

공학석사 학위논문

도시고속도로의 램프접속 영향권 내 속도전환
모형구축에 관한 연구

**Speed Conversion Models within the Ramp Influence Area of
the Urban Freeway**

指導教授 金 殆 坤

2004年 2月

한국해양대학교 대학원

토목환경공학과 朴汝貞

本 論 文 을 朴 汝 貞 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

위 원 장 工 學 博 士 金 度 三



위 원 工 學 博 士 慶 甲 秀



위 원 工 學 博 士 金 殆 坤



2003年 12月 26日

韓國海洋大學校 大學院

土木環境工學科 朴 汝 貞

Speed Conversion Models within the Ramp Influence Area of the Urban Freeway

Yeo Jung, Park

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

Abstract

Generally urban freeway is a divided highway facility with 4 lanes and over, and also a principal arterial for the movement of high-volumes of traffic in the big city. However, most of the urban freeways do not play their roles in the urban transportation system because of incoming and outgoing traffic concentrated on the urban freeway regardless of the peak periods. Thus, the purpose of this study is to investigate speed data for identifying the speed characteristics on the ramp influence area of the urban freeway under the study, analyze speed data investigated with those calculated by the existing speed conversion models on the ramp influence area of the freeway under the study, and finally construct the speed conversion models on the ramp influence area of the urban freeway under the study.

From the results of the real-time speed characteristic analyses and the speed conversion models constructed on the ramp influence area of the urban freeway under the study, the following conclusions were drawn;

i) The space mean speed must be used for the reliability of the speed characteristic analyses on the ramp influence area of the urban freeway, because a big difference was shown between the time mean speed and the space mean speed on the ramp influence area of the urban freeway.

ii) The speed conversion models must be newly constructed for the reliability of the speed characteristic analyses on the ramp influence area of the urban freeway, because the space mean speed showed a remarkable difference when to compare with those calculated by the existing speed conversion models based on the results of the analysis of variance(ANOVA).

iii) The speed conversion models must be highly explanatory in the speed characteristic analyses, because the correlation coefficient(R) values showed 0.96 and over regardless of the direction and ramp influence area, based on the results of the correlation analysis for the new speed conversion models constructed on the ramp influence area of urban freeway under the study.

목 차

ABSTRACT	i
NOMENCLATURE	v
LIST OF FIGURES	vi
LIST OF TABLES	viii
1. 서 론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 목적 및 필요성	1
1.3 문헌 조사	2
1.4 연구내용 및 방법	3
2. 속도특성분석	4
2.1 시간평균속도(<i>time mean speed</i>)	4
2.2 공간평균속도(<i>space mean speed</i>)	9
2.3 <i>Drake et al.</i> 모형속도	14
2.4 <i>Garber & Sankar</i> 모형속도	19
2.5 속도의 비교 · 분석	23

3. 모형 구축과 검증	30
3.1 모형 구축	30
3.2 모형 검증	30
4. 결론 및 향후 연구과제	36
참 고 문 헌	37

NOMENCLATURE

f_i	<i>the number of vehicle per unit hour(veh/15 min)</i>
R	<i>correlation coefficients</i>
U_i	<i>mean speed per unit hour(km/h)</i>
U_s	<i>space mean speed(km/h)</i>
$U_{s_{Dr}}$	<i>Drake et al. model speed(km/h)</i>
$U_{s_{GS}}$	<i>Garber & Sankar model speed(km/h)</i>
U_T	<i>time mean speed(km/h)</i>

LIST OF FIGURES

Fig. 2.1 Entrance and exit ramp influence areas	4
Fig. 2.2 24 hour U_T distribution on the inbound direction	6
Fig. 2.3 24 hour U_T distribution on the outbound direction	6
Fig. 2.4 24 hour U_T distribution on the merge influence area	7
Fig. 2.5 24 hour U_T distribution on the diverge influence area	7
Fig. 2.6 Time mean speeds	9
Fig. 2.7 24 hour U_S distribution on the inbound direction	11
Fig. 2.8 24 hour U_S distribution on the outbound direction	11
Fig. 2.9 24 hour U_S distribution on the merge influence area	12
Fig. 2.10 24 hour U_S distribution on the diverge influence area	12
Fig. 2.11 Space mean speeds	14
Fig. 2.12 24 hour $U_{S_{Dr}}$ distribution on the inbound direction	15
Fig. 2.13 24 hour $U_{S_{Dr}}$ distribution on the outbound direction	16
Fig. 2.14 24 hour $U_{S_{Dr}}$ distribution on the merge influence area	16
Fig. 2.15 24 hour $U_{S_{Dr}}$ distribution on the diverge influence area	17
Fig. 2.16 Space mean speeds by Drake et al. model	18
Fig. 2.17 24 hour $U_{S_{GS}}$ distribution on the inbound direction	20
Fig. 2.18 24 hour $U_{S_{GS}}$ distribution on the outbound direction	20
Fig. 2.19 24 hour $U_{S_{GS}}$ distribution on the merge influence area	21
Fig. 2.20 24 hour $U_{S_{GS}}$ distribution on the diverge influence area	21
Fig. 2.21 Space mean speeds by Garber & Sankar model	23

Fig. 2.22	<i>Speed comparison on the inbound merge ramp influence area</i>	24
Fig. 2.23	<i>Speed comparison on the outbound merge ramp influence area</i>	24
Fig. 2.24	<i>Speed comparison on the inbound diverge ramp influence area</i>	25
Fig. 2.25	<i>Speed comparison on the outbound diverge ramp influence area</i>	25
Fig. 2.26	<i>Speeds on the inbound direction</i>	27
Fig. 2.27	<i>Speeds on the outbound direction</i>	27
Fig. 3.1	<i>Inbound direction tested</i>	32
Fig. 3.2	<i>Outbound direction tested</i>	32
Fig. 3.3	<i>Merge influence area tested</i>	33
Fig. 3.4	<i>Diverge influence area tested</i>	33
Fig. 3.5	<i>Inbound merge influence area tested</i>	34
Fig. 3.6	<i>Inbound diverge influence area tested</i>	34
Fig. 3.7	<i>Outbound diverge influence area tested</i>	35
Fig. 3.8	<i>Outbound diverge influence area tested</i>	35

LIST OF TABLES

Table 2.1	<i>Time mean speed statistics (km/h)</i>	8
Table 2.2	<i>Space mean speed statistics (km/h)</i>	13
Table 2.3	<i>Space mean speed statistics by Drake et al. model (km/h)</i>	18
Table 2.4	<i>Space mean speed statistics by Garber & Sankar model (km/h)</i>	22
Table 2.5	<i>ANOVA results on the inbound direction</i>	28
Table 2.6	<i>ANOVA results on the outbound direction</i>	29
Table 3.1	<i>Speed conversion models constructed</i>	31
Table 3.2	<i>Correlation coefficients between data modeled and ones unused</i>	31

1. 서 론

1.1 연구 배경

일반적으로 도시고속도로(*urban freeway*)란 도시지역 내 고속화도로로 도시교통 체계의 주요 간선도로 역할을 수행하는 양방향 4차로 이상의 자동차 전용도로를 의미한다. 그러나 오늘날 우리나라의 도시고속도로는 출퇴근 시간대에 관계없이 이용 차량이 집중하고 있고, 또한 이용차량에 비하여 도시고속도로시설이 턱없이 부족하며, 더구나 도시고속도로를 포함한 도로위계(*hierarchy of highway*)가 불합리하여 간선도로로서 역할을 제대로 수행하지 못하고 있기 때문에 도시고속도로의 정체를 줄이고 소통능력을 증대시키기 위한 교통특성관련연구가 점차 증가하고 있는 상황이다. 이러한 교통특성관련연구 중에서 특히, 속도특성연구는 도시고속도로를 계획하거나 설계할 때 우선적으로 고려해야 할 사항 중의 하나로 효율적인 도시고속도로의 교통체계를 구축하기 위한 중요한 연구과제로 대두되고 있다.

1.2 연구 목적 및 필요성

지금까지 고속도로의 교통특성연구 중에서 속도특성연구에는 공간평균속도(*space mean speed*)가 사용되어야 하지만, 지점속도인 시간평균속도(*time mean speed*)가 구간속도인 공간평균속도에 비하여 현장관측이 용이하기 때문에 속도전환모형(*speed conversion model*)을 이용하여 시간평균속도를 공간평균속도로 전환하여 사용하고 있다. 그러나 기존의 속도전환모형은 우리나라의 도시고속도로와 다른 교통특성을 지닌 외국의 고속도로를 중심으로 구축되었고, 기존의 속도전환모형을 우리나라의 도시고속도로에 적용하였을 때 신뢰성 있는 교통특성연구가 수행될 수 없기

때문에 우리나라 도시고속도로의 교통특성에 적합한 속도전환모형을 구축할 필요성이 절실히 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 우리나라의 대표적인 부산지역 도시고속도로의 램프접속 영향권 내에서 실시간으로 관측된 속도특성자료를 중심으로 i) 연구대상구간 내에서 실시간의 속도특성자료를 조사·분석하고, ii) 연구대상구간 내 속도특성자료와 기존의 속도전환모형에 따른 속도특성자료를 상호 비교·분석하며, iii) 비교·분석된 속도특성자료를 중심으로 연구대상구간 내 새로운 속도전환모형을 구축·검증함으로써 우리나라 도시고속도로의 램프접속 영향권 내 신뢰성 있는 속도전환모형을 제시하고자 한다.

1.3 문헌 조사

본 연구와 관련하여 HCM¹⁾(*highway capacity manual*, 2000)에서는 공간평균속도(*space mean speed*)와 시간평균속도(*time mean speed*)사이의 전형적인 속도전환모형인 *Drake et al.*모형을 제안하고 있는데, *Drake et al.*모형을 통해 속도를 비교·분석한 결과 공간평균속도는 언제나 시간평균속도보다 낮게 나타났으나, 속도의 절대값이 증가함에 따라 두 속도 차는 감소하는 것으로 나타났으며, 공간평균속도보다 시간평균속도의 관측이 보다 용이하기 때문에 *Drake et al.*모형을 이용하여 공간평균속도를 산정하였다.

HCM²⁾(*highway capacity manual*, 1998)에서는 고속도로의 램프접속 영향권 내에서 진·출입 차량에 의한 속도특성변화를 예측하기 위해 속도예측모형을 구축하였다.

A. D. May³⁾(1990)는 시간평균속도(*time mean speed*)와 공간평균속도(*space mean speed*)사이의 속도를 상호 비교하였는데, 공간평균속도는 관측구간 내 모든 차량이 동일 속도로 주행할 경우에만 시간평균속도와 일치할 수 있으므로 결코 시간평균속도보다 커질 수가 없다고 하였다.

N. J. Garber와 L. A. Hoel⁴⁾(1999)도 고속도로의 속도특성자료를 이용하여 시간평균속도(*time mean speed*)와 공간평균속도(*space mean speed*)사이의 속도진환모형인 *Garber & Sankar*모형을 제안하였다.

