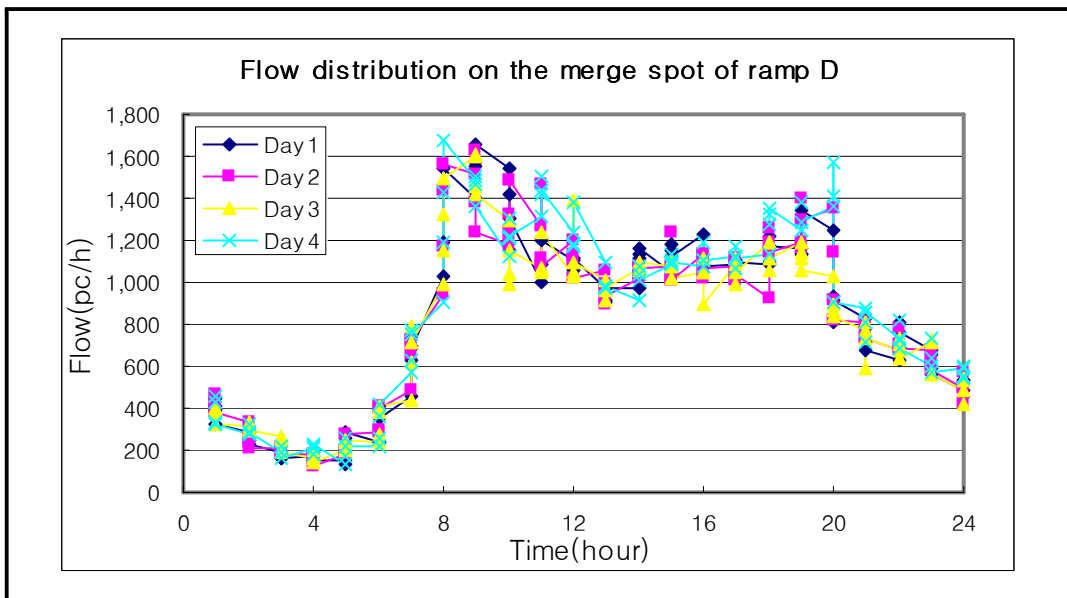


Fig. 2.4 Flow distribution of on-ramp D

2.2 속도

속도(speed)는 단위시간당 차량의 주행거리로서 일반적으로 kilometer per hour(km/h)로 표현되며, 이 연구대상 도시고속도로의 유입연결로 접속부내 속도는 공간평균속도(space mean speed)로서 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 : 속도구간 내 평균속도(km/h)
- f_i : 속도구간 내 도수
- n : 속도구간 수

이 연구대상 도시고속도로의 유입연결로 접속부를 중심으로 산정된 공간평균 속도 특성을 살펴보면, 도심지역 부도심방향의 유입연결로 접속부 A(문현)와 B(대연)는 오전·오후 및 출퇴근시간대에 정체가 발생하는 것으로 나타난 반면에 부도심지역 도심방향의 유입연결로 접속부 C(망미)와 D(원동)에서는 출퇴근 시간대에 한하여 정체가 지속되는 것으로 나타나 방향별로 서로 다른 속도특성을 보였다(참조 Table 2.3, Fig. 2.5~2.8).

또한, 부도심방향의 유입연결로 접속부 A(문현)와 B(대연)에서는 주중에 요일별 속도분포가 뚜렷한 차이를 보였으나, 도심방향의 유입연결로 접속부 C(망미)와 접속부 D(원동)에서는 주중에 요일별 속도분포가 뚜렷한 차이를 보이지 않았다(참조 Fig. 2.5~2.8).

특히, 모든 연구대상 유입연결로 접속부에서 평균속도는 대략 50~60km/h를 보였고, 통행량이 집중되는 시간대에는 속도가 30km/h이하로 현저하게 감소됨으로써 정체가 심화되고 있음을 확인할 수 있었다(참조 Table 2.3).

따라서 도시고속도로의 본선 및 유입연결로 접속부에서 교통류율의 집중도를 적절히 조절하여 본선의 통행속도가 최대로 유지될 수 있도록 방향별 시간대별 속도특성을 파악하고, 더불어 본선과 연결로 속도가 최대로 유지될 수 있도록 적절한 도시고속도로의 유입연결로 접속부 관리방안이 수립되어야 할 것으로 생각되었다.

Table 2.3 Speed on the on-ramps under the study

on-ramp	Speed(km/h)		
	min	max	average
A	21.6	72.4	55.9
B	22.2	74.6	49.7
C	23.0	83.6	63.1
D	24.7	79.2	58.2