N. Thompson⁵⁾(1997)은 미국 *Minnesota*주 고속도로의 램프접속 영향권을 통합교통관리체계(*integrated corridor traffic management-ramp metering system, ICTM-RMS*)를 구축·운영한 결과 본선구간의 속도가 약 60%정도 증가하였다고 보고함으로써 고속도로 램프접속 영향권의 속도특성변화를 확인하기 위해 통합교통관리체계 구축의 필요성을 강조하였다.

김승길⁶⁾(2000)은 미국의 *Michigan*주 *Detroit*지역 내 고속도로 I-94(미국 *Michigan*주 *Detroit*지역에서 *Illinois*주 *Chicago*까지 연결되는 제한속도 70mph의 양방향 6차로 고속도로)의 램프접속 영향권 내에서 진출·입 차량에 의한 속도특성변화를 예측하기 위해 속도예측모형을 구축하였다.

1.4 연구내용 및 방법

본 연구대상지역으로 부산지역 내 양방향 4차로 도시고속도로의 트럼펫 A형 입체교차로로(차로폭원 3.6m, 본선 제한속도 80km/h, 램프 제한속도 50km/h, 주요 지점에 속도 감시 카메라가 설치되어 있음) 램프접속 영향권 내에 450m 간격으로 설치된 검지기(NC-97)로부터 매 15분 단위시간으로 2주일동안 실시간으로 관측된 속도특성자료를 수집하여 결측치가 발견되는 자료를 제거한 후 램프접속 영향권(합류 램프접속 영향권과 분류 램프접속 영향권)과 방향(도심과 부도심)으로 분류하여 비교·분석을 실시하였다.

특히, 본 연구대상지역의 속도특성자료의 비교·분석과 모형구축 및 검증을 위해 *Microsoft Office 2002*와 *SPSS(ver 10.0)*가 실시간 자료와 함께 사용되었다.

2. 속도특성분석

본 속도특성분석에서는 연구대상 도시고속도로의 램프접속 영향권 내 설치된 검지기로부터 관측된 속도특성자료를 중심으로 램프접속 영향권 내에서 시간평균속도와 공간평균속도 그리고 *Drake et al.* 모형속도와 *Garber & Sankar* 모형속도가 상호 비교·분석되었는데, 연구대상 도시고속도로의 램프접속 영향권은 다음과 같다(참조 Fig. 2.1).

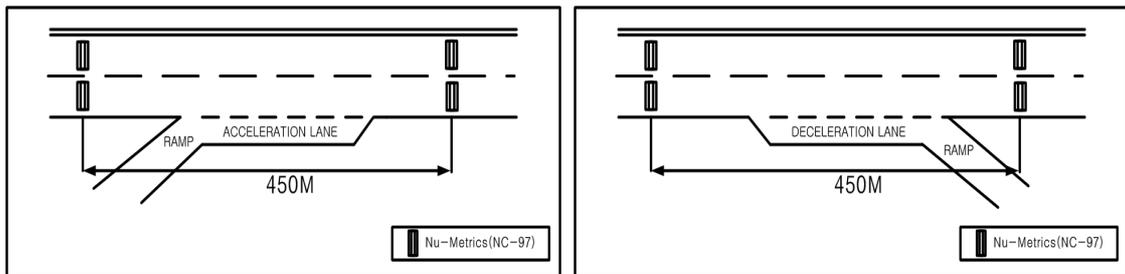


Fig. 2.1 Entrance and exit ramp influence areas

2.1 시간평균속도(time mean speed)

시간평균속도는 관측기기가 설치된 관측지점의 지점속도(*spot speed*)이고, 차량의 단위시간당 주행거리로서 그 단위는 *kilometer per hour(km/h)*로 표현되며, 본 연구대상 램프접속 영향권 내 시간평균속도는 산술평균에 의해 다음과 같이 산정된다.

$$U_T = \frac{\sum U_i f_i}{\sum f_i} \quad (2.1)$$

여기서, U_T : 시간평균속도(km/h)
 U_i : 단위시간 내 평균속도(km/h)
 f_i : 단위시간 내 차량 수(veh/15 min)

본 연구대상 도시고속도로의 도심방향 합류 램프접속 영향권 내에서 관측된 시간평균속도(U_T)의 분포를 살펴보면, 오전시간대(07:00~12:00)와 오후시간대(14:00~21:00)에는 유입차량의 집중으로 시간평균속도(U_T)의 급감과 함께 극심한 정체를 보이고 있었고, 반면 도심방향의 분류 램프접속 영향권에서 관측된 시간평균속도(U_T)의 분포에서는 오전시간대(07:00~11:00)와 오후시간대(15:00~17:00)에 유출차량의 집중으로 시간평균속도(U_T)의 감소와 함께 상당한 정체를 보이고 있었으며, 부도심방향의 합류 및 분류 램프접속 영향권 내에서는 다소 시간평균속도(U_T)의 변화와 함께 대체적으로 원활한 소통을 보이는 것으로 나타났다(참조 Fig. 2.2~Fig. 2.5).