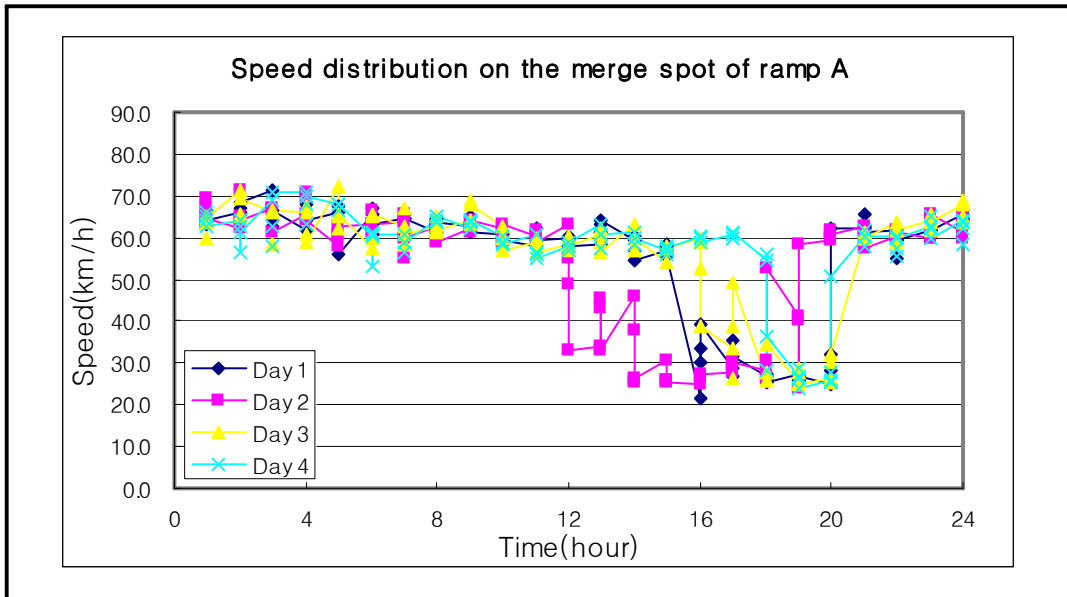


Fig. 2.5 Speed distribution of on-ramp A

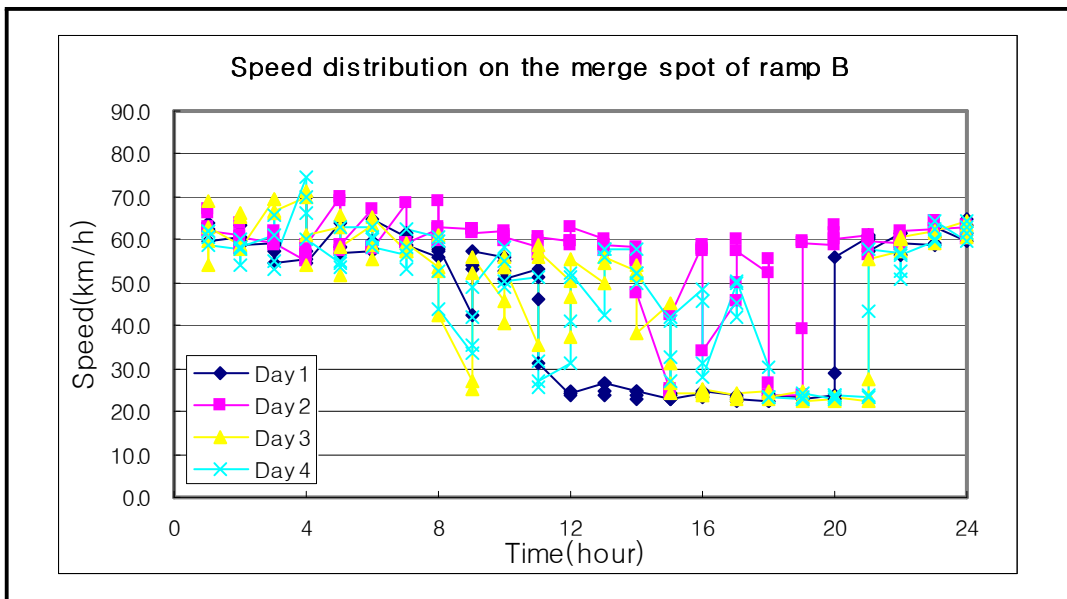


Fig. 2.6 Speed distribution of on-ramp B

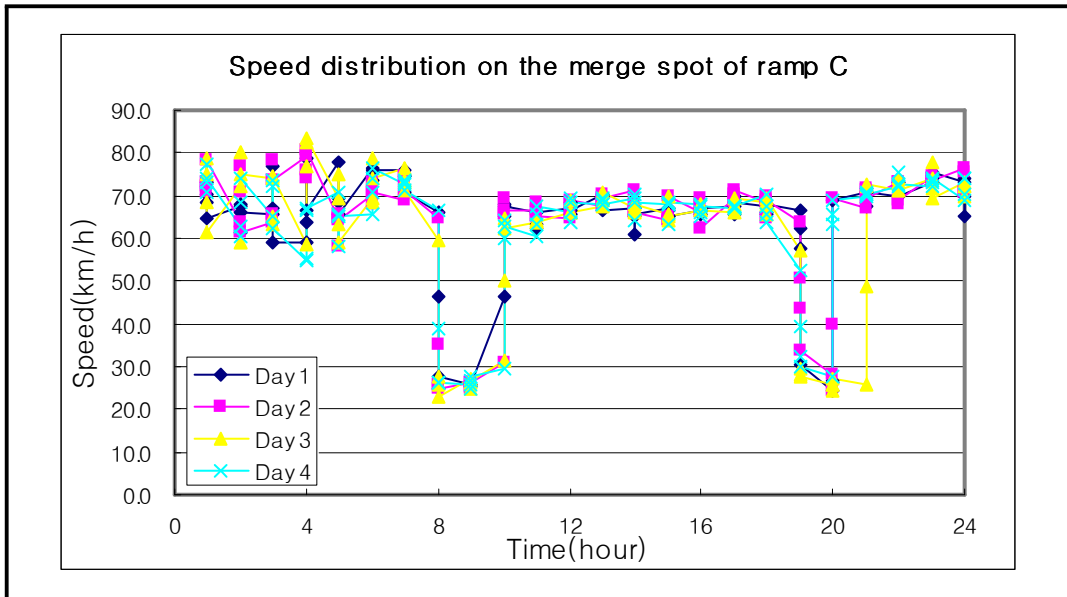


Fig. 2.7 Speed distribution of on-ramp C

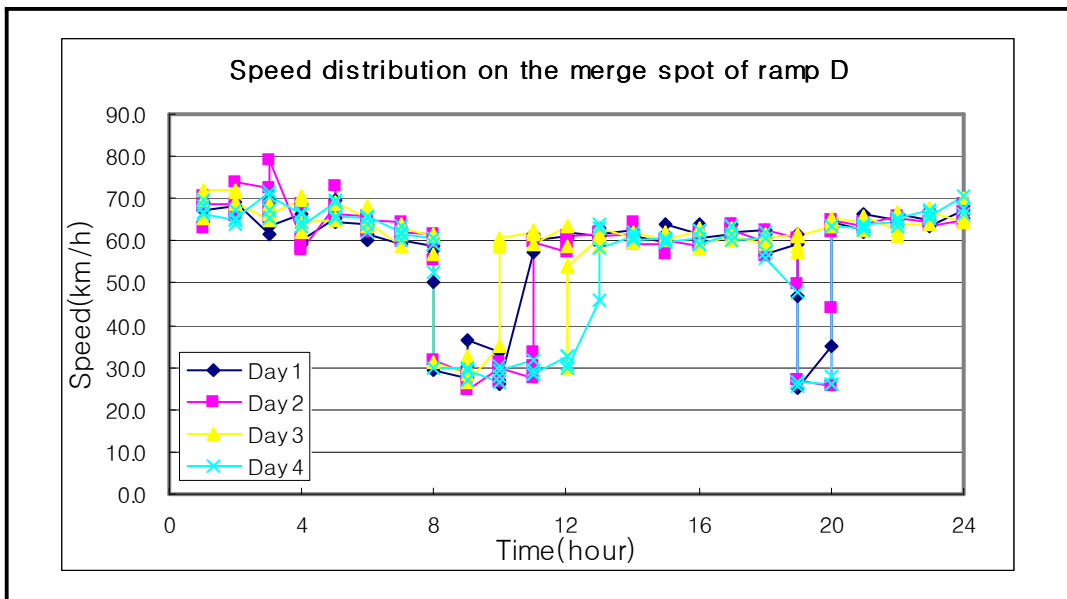


Fig. 2.8 Speed distribution of on-ramp D

2.3 밀도

일반적으로 밀도(density)는 단위구간 내 차량대수로서 단위는 vehicle per kilometer(veh/km)로 표현되며, 이 연구대상지역에서는 밀도 대신에 점유율이 관측되어 2.1절과 2.2절에서 산정된 공간평균속도와 승용차 환산 교통류율사이의 상호관계식을 이용하여 유입연결로 접속부의 밀도를 산정하였으며, 밀도 산정식은 다음과 같다.

$$K = \frac{Q}{U_s} \quad (2.7)$$

여기서,

K : 평균 밀도(pc/km)

이 연구대상 유입연결로 접속부내 밀도 분석결과 첨두시간대의 구별이 뚜렷하지 않고 도심에 근접한 연결로일수록 밀도가 상대적으로 높게 나타났고, 특히 오후시간대에 보다 높은 밀도와 함께 연결로 접속부에서 용량을 초과하여 심각한 교통와해현상을 보이는 것으로 나타났다(참조 Table 2.4, Fig. 2.9~2.12).

특히, 부도심방향의 유입연결로 접속부 A(문현)와 B(대연)에서는 주중에 요일별 밀도분포가 뚜렷한 차이를 보였고, 야간시간대보다는 주간시간대에 높은 밀도를 보인 반면에 도심방향의 유입연결로 접속부 C(망미)와 D(원동)에서는 주중에 요일별 밀도분포가 뚜렷한 차이를 보이지 않았고, 하루중 출퇴근시간대에 한해서만 높은 밀도를 보이는 것으로 나타났다(Fig. 2.9~2.12).

따라서 도시고속도로의 유입연결로 접속부에서 유입연결로별 시간대별로 차량이 집중하는 밀도특성을 고려하고, 도시고속도로의 본선 및 유입연결로 교통류율의 집중도를 적절히 조절하고, 본선 및 연결로 차량밀도가 최대한으로 분산될 수 있도록 도시고속도로의 유입연결로 접속부 관리방안이 수립되어야 할 것으로 생각되었다.

Table 2.4 Density on the on-ramps under the study

on-ramp	Density(pc/km)		
	min	max	average
A	0.8	40.7	9.2
B	2.0	64.6	23.9
C	1.7	75.8	22.8
D	1.9	59.9	17.3