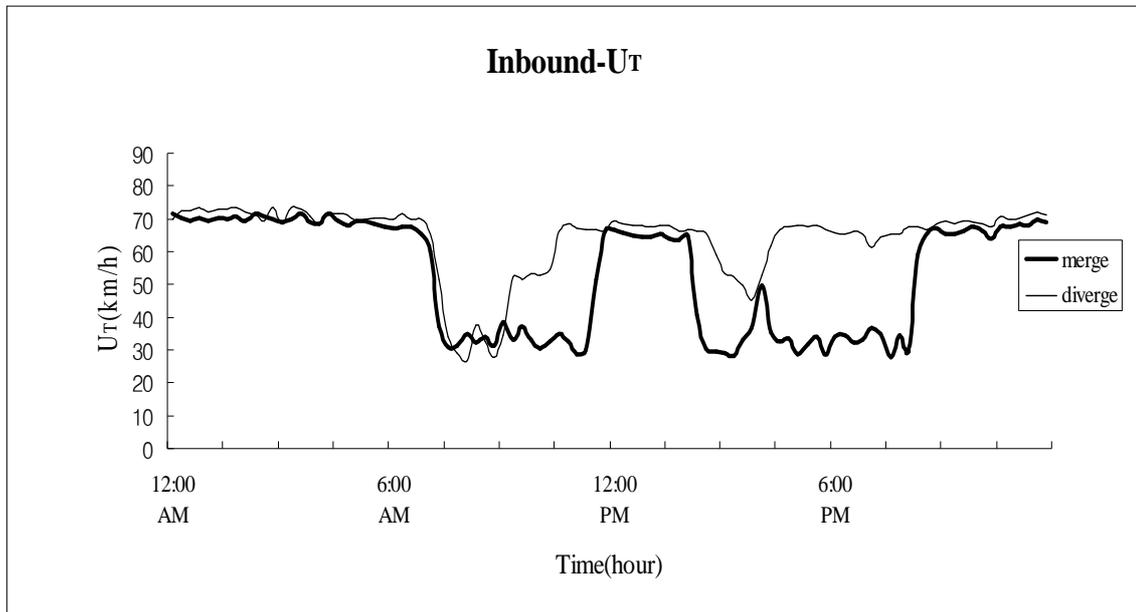


Fig. 2.2 24 hour U_T distribution on the inbound direction

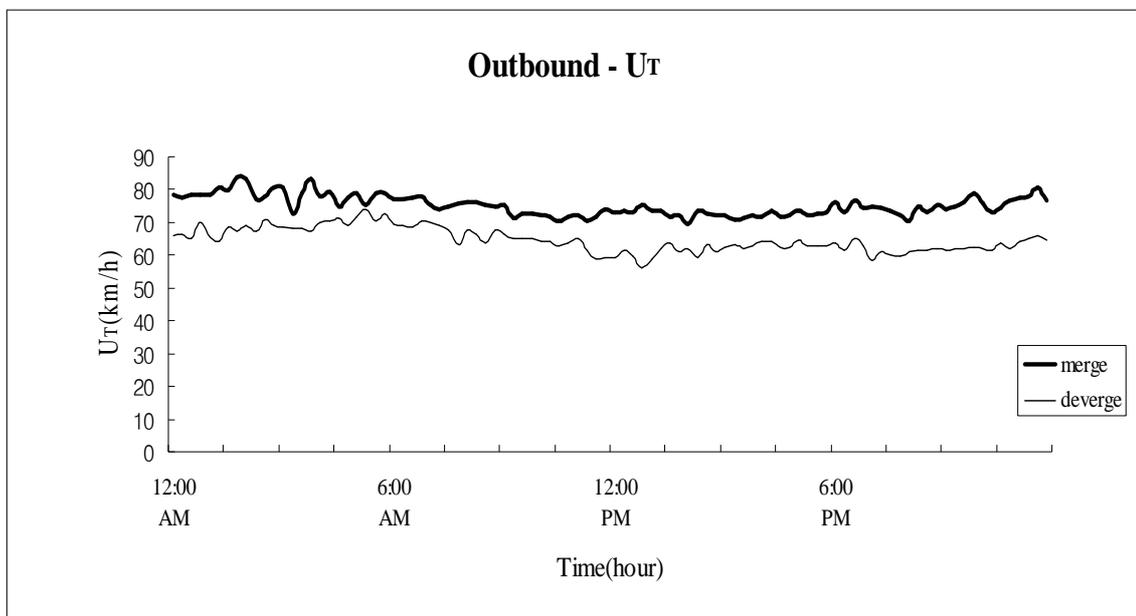


Fig. 2.3 24 hour U_T distribution on the outbound direction

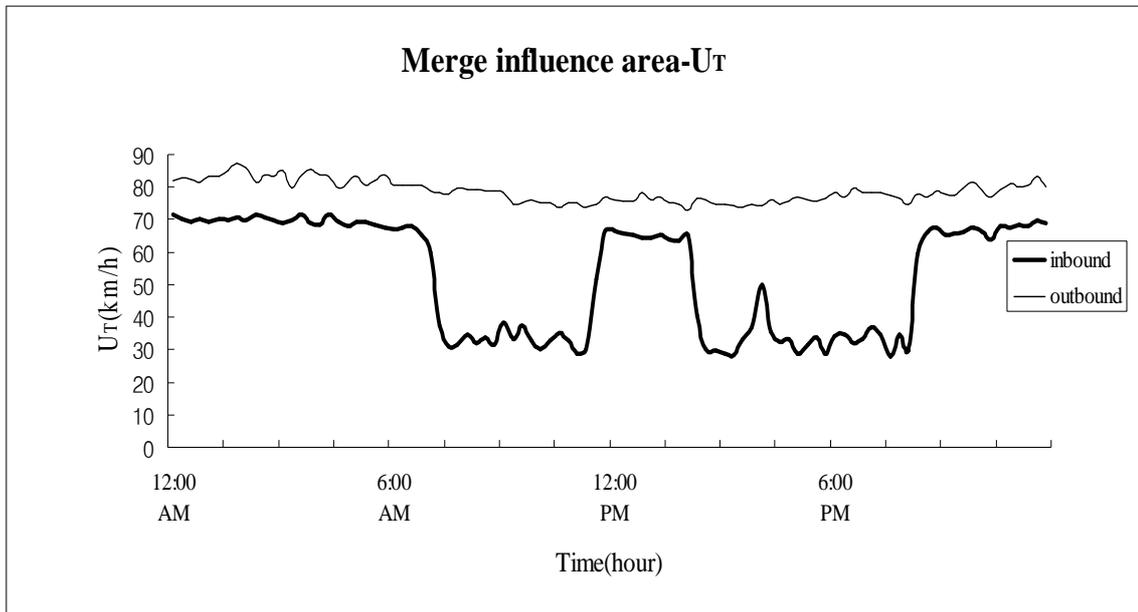


Fig. 2.4 24 hour U_T distribution on the merge influence area

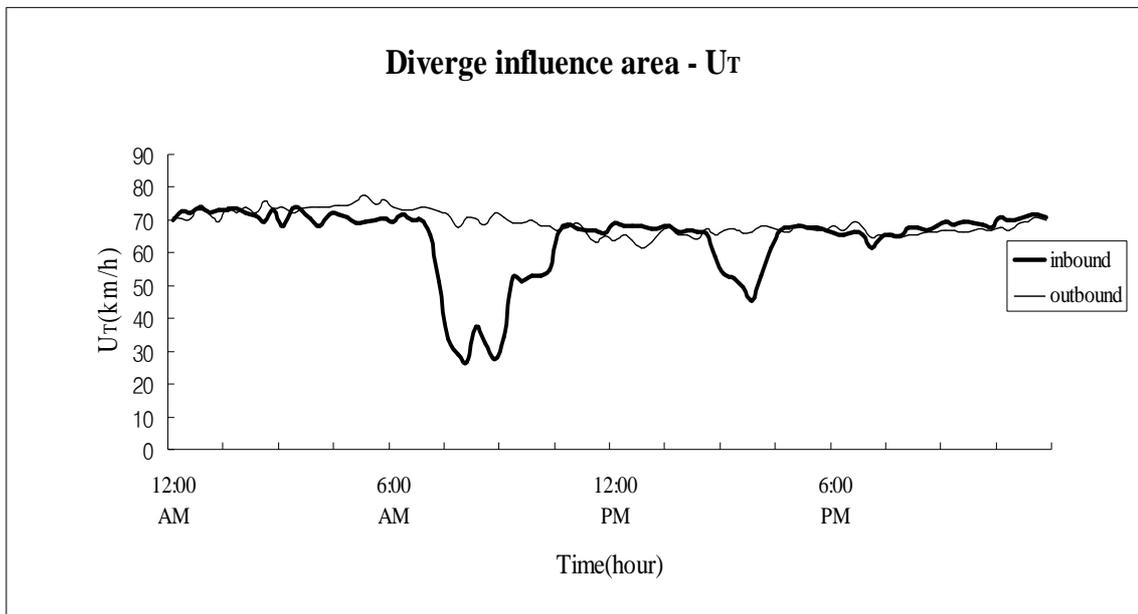


Fig. 2.5 24 hour U_T distribution on the diverge influence area

한편, 도심방향의 램프접속 영향권 내에서 시간평균속도(U_p)는 56.7km/h로 나타났고 부도심방향의 램프접속 영향권 내에서 시간평균속도(U_p)는 71.8km/h로 나타났습니다. 특히, 도심방향의 램프접속 영향권 내에서 시간평균속도(U_p)는 부도심방향의 램프접속 영향권 내 시간평균속도(U_p)에 비하여 약 21% 감소하는 것으로 나타났습니다. 더구나, 도심방향의 합류 램프접속 영향권에서의 시간평균속도(U_p)는 부도심방향의 합류 램프접속 영향권의 시간평균속도(U_p)에 비하여 약 30.9% 낮게 나타났고, 도심방향의 분류 램프접속 영향권에서의 시간평균속도(U_p)는 부도심방향의 분류 램프접속 영향권의 시간평균속도(U_p)에 비하여 약 14.6% 낮게 나타났습니다(참조 Table 2.1).

결과적으로 시간평균속도(U_p)가 부도심방향보다는 도심방향에서 차량집중현상으로 낮게 관측되었고, 또한 분류 램프접속 영향권보다는 합류 램프접속 영향권에서 유입차량으로 인한 밀도증가여파로 시간평균속도(U_p)가 낮게 관측되었다는 사실을 확인할 수 있었다(참조 Fig. 2.6).

Table 2.1 Time mean speed statistics (km/h)

		<i>average</i>		<i>min.</i>	<i>max.</i>
<i>inbound</i>	<i>merge</i>	56.7	54.0	26.4	72.0
	<i>diverge</i>		58.5	27.1	75.2
<i>outbound</i>	<i>merge</i>	71.8	78.2	73.1	87.2
	<i>diverge</i>		68.5	61.1	76.3

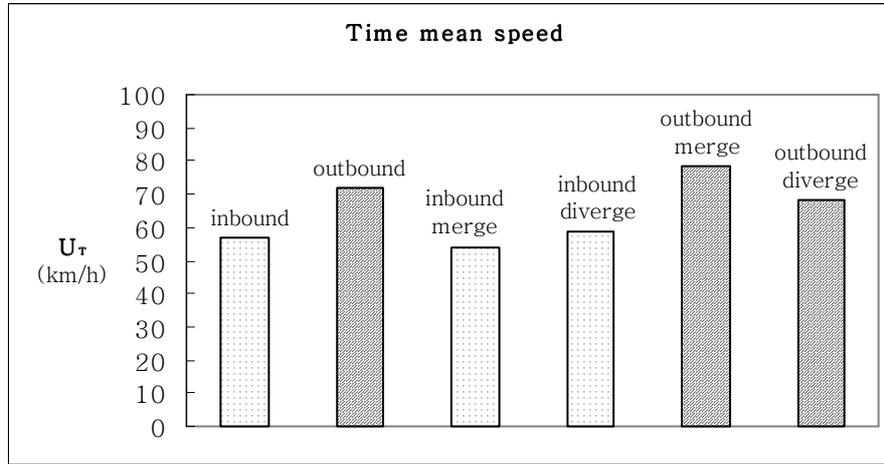


Fig. 2.6 Time mean speeds

2.2 공간평균속도(space mean speed)

공간평균속도란 어느 대상구간 내에서 관측된 구간의 평균속도(interval speed)이고, 차량의 단위시간당 주행거리로서 그 단위는 *kilometer per hour(km/h)*로 표현되며, 본 연구대상 램프접속 영향권 내 공간평균속도는 조화평균에 의해 다음과 같이 산정된다.

$$U_s = \frac{1}{\frac{1}{\sum f_i} \sum \frac{f_i}{U_i}} \quad (2.2)$$

여기서, U_s : 공간평균속도(km/h)
 U_i : 단위시간 내 평균속도(km/h)
 f_i : 단위시간 내 차량 수(veh/15 min)

본 연구대상 도시고속도로의 도심방향 합류 램프접속 영향권 내에서 산정된 공간 평균속도(U_s)의 분포를 살펴보면, 오전시간대(07:00~12:00)와 오후시간대(14:00~21:00)에는 유입차량의 집중으로 공간평균속도(U_s)의 급감과 함께 극심한 정체를 보이고 있었고, 반면 도심방향의 분류 램프접속 영향권에서 관측된 공간평균속도(U_s)의 분포에서는 오전시간대(07:00~11:00)와 오후시간대(15:00~17:00)에 유출차량의 집중으로 공간평균속도(U_s)의 감소와 함께 상당한 정체를 보이고 있었으며, 부도심방향의 합류 및 분류 램프접속 영향권 내에서는 다소 공간평균속도(U_s)의 변화와 함께 대체적으로 원활한 소통을 보이는 것으로 나타났다(참조 Fig. 2.7~Fig. 2.10).