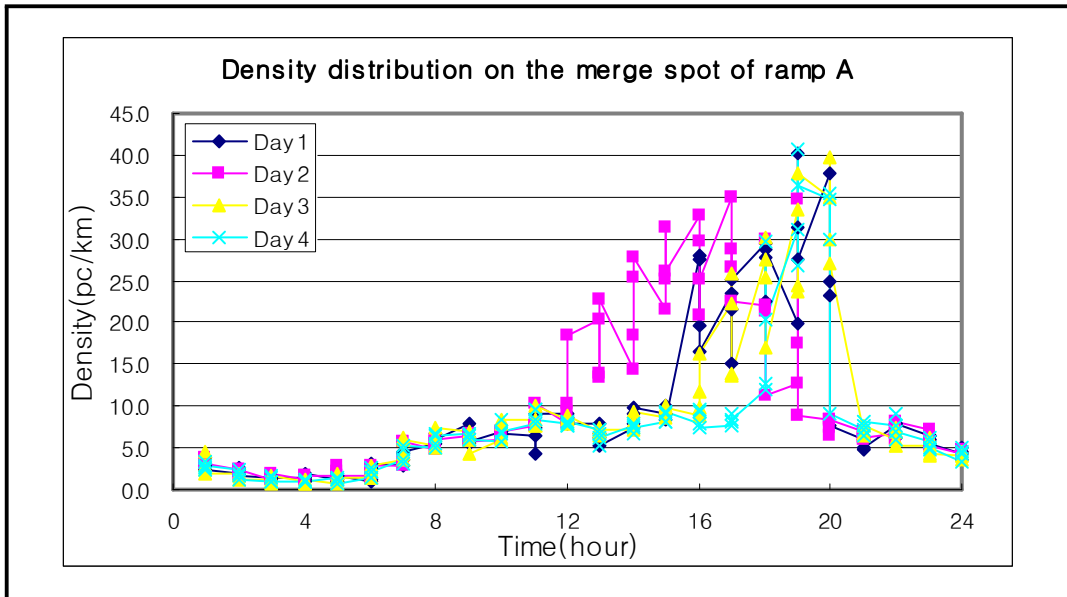


Fig. 2.9 Density distribution of on-ramp A

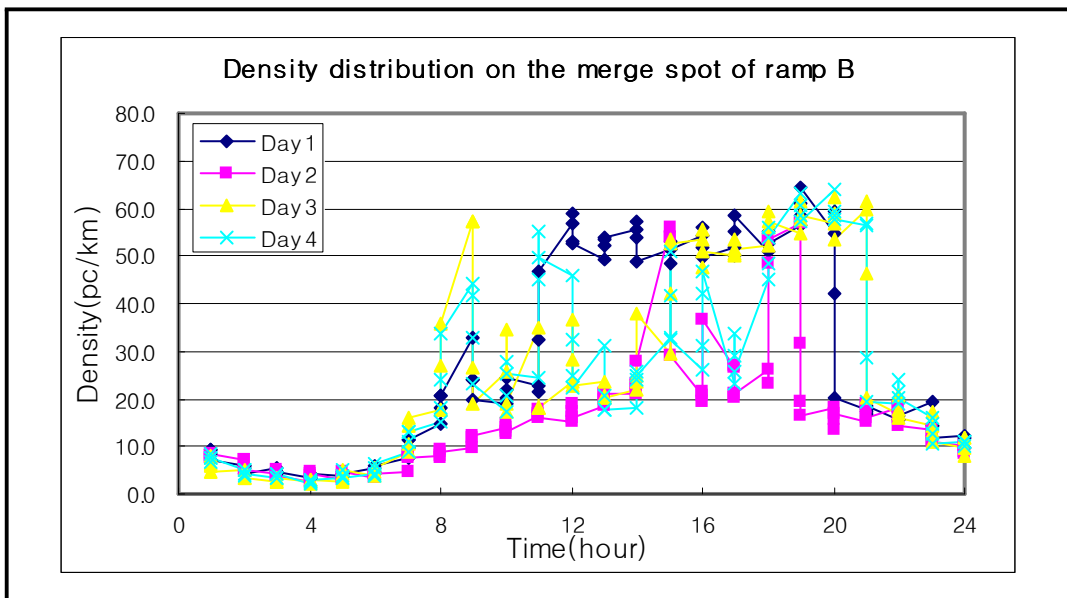


Fig. 2.10 Density distribution of on-ramp B

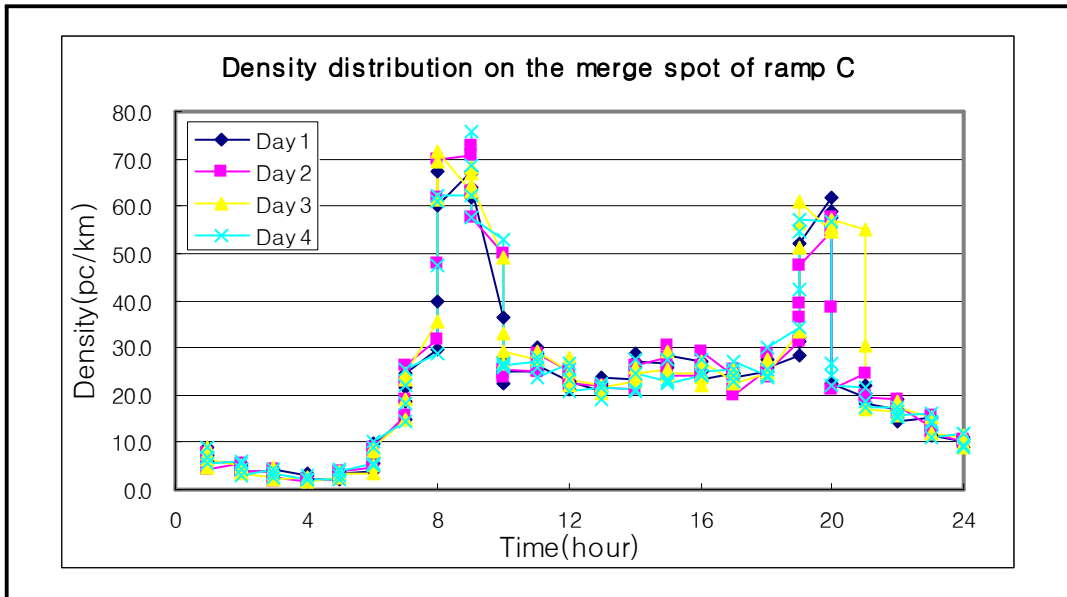


Fig. 2.11 Density distribution of on-ramp C

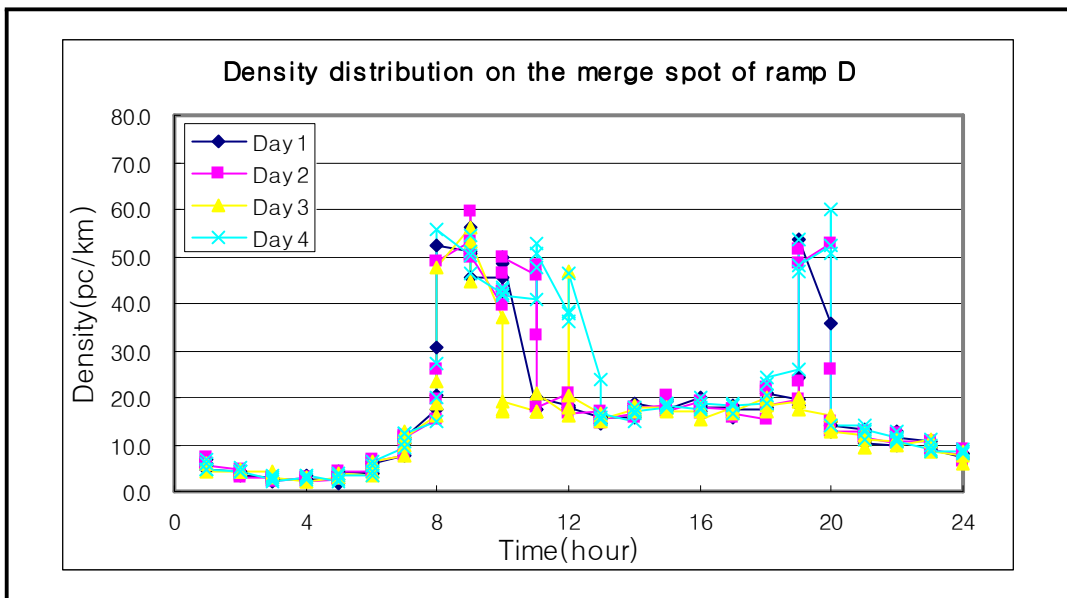


Fig. 2.12 Density distribution of on-ramp D

제 3 장 모형 구축 및 검증

이 연구대상 도시고속도로 유입연결로 접속부의 교통특성자료를 중심으로 산정된 공간평균속도와 평균밀도 자료를 중심으로 도심방향과 부도심방향의 속도-밀도모형을 구축하고 검증하였다.

속도-밀도모형 구축 및 검증은 각 유입연결로 접속부에 대해서 조사일별로 모형구축 및 검증을 하였고, 또한 4일간의 조사일별 자료를 통합한 자료를 바탕으로도 모형구축 및 검증을 하였다.

3.1 구축방법

이 연구대상 도시고속도로의 유입연결로 접속부내 속도-밀도 모형구축에 있어서는 회귀모형이 적용되었고, 종속변수는 공간평균속도(U_s)로, 독립변수는 밀도(K)로 다음과 같다.

U_s : 유입연결로 접속부내 공간평균속도(km/h)

K : 유입연결로 접속부내 평균밀도(pc/km)

3.2 모형구축

이 연구대상 도시고속도로의 유입연결로 접속부의 교통특성자료(공간평균속도와 평균밀도)를 중심으로 다음과 같은 직선모형이 구축 제시되었다.

Greenshields 모형으로부터

$$U_s = \alpha - \beta K \quad (3. 1)$$

여기서,

α : 모형의 회귀계수 (km/h)

β : 모형의 회귀계수 (km²/h/pc)

이 연구대상 유입연결로 접속부에 대해서 각 일별 자료를 바탕으로 구축된 속도-밀도모형 구축결과를 살펴보면, 도심지역과 부도심지역의 유입연결로 접속부의 모형 결정계수값(R^2)이 요일별로 다소 차이를 보이는 것으로 나타났으나 대체적으로 0.70이상을 보임으로써 모형의 구축에 상당한 설명력을 나타내고 있었다(참조 Table 3.1, Fig. 3.1~3.4).

Table 3.1 Linear models at the on-ramps under the study(1-day DB)

bound	ramp	spot	models	R^2	
outbound	A	Day 1	merge	$U_s = 69.2616 - 1.4715K$	0.910
		Day 2	merge	$U_s = 69.0851 - 1.5248K$	0.926
		Day 3	merge	$U_s = 68.6583 - 1.3537K$	0.894
		Day 4	merge	$U_s = 67.5548 - 1.1984K$	0.896
	B	Day 1	merge	$U_s = 67.6365 - 0.7865K$	0.937
		Day 2	merge	$U_s = 68.8119 - 0.7312K$	0.799
		Day 3	merge	$U_s = 68.2579 - 0.7815K$	0.939
		Day 4	merge	$U_s = 66.6652 - 0.7346K$	0.919
inbound	C	Day 1	merge	$U_s = 79.7007 - 0.7194K$	0.736
		Day 2	merge	$U_s = 80.7123 - 0.7515K$	0.755
		Day 3	merge	$U_s = 81.3014 - 0.8093K$	0.808
		Day 4	merge	$U_s = 78.5680 - 0.6945K$	0.701
	D	Day 1	merge	$U_s = 72.0870 - 0.7963K$	0.879
		Day 2	merge	$U_s = 73.0372 - 0.8729K$	0.910
		Day 3	merge	$U_s = 72.6892 - 0.7869K$	0.895
		Day 4	merge	$U_s = 72.9944 - 0.8872K$	0.935

또한, 각 일별 자료를 통합한 접속부별 자료를 바탕으로 구축된 속도-밀도모형의 결과를 살펴보면, 부도심지역 도심방향 유입연결로 접속부 C(망미)에서 모형 결정계수값(R^2)이 0.75로 낮은 반면에 도심지역 부도심방향의 유입연결로 접속부 A(문현), B(대연)와 부도심지역 도심방향 유입연결로 접속부 D(원동)에서는 모형 결정계수값(R^2)이 0.90이상을 보여 모형구축에 상당한 설명력을 나타내고 있었다(참조 Table 3.2, Fig. 3.5).