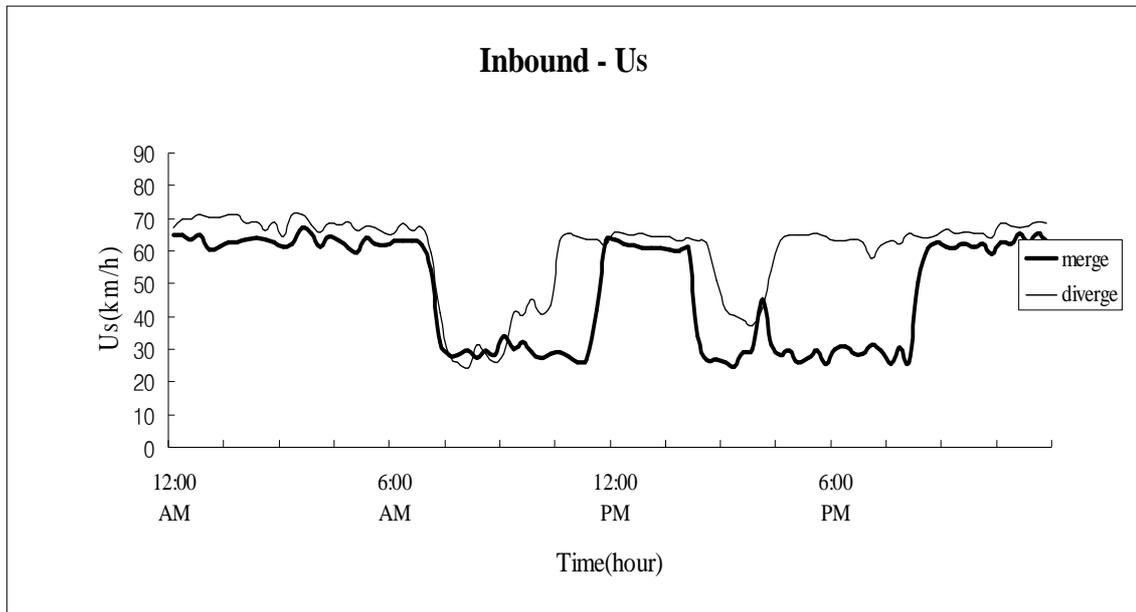


Fig. 2.7 24 hour U_s distribution on the inbound direction

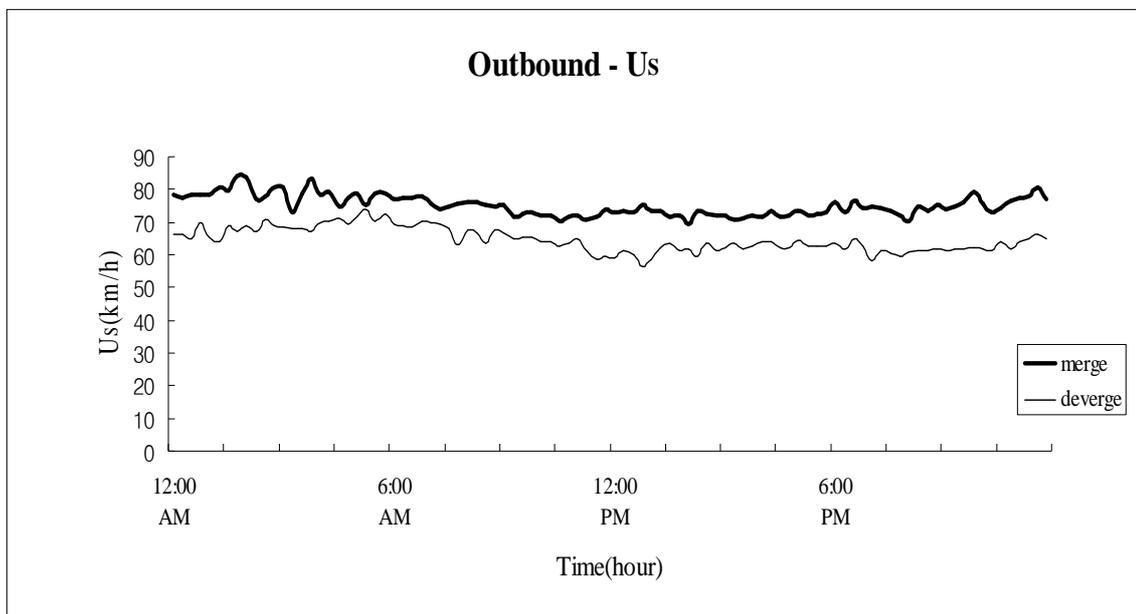


Fig. 2.8 24 hour U_s distribution on the outbound direction

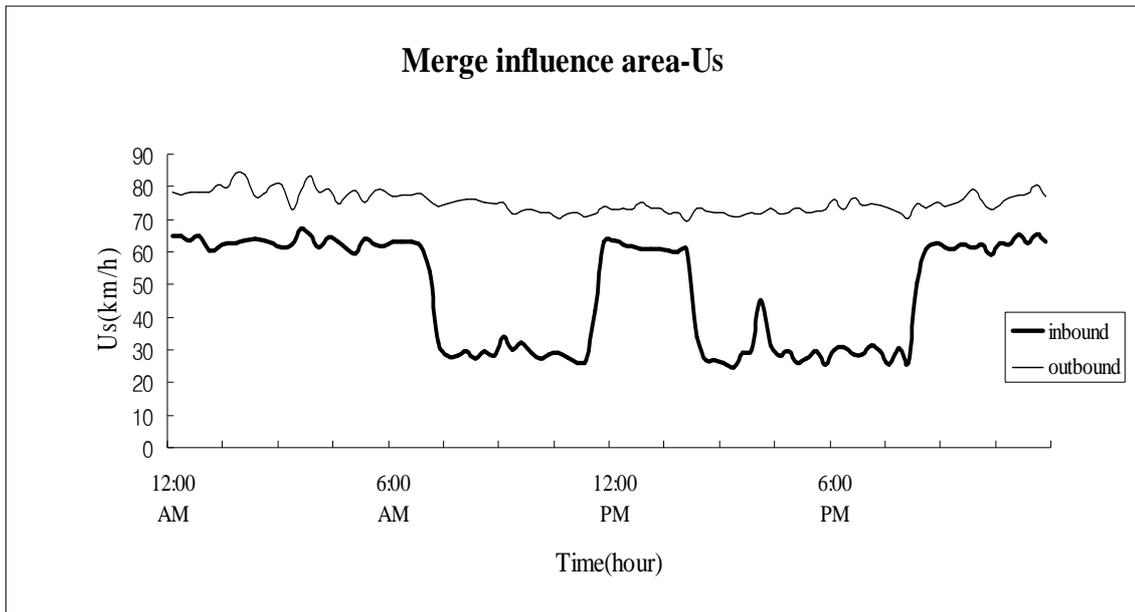


Fig. 2.9 24 hour U_s distribution on the merge influence area

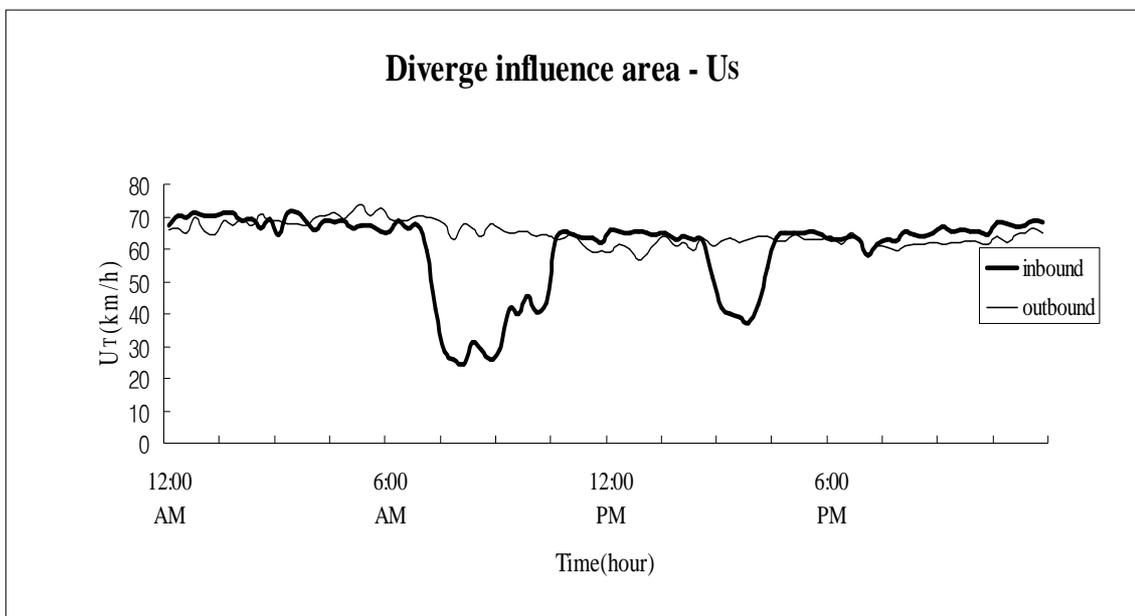


Fig. 2.10 24 hour U_s distribution on the diverge influence area

한편, 본 연구대상 도심방향의 램프접속 영향권 내에서 산정된 공간평균속도(U_s)는 약 51.8km/h로 나타났고, 부도심방향의 램프접속 영향권 내에서 산정된 공간평균속도(U_s)는 약 67.2km/h로 나타났다. 특히, 도심방향의 램프접속 영향권 내에서 산정된 공간평균속도(U_s)는 부도심방향의 램프접속 영향권 내에서 산정된 공간평균속도(U_s)에 비하여 약 22.9% 감소하는 것으로 나타났다. 더구나, 도심방향의 합류 램프접속 영향권에서 산정된 공간평균속도(U_s)는 부도심방향의 합류 램프접속 영향권에서 산정된 공간평균속도(U_s)에 비하여 약 33.6% 낮게 나타났고, 도심방향의 분류 램프접속 영향권에서 산정된 공간평균속도(U_s)는 부도심방향의 분류 램프접속 영향권에서 산정된 공간평균속도(U_s)에 비하여 약 15.1% 낮게 나타났다(참조 Table 2.2).

결과적으로 공간평균속도(U_s)도 부도심방향보다는 도심방향에서 낮게 산정되었고, 또한 분류 램프접속 영향권보다는 합류 램프접속 영향권에서 공간평균속도(U_s)가 낮게 산정되었다는 사실을 확인할 수 있었다(참조 Fig. 2.11).

Table 2.2 Space mean speed statistics (km/h)

		<i>average</i>		<i>min.</i>	<i>max.</i>
<i>inbound</i>	<i>merge</i>	51.8	49.6	24.2	69.4
	<i>diverge</i>		54.4	24.5	73.1
<i>outbound</i>	<i>merge</i>	67.2	74.7	69.2	84.0
	<i>diverge</i>		64.1	55.0	73.1

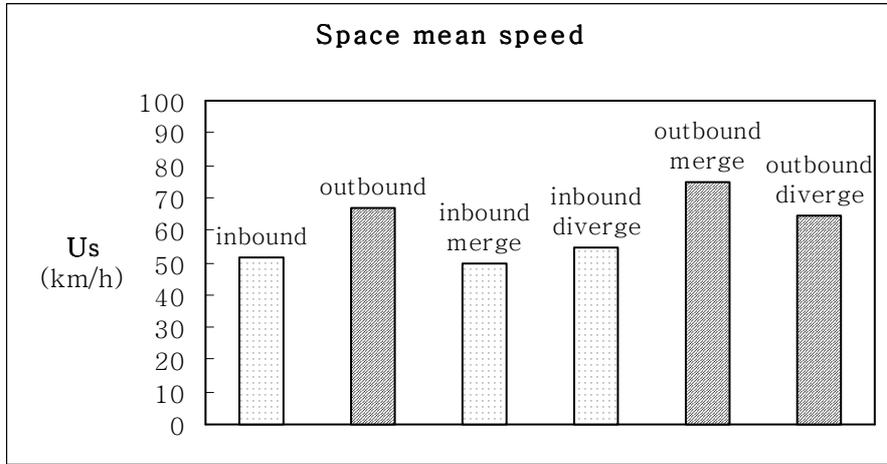


Fig. 2.11 Space mean speeds

2.3 Drake et al. 모형속도

Drake et al. 모형¹⁾은 시간평균속도를 공간평균속도로 전환시키는 속도전환모형이고, 이 모형속도는 차량의 단위시간당 주행거리로서 그 단위는 kilometer per hour(km/h)로 표현되며, 다음과 같이 산정된다.

$$U_{S_{Dr}} = 1.026 \times U_T - 3.042 \quad (2.3)$$

여기서, $U_{S_{Dr}}$: Drake et al. 모형속도(km/h)

U_T : 시간평균속도(km/h)

본 연구대상 도시고속도로의 도심방향 합류 램프접속 영향권 내에서 산정된 Drake et al. 모형속도($U_{S_{Dr}}$)의 분포를 살펴보면, 오전시간대(07:00~12:00)와 오후시간대(14:00~21:00)에는 유입차량의 집중으로 Drake et al. 모형속도($U_{S_{Dr}}$)의 급감과

함께 극심한 정체를 보이는 것으로 나타났고, 반면 도심방향의 분류 램프접속 영향권에서 관측된 *Drake et al.* 모형속도($U_{S_{Dr}}$)의 분포에서는 오전시간대(07:00~11:00)와 오후시간대(15:00~17:00)에 유출차량의 집중으로 *Drake et al.* 모형속도($U_{S_{Dr}}$)의 감소와 함께 상당한 정체를 보이는 것으로 나타났으며, 부도심방향의 합류 및 분류 램프접속 영향권 내에서는 다소 *Drake et al.* 모형속도($U_{S_{Dr}}$)의 변화와 함께 대체적으로 원활한 소통을 보이는 것으로 나타났다(참조 Fig. 2.12~Fig. 2.15).