Table 3.2 Linear models at the on-ramps under the study(4-day DB)

bound	ramp	spot	models	R^2
outbound	A	merge	$U_s = 68.6859 - 1.4020K$	0.902
	B	merge	$U_s = 68.1873 - 0.7768K$	0.920
inbound	C	merge	$U_s = 80.1500 - 0.7485K$	0.754
	D	merge	$U_s = 72.9025 - 0.8523K$	0.910

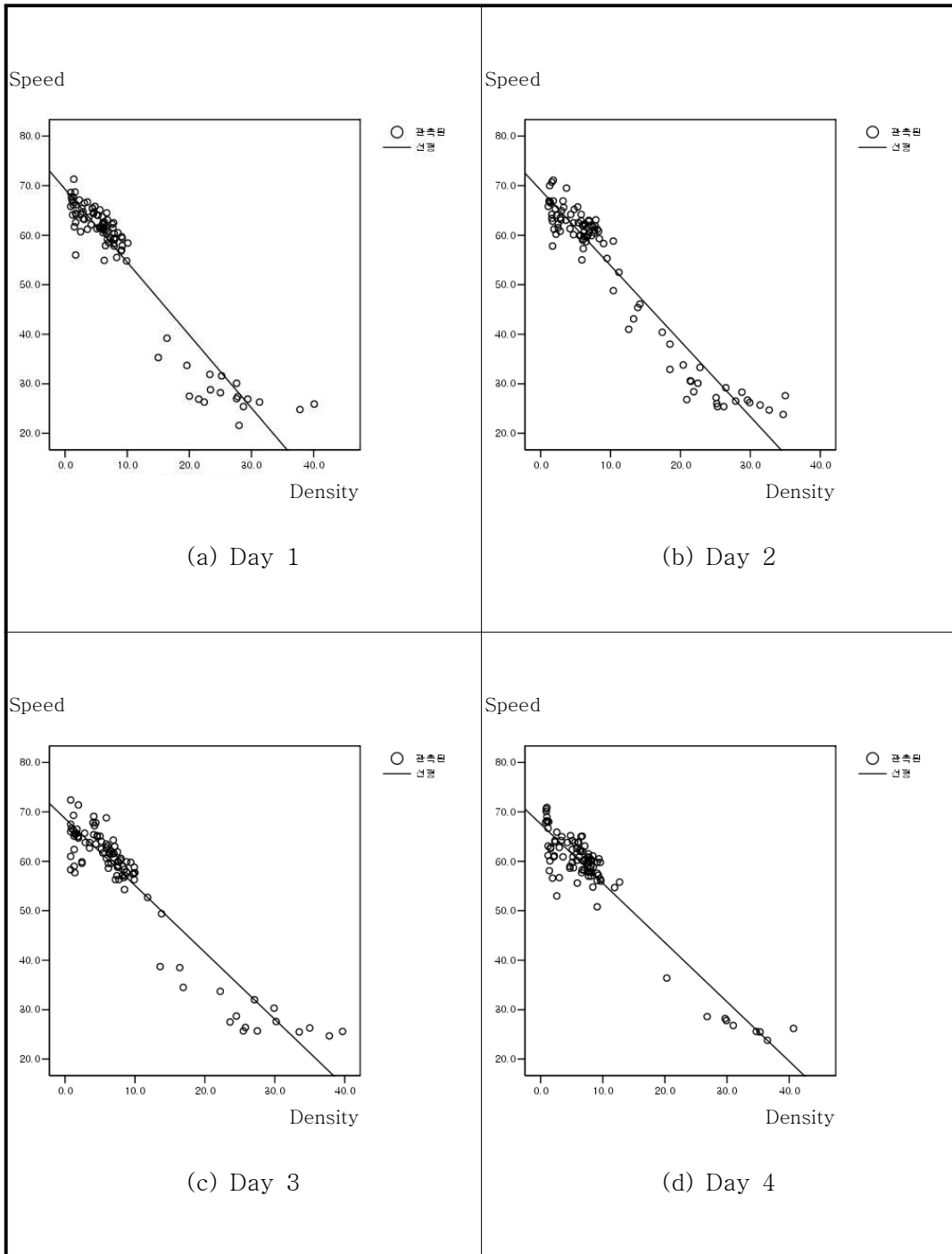


Fig. 3.1 Speed-density curve on the on-ramp A(1-day DB)

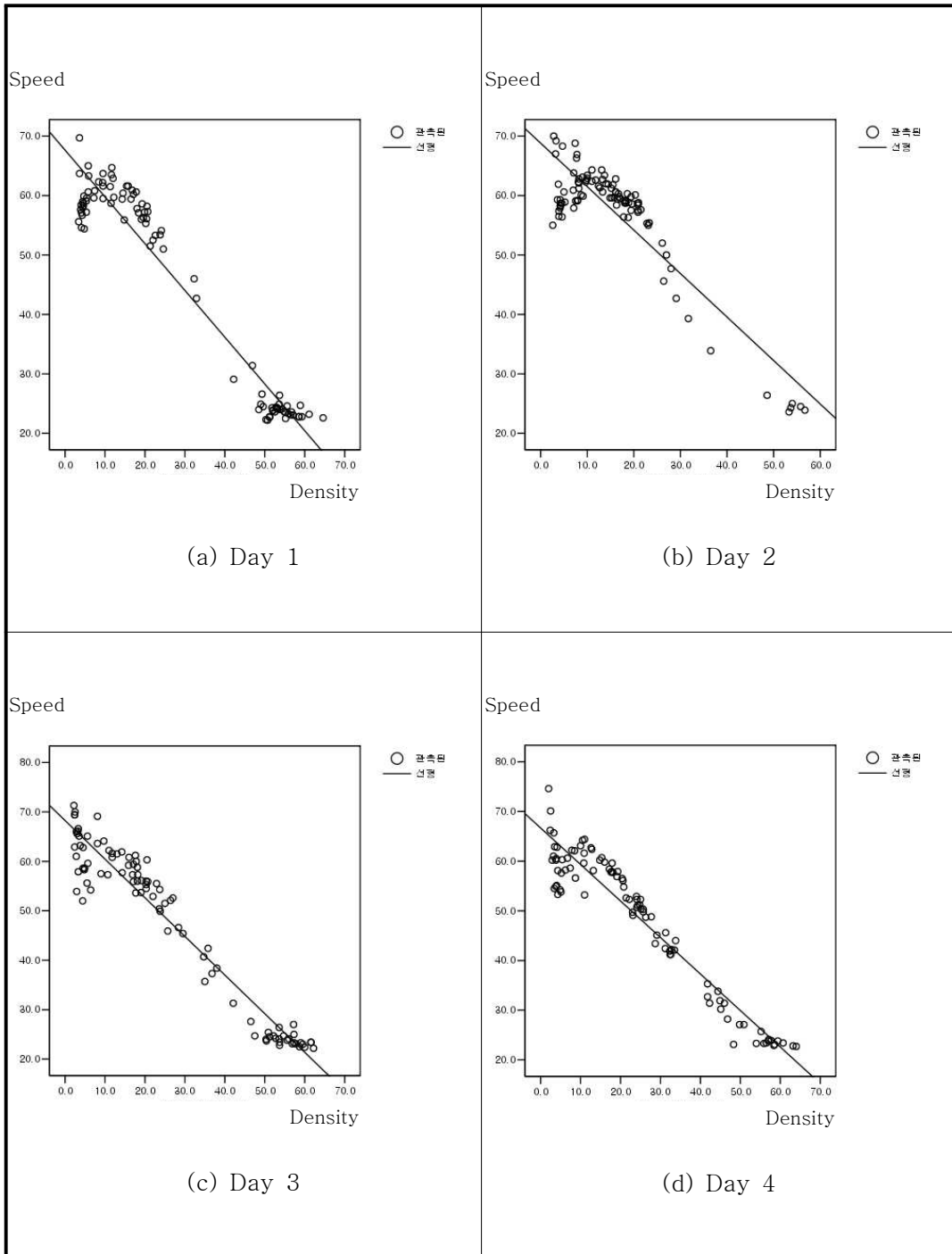


Fig. 3.2 Speed-density curve on the on-ramp B(1-day DB)