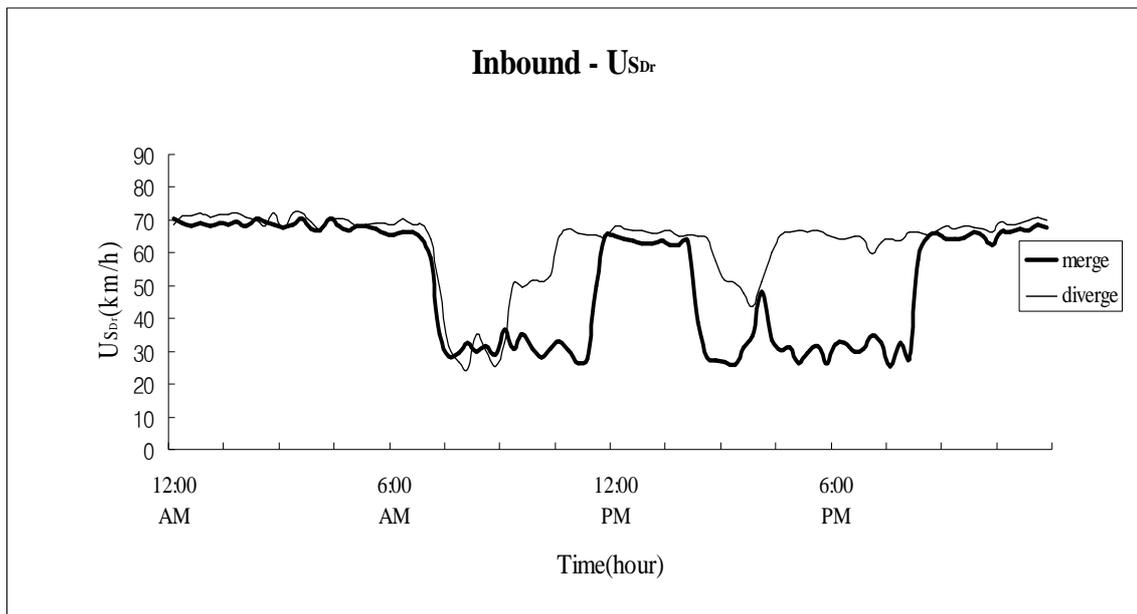


Fig. 2.12 24 hour $U_{S_{Dr}}$ distribution on the inbound direction

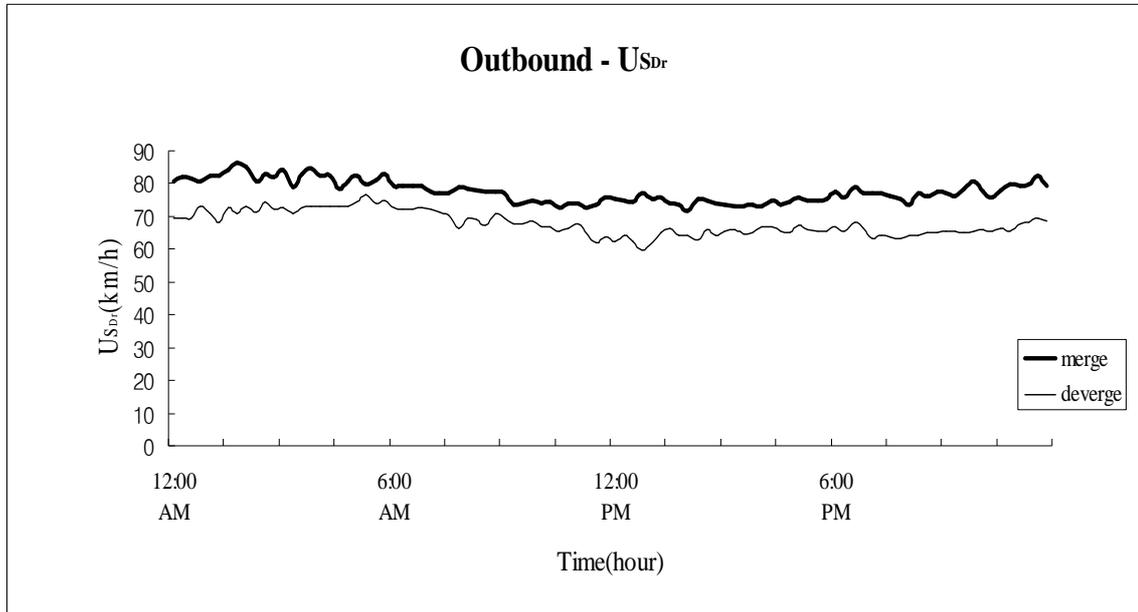


Fig. 2.13 24 hour U_{SDr} distribution on the outbound direction

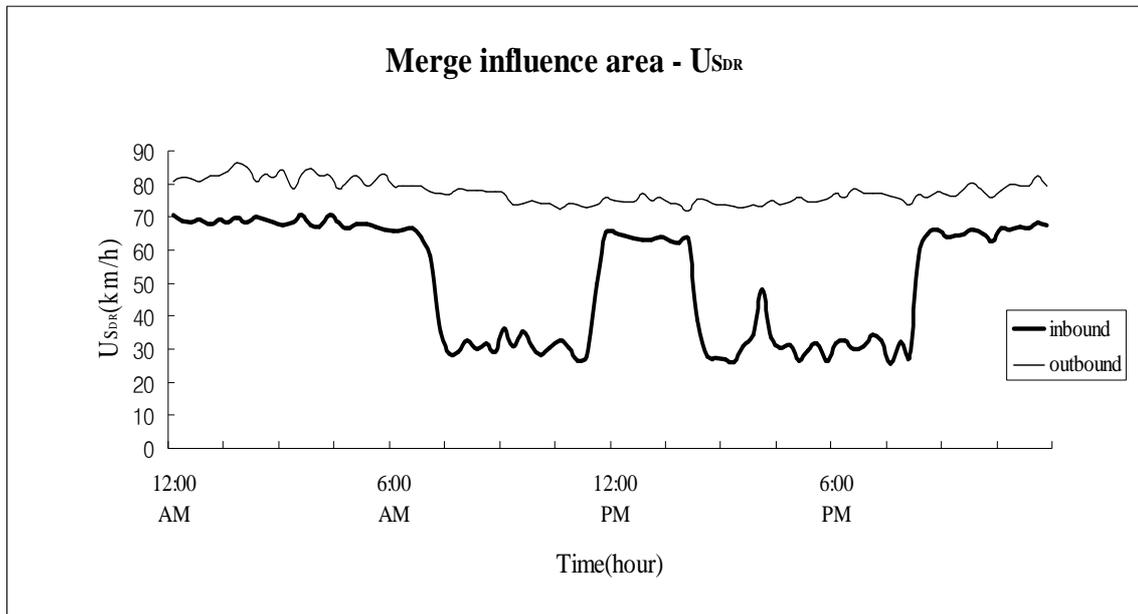


Fig. 2.14 24 hour U_{SDr} distribution on the merge influence area

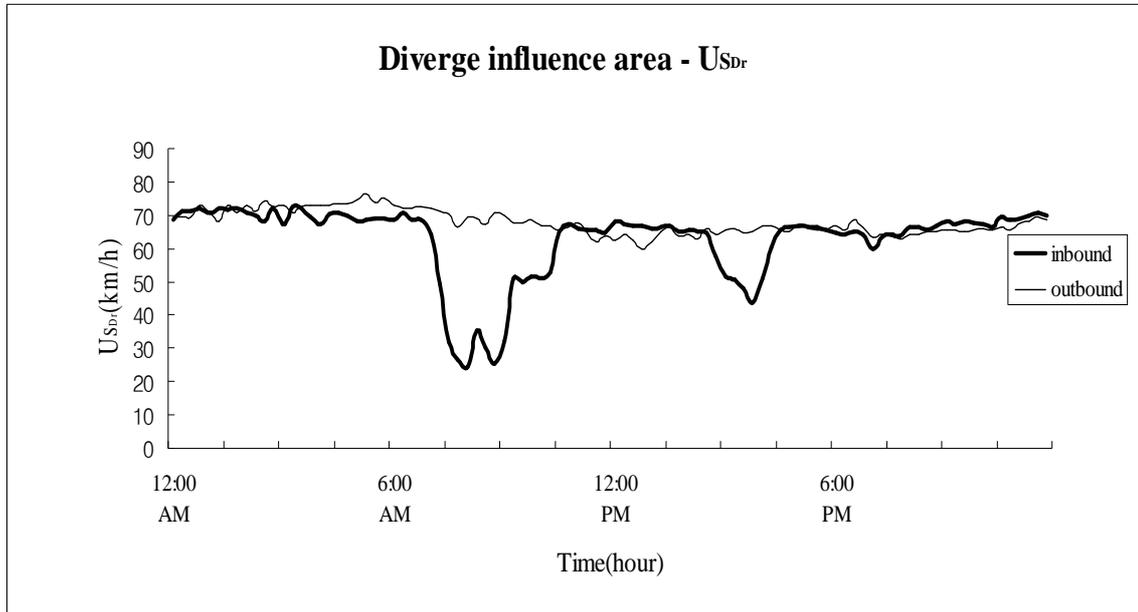


Fig. 2.15 24 hour $U_{S_{Dr}}$ distribution on the diverge influence area

한편, 본 연구대상 도심방향의 램프접속 영향권 내에서 산정된 *Drake et al.* 모형 속도($U_{S_{Dr}}$)는 약 55.1km/h로 나타났고, 부도심방향의 램프접속 영향권 내에서 *Drake et al.* 모형속도($U_{S_{Dr}}$)는 약 70.6km/h로 나타났다. 특히, 도심방향의 램프접속 영향권 내에서 산정된 *Drake et al.* 모형속도($U_{S_{Dr}}$)는 부도심방향의 램프접속 영향권 내에서 산정된 *Drake et al.* 모형속도($U_{S_{Dr}}$)에 비하여 약 22% 감소하는 것으로 나타났다. 더구나, 도심방향의 합류 램프접속 영향권에서의 산정된 *Drake et al.* 모형속도($U_{S_{Dr}}$)는 부도심방향의 합류 램프접속 영향권에서 산정된 *Drake et al.* 모형속도($U_{S_{Dr}}$)에 비하여 약 32.1% 낮게 나타났고, 도심방향의 분류 램프접속 영향권에서 산정된 *Drake et al.* 모형속도($U_{S_{Dr}}$)는 부도심방향의 분류 램프접속 영향권에서 산정된 *Drake et al.* 모형속도($U_{S_{Dr}}$)에 비하여 약 15.2% 낮게 나타났다(참조 Table 2.3).

결과적으로 *Drake et al.* 모형속도($U_{S_{Dr}}$)도 부도심방향보다는 도심방향에서, 분류 램프접속 영향권보다는 합류 램프접속 영향권에서 *Drake et al.* 모형속도($U_{S_{Dr}}$)가 낮게 산정되었다는 사실을 확인할 수 있었다(참조 Fig. 2.16).