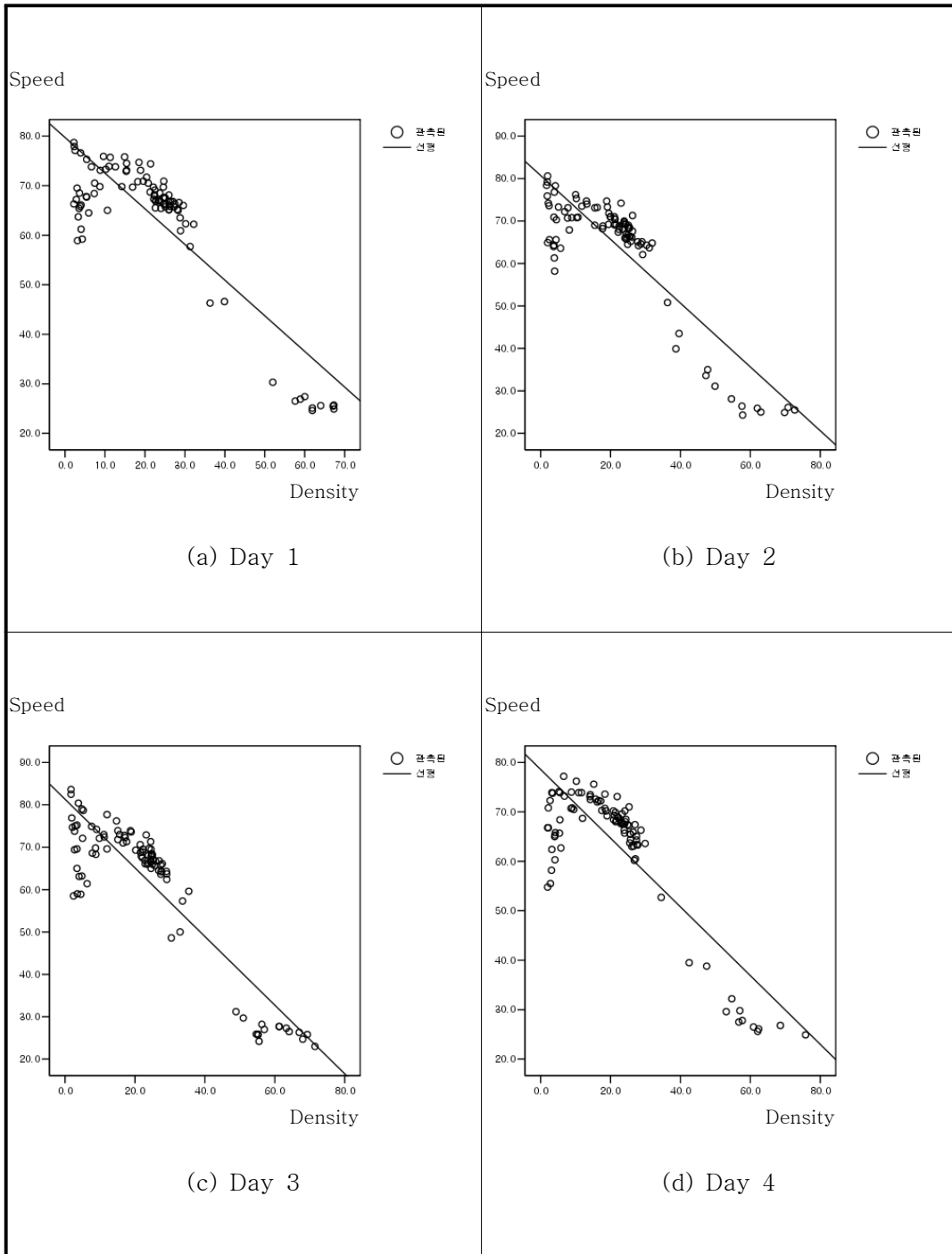


Fig. 3.3 Speed-density curve on the on-ramp C(1-day DB)

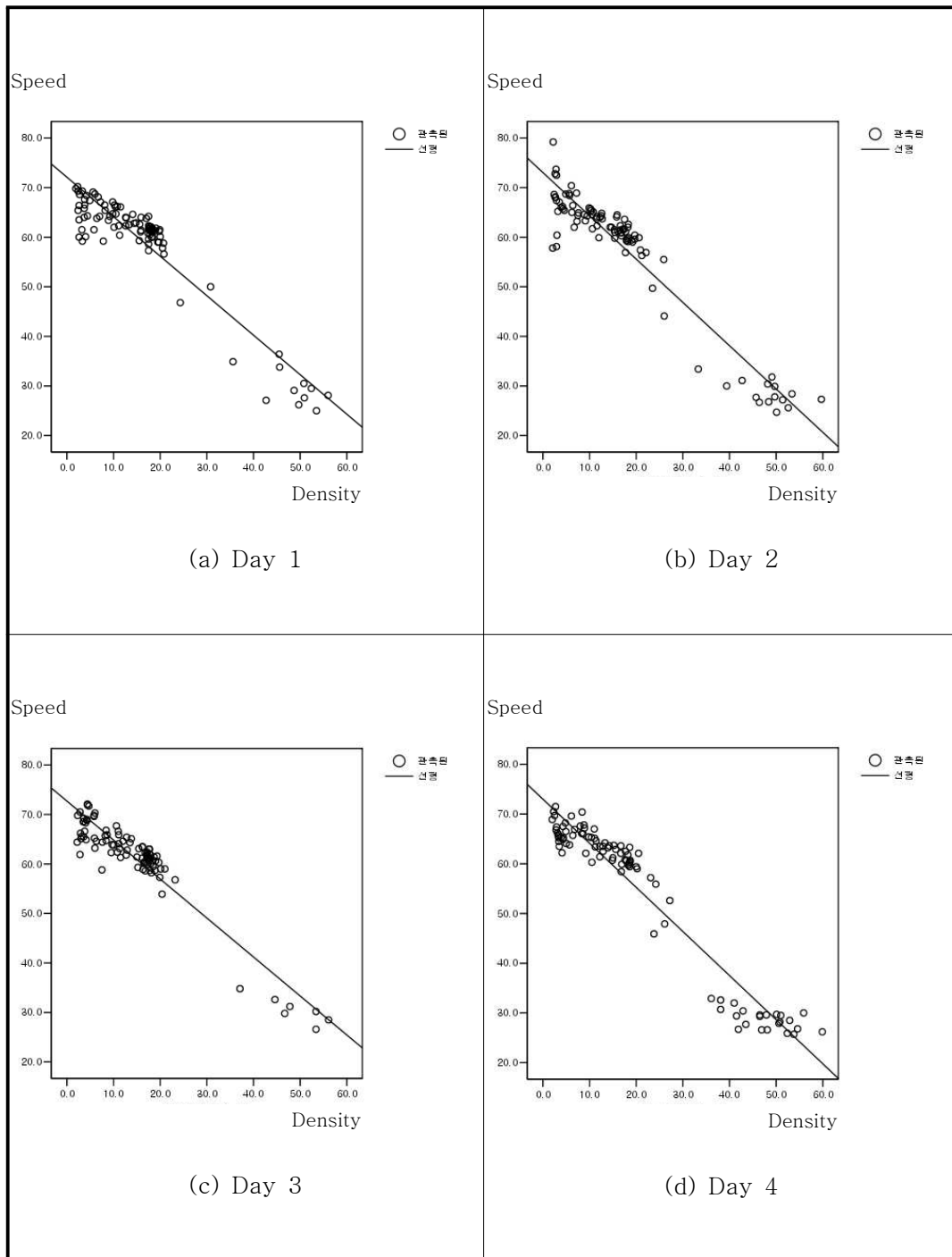


Fig. 3.4 Speed-density curve on the on-ramp D(1-day DB)

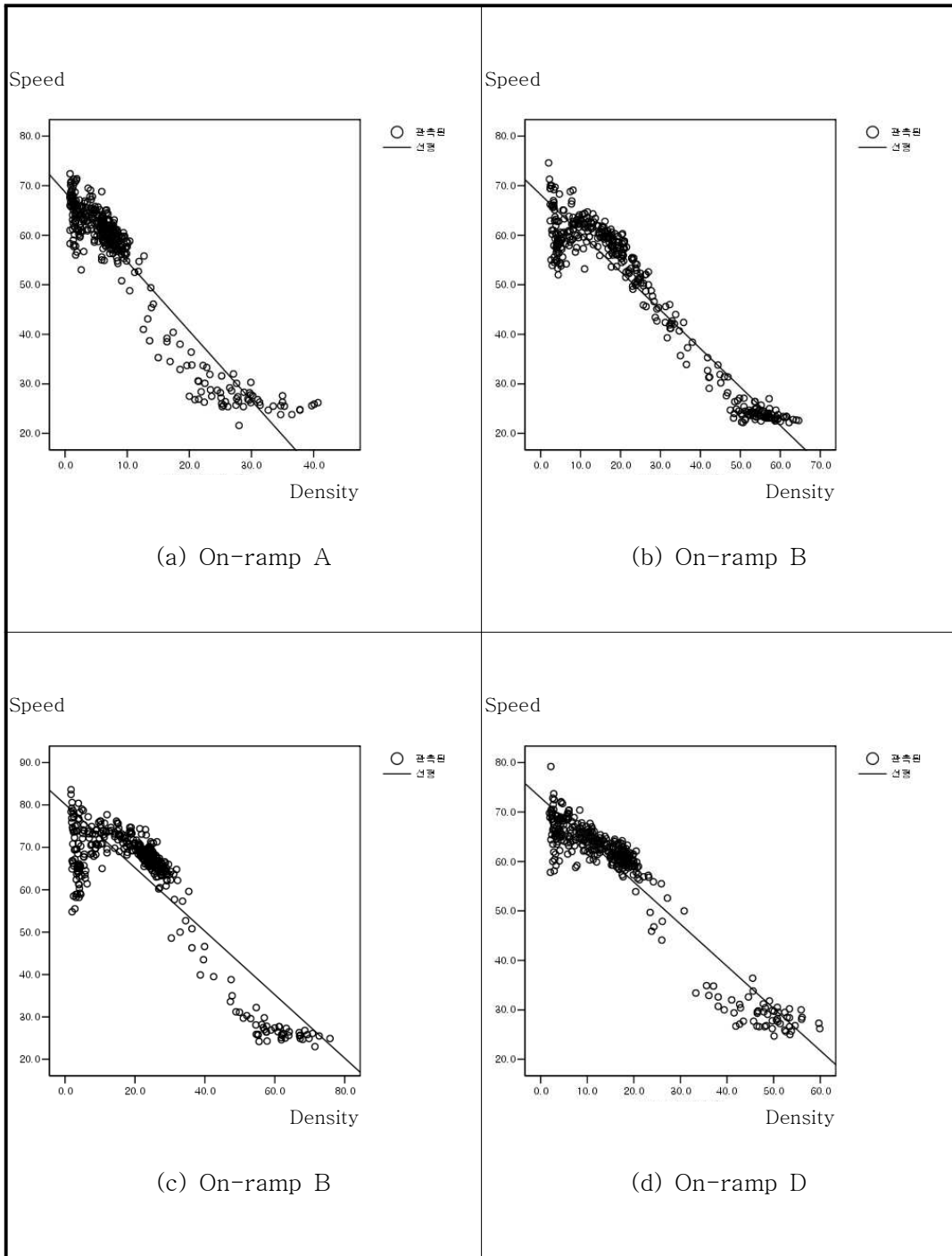


Fig. 3.5 Speed-density curve on the on-ramp (4-day DB)

3.3 모형검증

3.3.1 검증방법

이 연구대상 도시고속도로의 유입연결로 접속부의 교통특성자료를 중심으로 구축된 속도-밀도모형을 검증하기 위하여 모형구축에 사용되지 않는 자료와 이전 3.2절에서 구축된 모형으로부터 예측된 자료를 바탕으로 구축된 모형이 실제상황에서 발생하는 현상들을 정확히 나타내는지 판단하기 위하여 관측 속도와 모형으로부터 예측된 예측속도사이의 상관관계분석(correlation analysis)을 통해서 모형을 검증하였다.

3.3.2 모형검증

이 연구대상 유입연결로 접속부에서 구축된 속도-밀도모형을 검증하기 위해서 관측속도와 예측속도간의 상관관계분석(correlation analysis)을 실시한 결과, 각 일별 자료를 바탕으로 구축된 속도-밀도모형의 경우 도심지역 부도심방향의 유입연결로 접속부 A(문현)와 부도심지역 도심방향의 유입연결로 접속부 D(원동)에서 상관계수(r)가 0.93이상으로 높은 상관성과 설명력을 보였고, 도심지역 부도심방향의 유입연결로 접속부 B(대연)와 부도심지역 도심방향의 유입연결로 접속부 C(망미)에서 상관계수(r)가 0.83이상으로 상당히 높은 상관성과 설명력을 보이는 것으로 나타났다(참조 Table 3.3, Fig. 3.6~3.9).

또한, 각 일별 자료를 통합한 접속부별 자료를 바탕으로 구축된 속도-밀도모형의 경우 도심지역 부도심방향의 유입연결로 접속부 A(문현), B(대연)와 부도심지역 도심방향의 유입연결로 접속부 D(원동)에서는 상관계수(r)가 0.95이상으로 역시 높은 상관성과 설명력을 보인 반면에 부도심지역 도심방향의 유입연결로 접속부 C(망미)에서는 상관계수(r)가 0.86으로 상관성과 설명력이 다소 낮게 나타났다(참조 Table 3.4, Fig. 3.10).

Table 3.3 Correlation coefficients by the linear model(1-day DB)

bound	outbound		inbound	
ramp	A	B	C	D
spot	merge	merge	merge	merge
$r(\text{Day } 1)$	0.954	0.968	0.858	0.937
$r(\text{Day } 2)$	0.962	0.894	0.869	0.954
$r(\text{Day } 3)$	0.945	0.969	0.899	0.946
$r(\text{Day } 4)$	0.947	0.959	0.837	0.967

Note : r = correlation coefficient

Table 3.4 Correlation coefficients by the linear model(4-day DB)

bound	outbound		inbound	
ramp	A	B	C	D
spot	merge	merge	merge	merge
r	0.950	0.959	0.868	0.954

Note : r = correlation coefficient

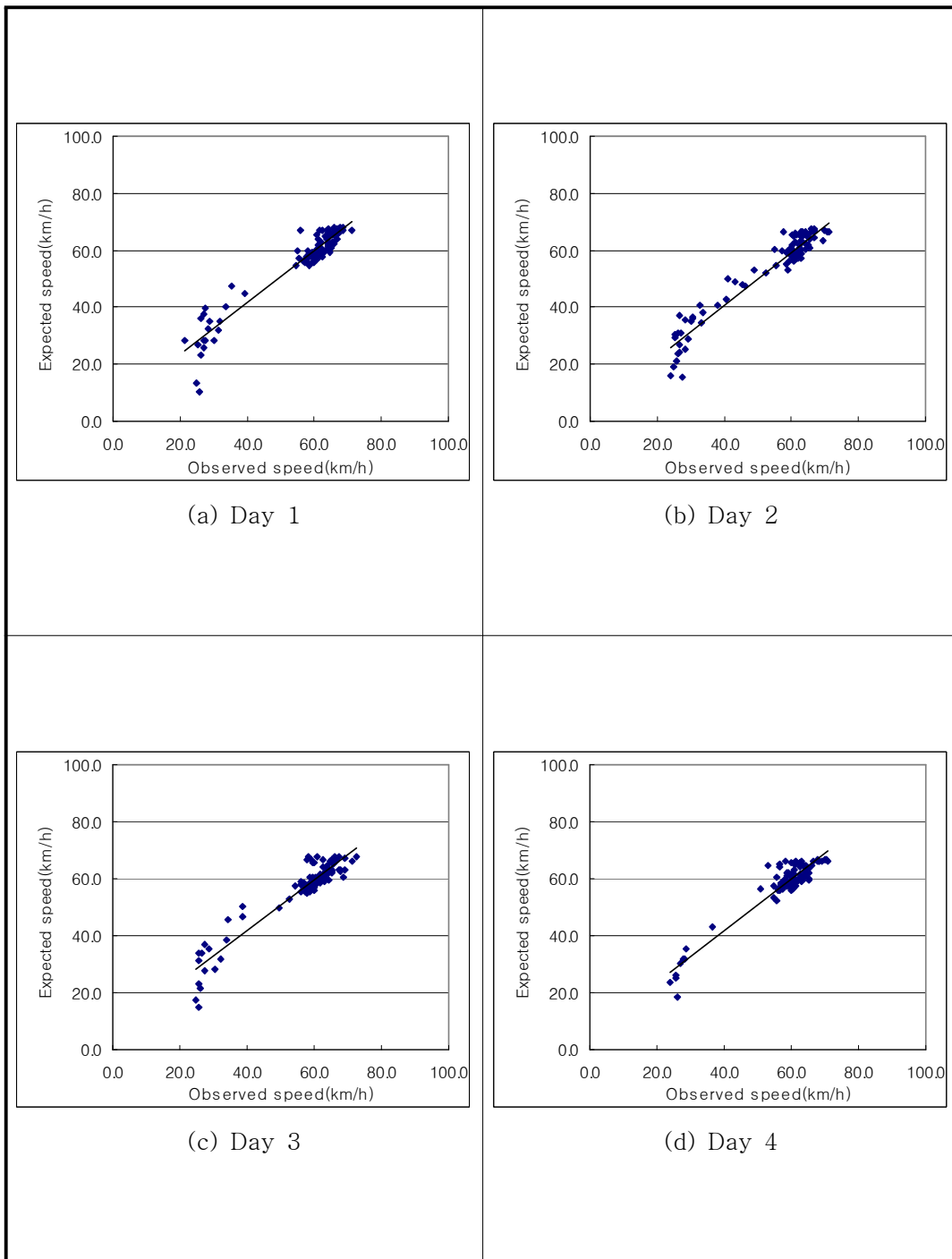


Fig. 3.6 Observed & expected speeds on the on-ramp A(1-day DB)