Table 2.3 Space mean speed statistics by Drake et al. model (km/h)

		average		min.	max.
inbound	merge	55.1	52.4	24.0	70.9
	diverge		57.0	24.7	74.1
outbound	merge	70.6	77.2	71.9	86.5
	diverge		67.2	59.6	75.3

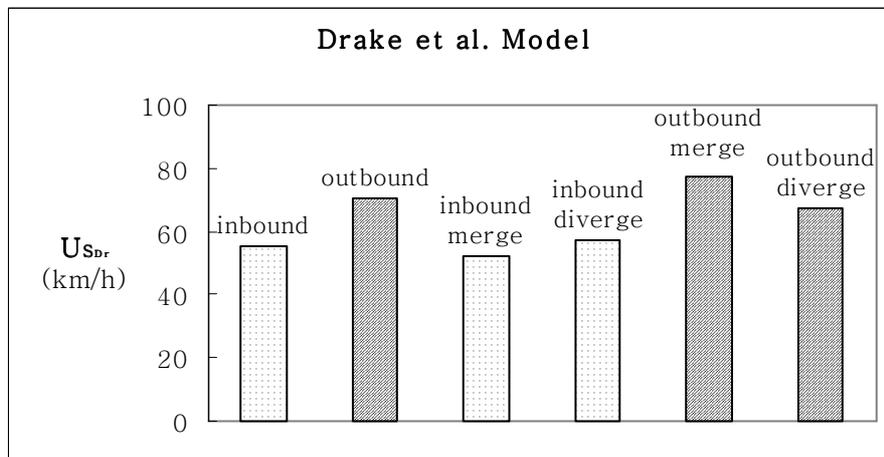


Fig. 2.16 Space mean speeds by Drake et al. model

2. 4 Garber & Sankar 모형속도

Garber & Sankar 모형²⁾은 시간평균속도를 공간평균속도로 전환시키는 속도전환 모형이고, 이 모형속도는 차량의 단위시간당 주행거리로서 그 단위는 *kilometer per hour(km/h)*로 표현되며, 다음과 같이 산정된다.

$$U_{S_{cs}} = 1.035 \times U_T - 3.666 \quad (2. 4)$$

여기서, $U_{S_{cs}}$: Garber & Sankar 모형속도(km/h)
 U_T : 시간평균속도(km/h)

본 연구대상 도시고속도로의 도심방향 합류 램프접속 영향권 내에서 산정된 Garber & Sankar 모형속도($U_{S_{cs}}$)의 분포를 살펴보면, 오전시간대(07:00~12:00)와 오후시간대(14:00~21:00)에는 유입차량의 집중으로 Garber & Sankar 모형속도($U_{S_{cs}}$)의 급감과 함께 극심한 정체를 보이는 것으로 나타났고, 반면 도심방향의 분류 램프접속 영향권에서 관측된 Garber & Sankar 모형속도($U_{S_{cs}}$)의 분포에서는 오전시간대(07:00~11:00)와 오후시간대(15:00~17:00)에 유출차량의 집중으로 Garber & Sankar 모형속도($U_{S_{cs}}$)의 감소와 함께 상당한 정체를 보이는 것으로 나타났으며, 부도심방향의 합류 및 분류 램프접속 영향권 내에서는 다소 Garber & Sankar 모형속도($U_{S_{cs}}$)의 변화와 함께 대체적으로 원활한 소통을 보이는 것으로 나타났다(참조 Fig. 2.17~Fig. 2.20).