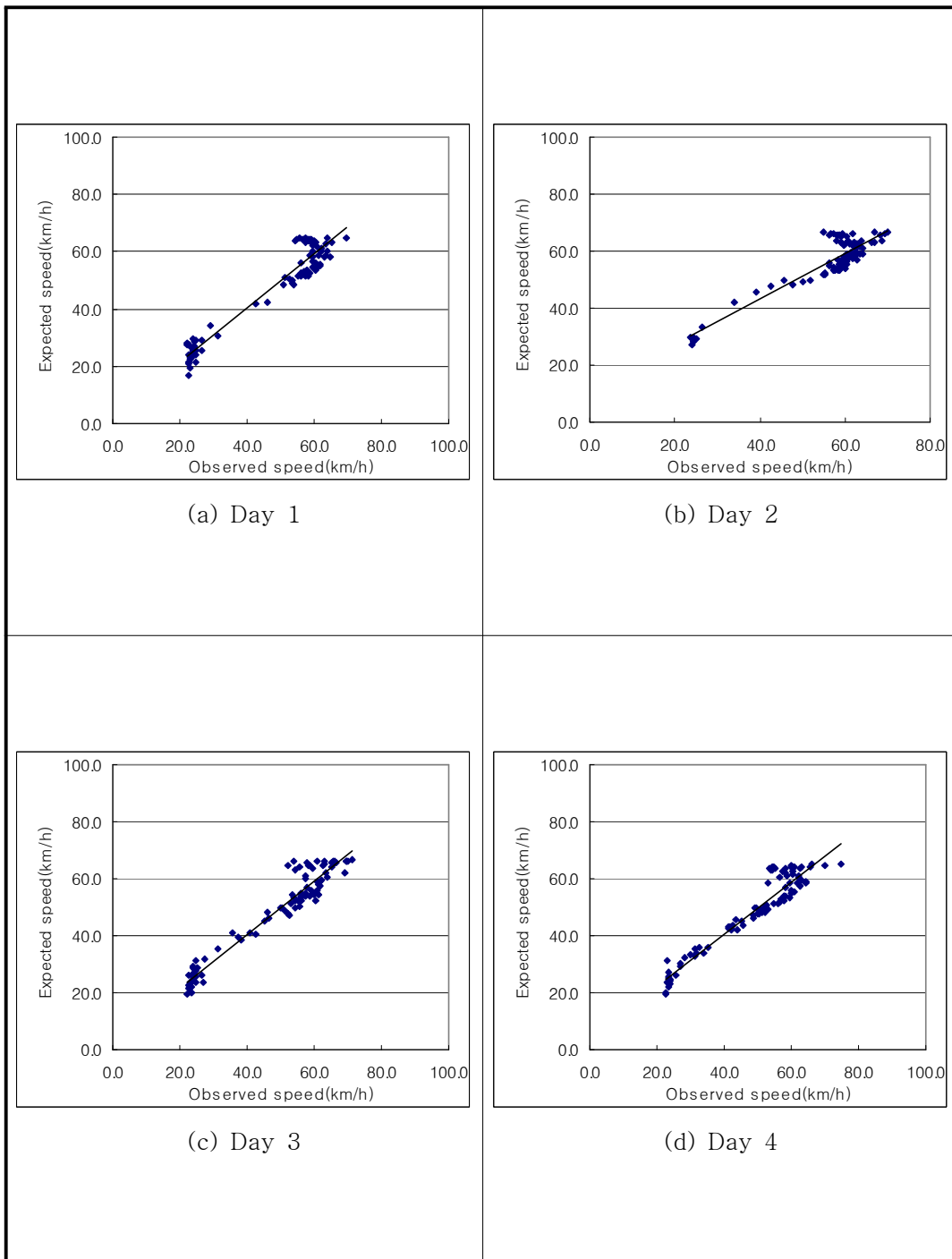


Fig. 3.7 Observed & expected speeds on the on-ramp B(1-day DB)

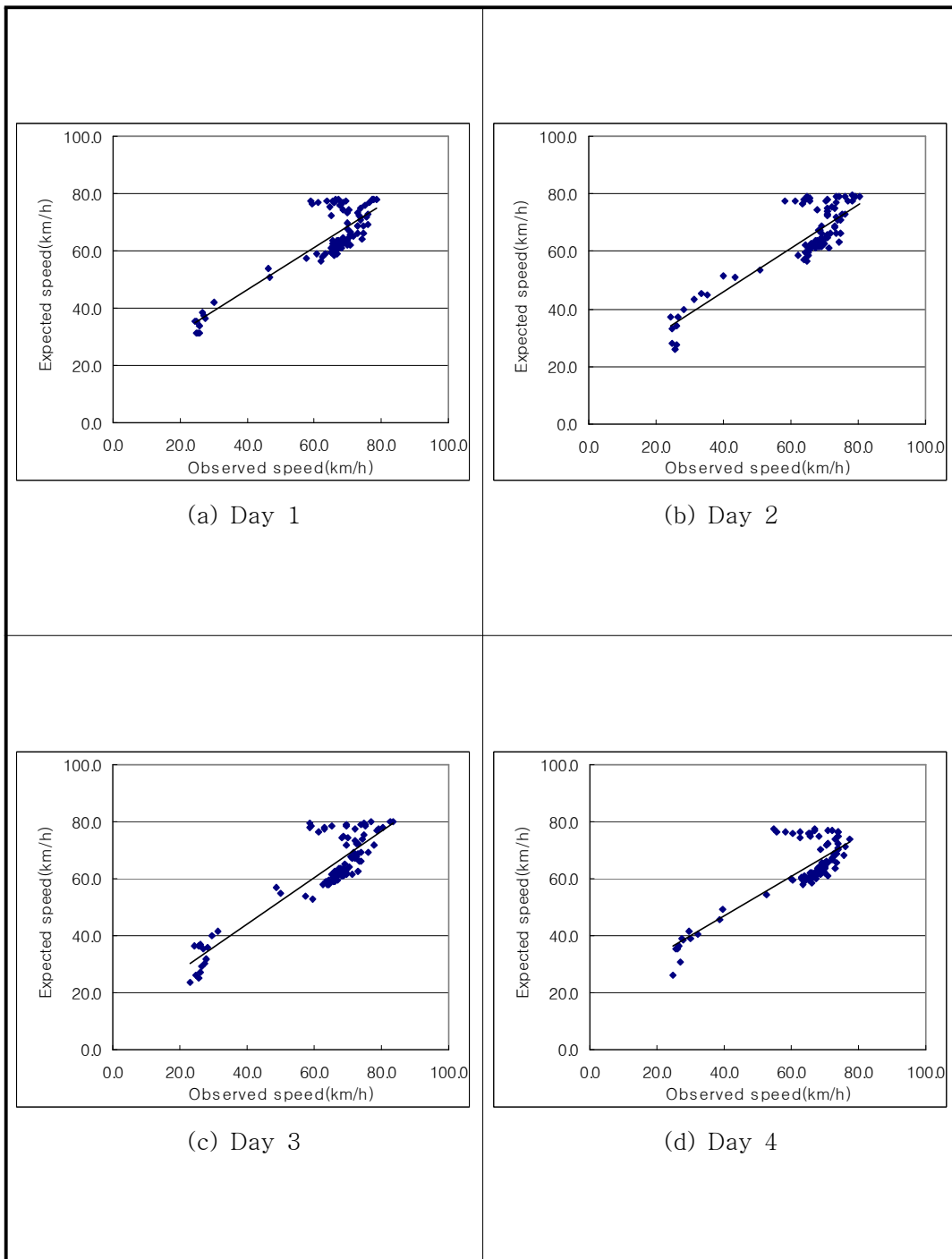


Fig. 3.8 Observed & expected speeds on the on-ramp C(1-day DB)