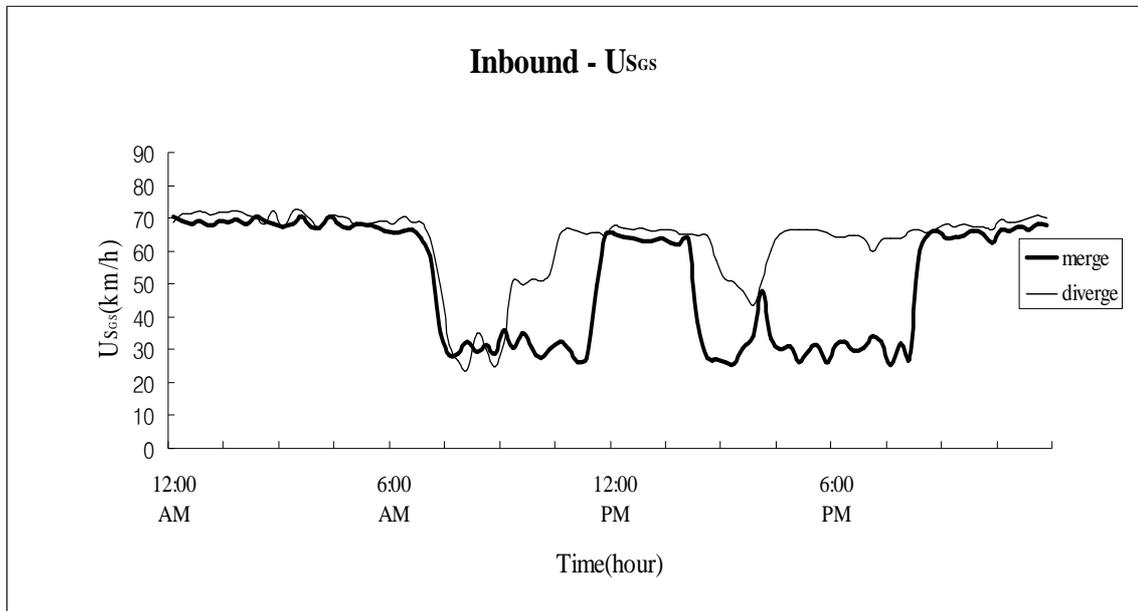


Fig. 2.17 24 hour $U_{S_{GS}}$ distribution on the inbound direction

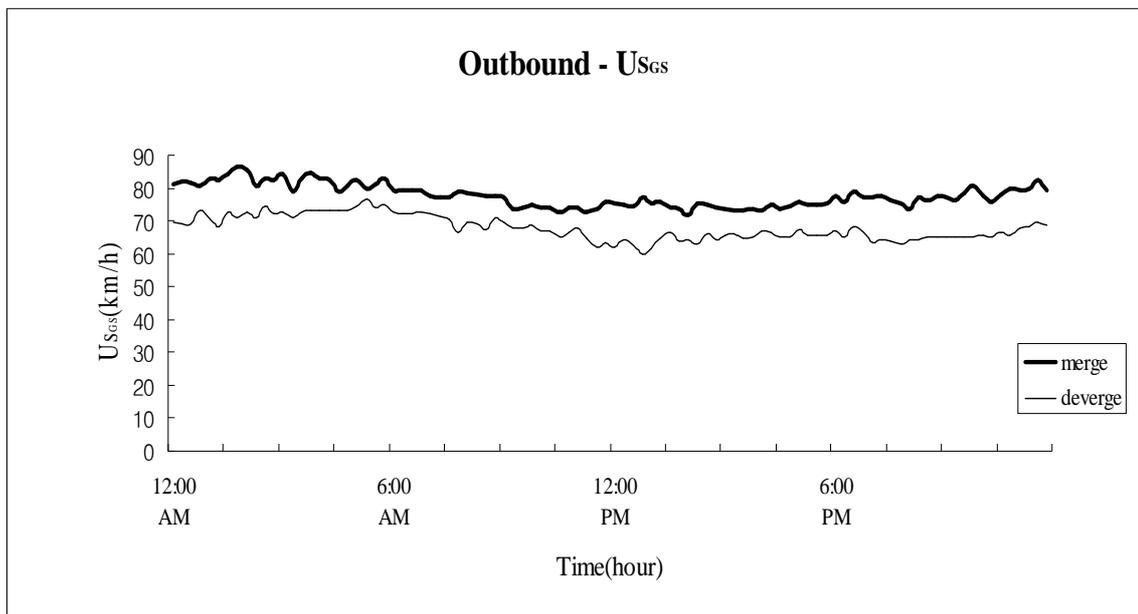


Fig. 2.18 24 hour $U_{S_{GS}}$ distribution on the outbound direction

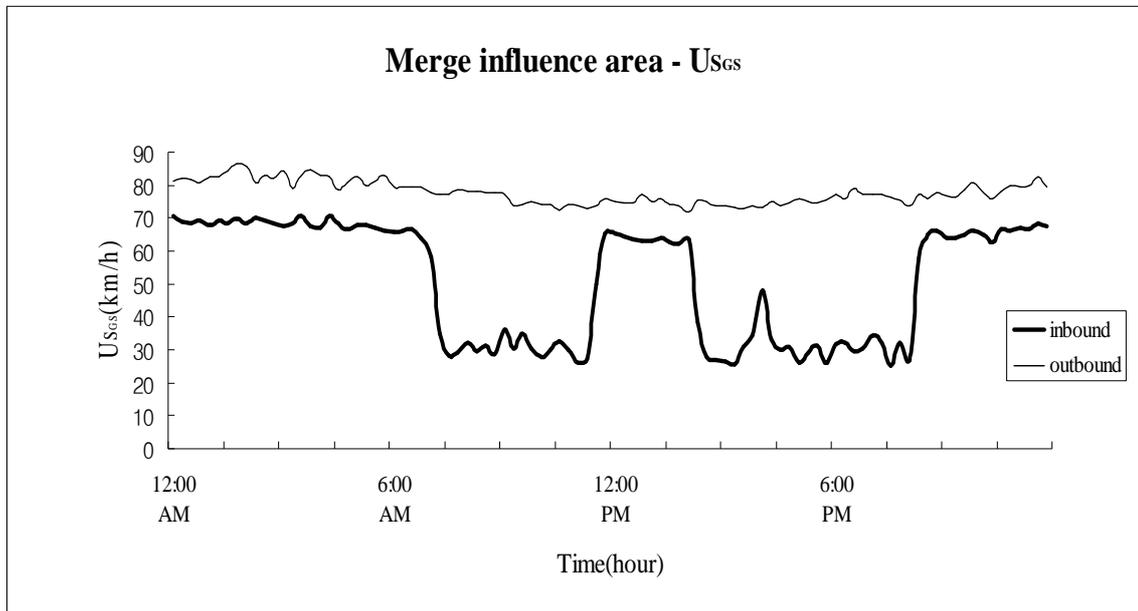


Fig. 2.19 24 hour U_{SGS} distribution on the merge influence area

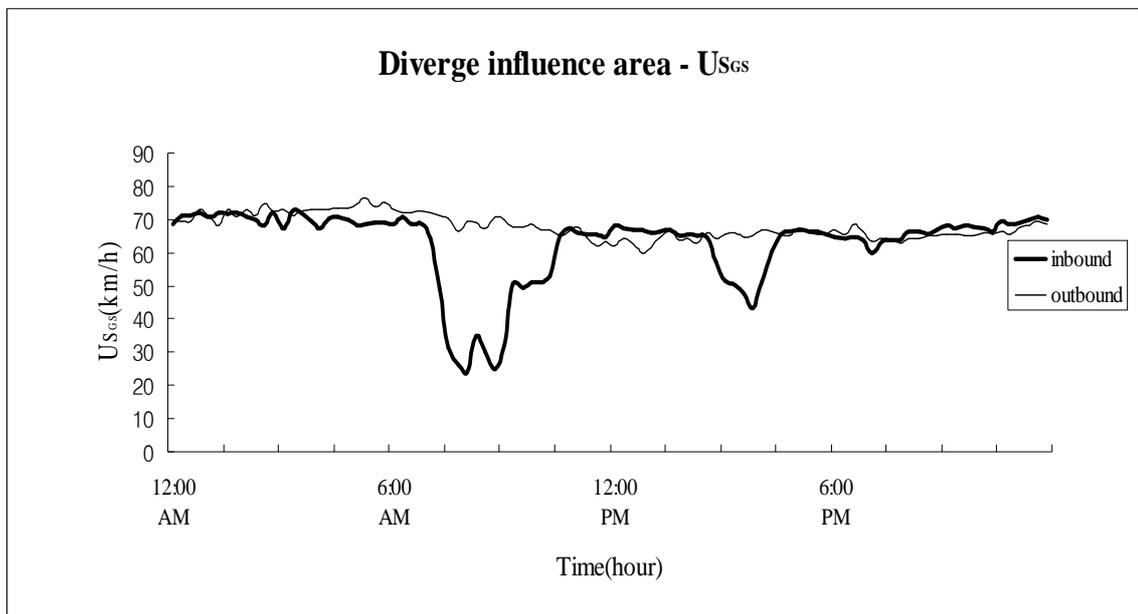


Fig. 2.20 24 hour U_{SGS} distribution on the diverge influence area

한편, 본 연구대상 도심방향의 램프접속 영향권 내에서 *Garber & Sankar* 모형속도($U_{S_{cs}}$)는 약 55.0km/h로 나타났고 부도심방향의 램프접속 영향권 내에서 산정된 *Garber & Sankar* 모형속도($U_{S_{cs}}$)는 약 70.7km/h로 나타났다. 특히, 도심방향의 램프접속 영향권 내에서 산정된 *Garber & Sankar* 모형속도($U_{S_{cs}}$)는 부도심방향의 램프접속 영향권 내에서 산정된 *Garber & Sankar* 모형속도($U_{S_{cs}}$)에 비하여 약 22.2%감소하는 것으로 나타났다. 더구나, 도심방향의 합류 램프접속 영향권에서 산정된 *Garber & Sankar* 모형속도($U_{S_{cs}}$)는 부도심방향의 합류 램프접속 영향권에서 산정된 *Garber & Sankar* 모형속도($U_{S_{cs}}$)에 비하여 약 32.3% 낮게 나타났고, 도심방향의 분류 램프접속 영향권에서 산정된 *Garber & Sankar* 모형속도($U_{S_{cs}}$)는 부도심방향의 분류 램프접속 영향권에서 산정된 *Garber & Sankar* 모형속도($U_{S_{cs}}$)에 비하여 약 15.5% 낮게 나타났다(참조 Table 2.4).

결과적으로 *Garber & Sankar* 모형속도($U_{S_{cs}}$)도 역시 부도심방향보다는 도심방향에서, 분류 램프접속 영향권보다는 합류 램프접속 영향권에서 *Garber & Sankar* 모형속도($U_{S_{cs}}$)가 낮게 산정되었다는 사실을 확인할 수 있었다(참조 Fig. 21).

Table 2.4 Space mean speed statistics by Garber & Sankar model (km/h)

		<i>average</i>		<i>min.</i>	<i>max.</i>
<i>inbound</i>	<i>merge</i>	55.0	52.3	23.7	70.9
	<i>diverge</i>		56.9	24.3	74.1
<i>outbound</i>	<i>merge</i>	70.7	77.3	7	86.5
	<i>diverge</i>		67.3	59.6	75.3

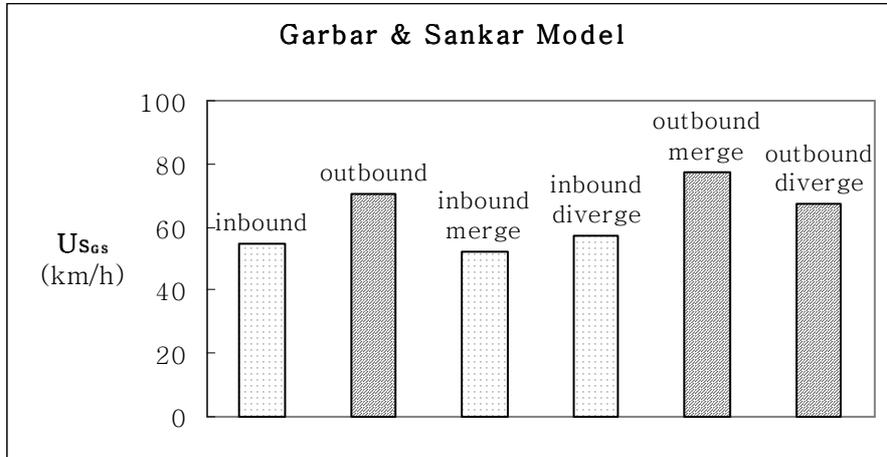


Fig. 2.21 Space mean speeds by Garbar & Sankar model

2.5 속도의 비교 · 분석

본 연구대상 도시고속도로의 램프접속 영향권 내 시간평균속도(U_T), 공간평균속도(U_S), Drake et al. 모형속도($U_{S_{Dr}}$) 그리고 Garbar & Sankar 모형속도($U_{S_{GS}}$)를 비교 · 분석한 결과는 다음과 같았다.

본 연구대상 도시고속도로의 램프접속 영향권 내에서 속도분포를 살펴보면 전반적으로 공간평균속도(U_S)는 시간평균속도(U_T), Drake et al. 모형속도($U_{S_{Dr}}$),이나 Garbar & Sankar 모형속도($U_{S_{GS}}$)에 비하여 낮게 나타났다(참조 Fig. 2.22~Fig. 2.25).