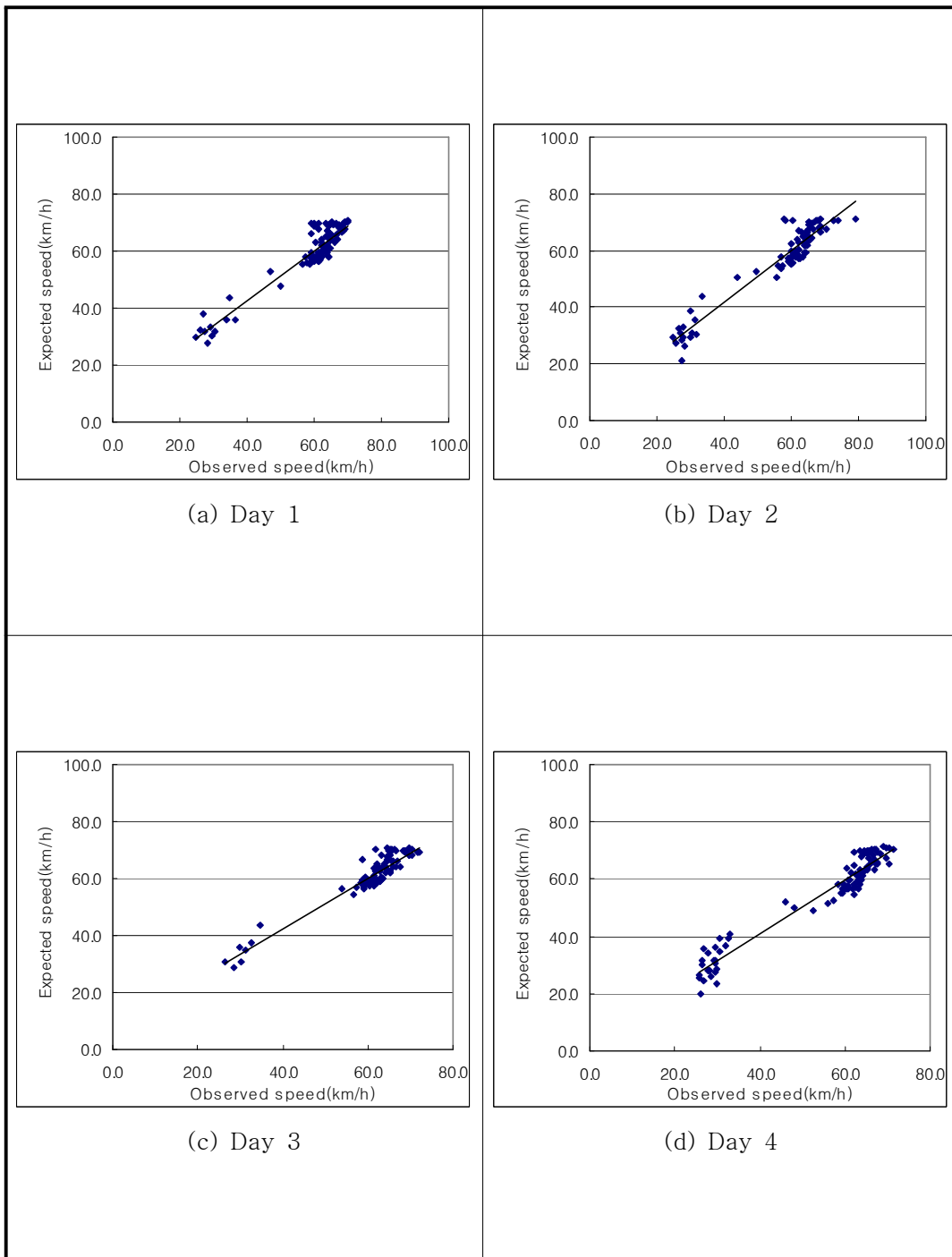


Fig. 3.9 Observed & expected speeds on the on-ramp D(1-day DB)

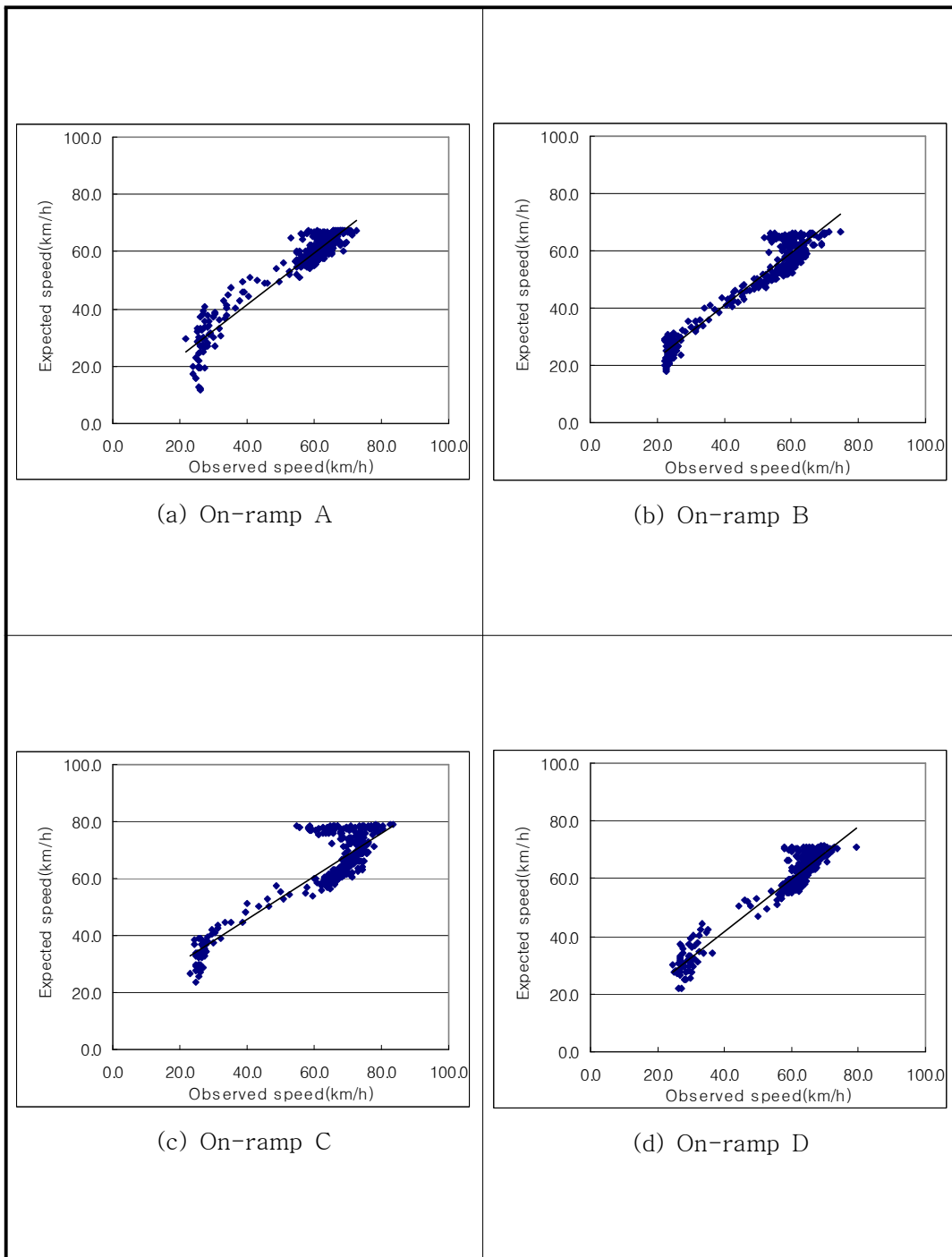


Fig. 3.10 Observed & expected speeds on the on-ramp(4-day DB)

제 4 장 결론 및 제안

우리나라의 도시고속도로는 대체적으로 대도시 지역내 도심과 부도심지역을 연결하거나, 도심을 중심으로 부도심지역 주변을 순환하는 고속화도로로 도로의 기하구조와 통행여건 및 특성이 이 연구대상 도시고속도로와 유사하다고 판단되었고, 연구대상 도시고속도로의 교통특성분석과 선형의 속도-밀도모형구축 및 검증을 통해서 다음과 같은 결론에 도달하게 되었다.

- i) 교통류율 분포는 유입연결로별, 방향별, 시간대별로 상당한 차이를 보였고, 첨두현상도 유입연결로의 도심과의 근접여부에 따라 다소 큰 차이를 보였으므로 속도-밀도모형에 중대한 영향을 미치는 것으로 생각되었다.
- ii) 교통류율에 있어서 중·대형차량의 혼재율은 시간대별로 현저한 차이를 보이고 있었으므로 중·대형차량의 혼재율이 통행특성분석과 속도-밀도모형에 있어서 상당한 영향을 미치는 것으로 생각되었다.
- iii) 이 연구대상 유입연결로의 선형모형 구축에 있어서 속도와 밀도사이의 결정계수(R^2)값이 대체적으로 0.70이상으로 나타남으로써 선택된 변수들이 선형의 회귀모형구축에 상당한 설명력을 보이는 것으로 생각되었다.
- vi) 이 연구대상 유입연결로의 선형모형에 대한 검증에 있어서 상관계수(r)값도 대체적으로 0.83이상으로 상당히 높은 상관성을 보이는 것으로 생각되었다.

또한, 향후 선형의 속도-밀도모형을 이용하여 도시고속도로의 유입연결로 접속부내 차량의 밀도추정 및 지체분석에 상당히 유효할 것으로 판단되어 도시고속도로의 관리방안 수립에 선형의 속도-밀도모형이 적극 반영되도록 제안하고자 한다.

참 고 문 헌

- 1) TRB, "Highway Capacity Manual", Special Report 209, Washington. D. C., 2000, pp. 25-1~25-19.
- 2) 도로용량편람, 건설교통부, 2004, pp 73~106.
- 3) TRB, "Traffic Flow Theory", Special Report 165, Washington. D. C., 1975, pp. 49.
- 4) TRB, "Traffic Flow Theory", Special Report 165, Washington. D. C., 1975, pp. 49.
- 5) TRB, "Traffic Flow Theory", Special Report 165, Washington. D. C., 1975, pp. 49.
- 6) TRB, "Traffic Flow Theory", Special Report 165, Washington. D. C., 1975, pp. 52~53.
- 7) 이상관, "도시가로에서 교통류특성과 교통용량 산정기법에 관한 연구", 영남대학교 산업기술연구논문집, Vol. 3 No.1, 2000.
- 8) 김승길, "70mph 제한속도를 갖는 고속도로 연결로 접속부에서의 속도 예측모형 구축에 관한 연구", 한국해양대학교 대학원 학위논문, 2000.
- 9) 서혜선의 4명 "SPSS를 활용한 회귀분석", (주)데이타솔루션, 2001, pp. 164~200.
- 10) 정충영외 1인, "SPSSWIN을 활용한 통계분석", 무역경영사, 2003, pp. 174~187,190~228.