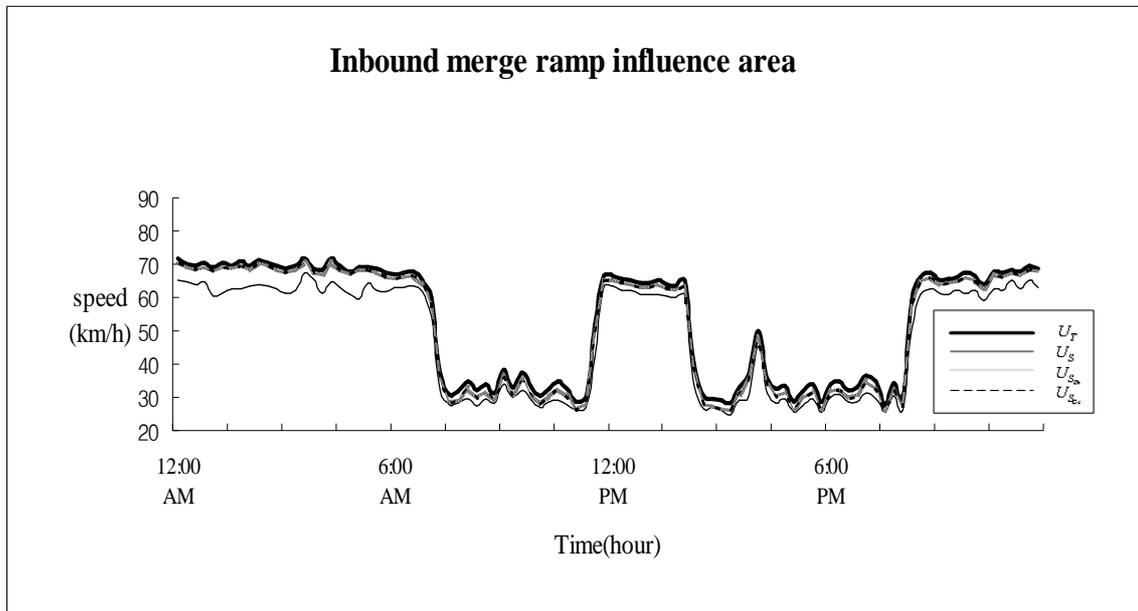


Fig. 2.22 Speed comparison on the inbound merge ramp influence area

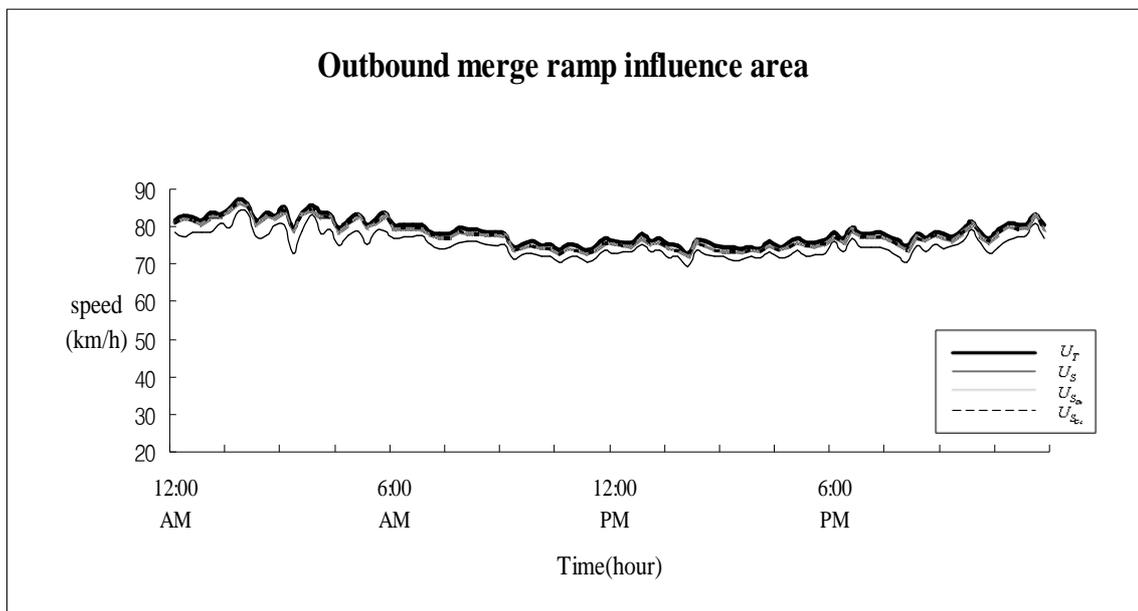


Fig. 2.23 Speed comparison on the outbound merge ramp influence area

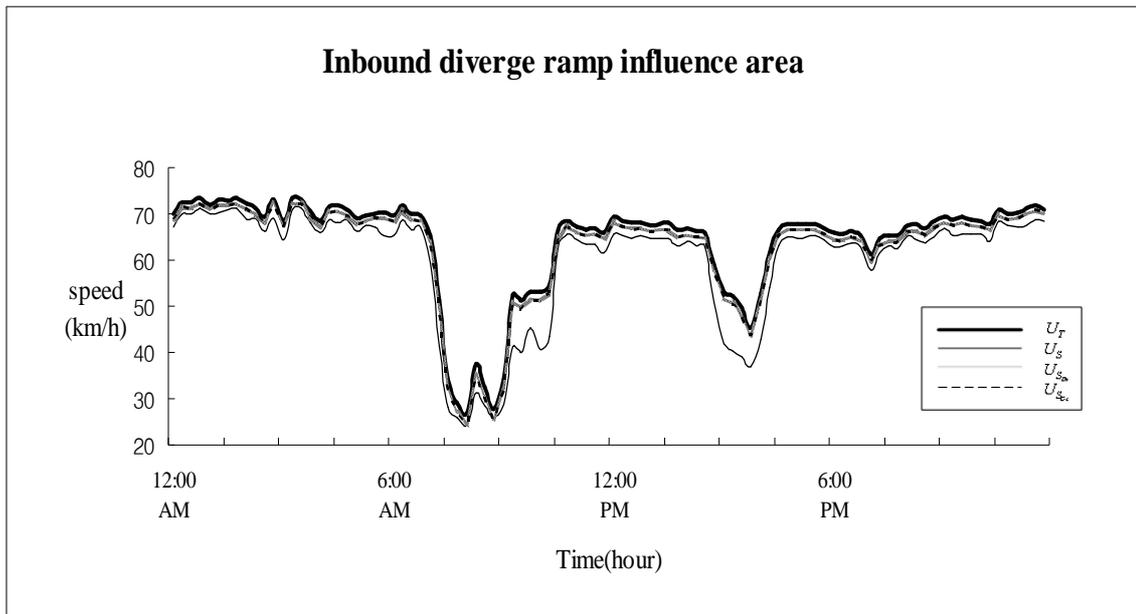


Fig. 2.24 Speed comparison on the inbound diverge ramp influence area

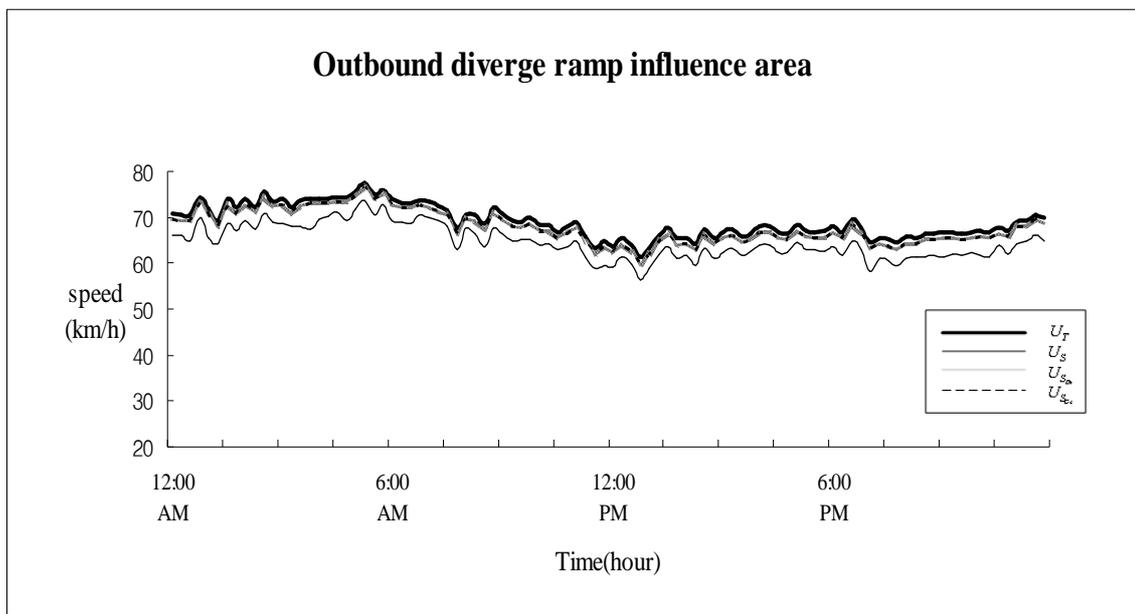


Fig. 2.25 Speed comparison on the outbound diverge ramp influence area

특히, 도심방향 램프접속 영향권 내에서 시간평균속도(U_T)는 공간평균속도(U_S)보다 약 5km/h이상 높게 나타났고, *Drake et al.* 모형속도($U_{S_{Dr}}$)는 공간평균속도(U_S)보다 약 3.5km/h이상 높게 나타났으며, *Garber & Sankar* 모형속도($U_{S_{GS}}$)도 공간평균속도(U_S)보다 약 3.4km/h이상 높게 나타났다(참조 Fig. 2.26). 또한 부도심방향의 램프접속 영향권 내에서 시간평균속도(U_T)는 공간평균속도(U_S)보다 약 4.9km/h이상 높게 나타났고, *Drake et al.* 모형속도($U_{S_{Dr}}$)는 공간평균속도(U_S)보다 약 3.7km/h이상 높게 나타났으며, *Garber & Sankar* 모형속도($U_{S_{GS}}$)도 공간평균속도(U_S)보다 약 3.8km/h이상 높게 나타났다(참조 Fig. 2.27).

따라서 도시고속도로의 램프접속 영향권 내에서 공간평균속도(U_S)는 기존의 *Drake et al.* 모형속도($U_{S_{Dr}}$)와 *Garber & Sankar* 모형속도($U_{S_{GS}}$)나 시간평균속도(U_T)보다 현저하게 낮은 속도를 보이는 것으로 나타났다.

또한, 이들 속도사이에 분산분석(ANOVA)을 실시한 결과, 95%의 신뢰수준 하에서 시간평균속도(U_T)와 공간평균속도(U_S) 그리고 기존의 속도전환모형에 의한 *Drake et al.* 모형속도($U_{S_{Dr}}$), *Garber & Sankar* 모형속도($U_{S_{GS}}$)와의 상호 비교에서 현저한 속도 차가 발생한다는 사실을 확인함으로써 기존 속도전환모형으로는 본 연구대상 도시고속도로의 램프접속 영향권 내 공간평균속도(U_S)를 제대로 나타낼 수 없음을 확인할 수 있었다(참조 Table 2.5와 Table 2.6).

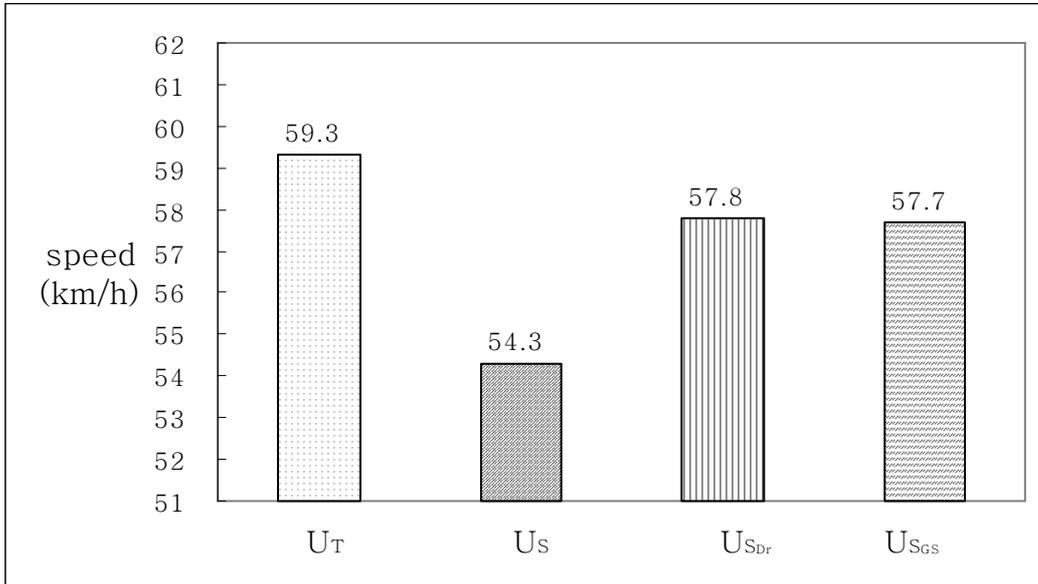


Fig. 2.26 *Speeds on the inbound direction*

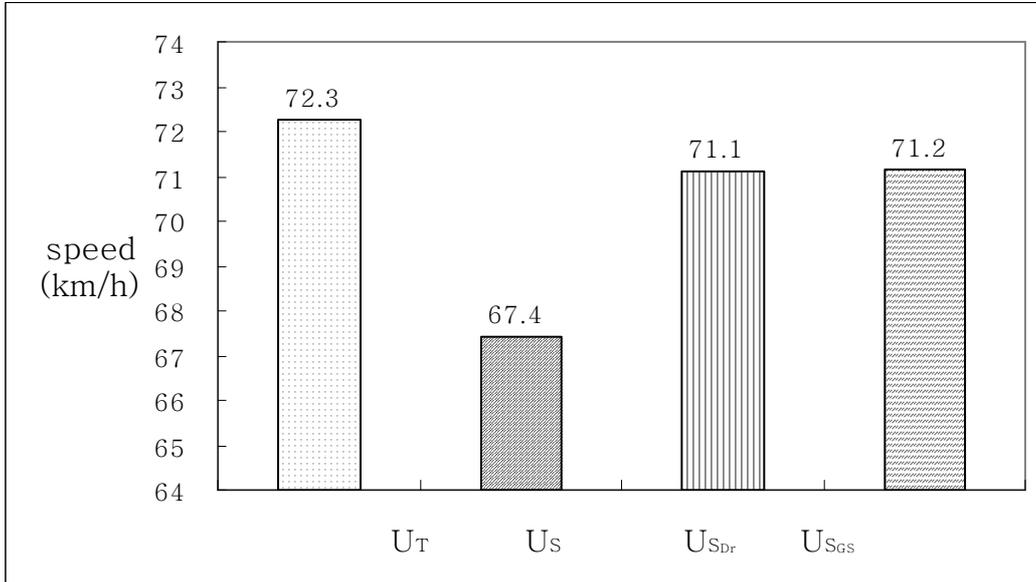


Fig. 2.27 *Speeds on the outbound direction*

Table. 2.5 ANOVA results on the inbound direction

<i>speed</i> I	<i>speed</i> J	<i>speed difference</i> I-J	<i>Sig.</i>
U_T	U_S	5.0037	.000
	$U_{S_{Dr}}$	1.4999	.559
	$U_{S_{GS}}$	1.5781	.515
U_S	U_T	-5.0037	.000
	$U_{S_{Dr}}$	-3.5037	.011
	$U_{S_{GS}}$	-3.4255	.013
$U_{S_{Dr}}$	U_T	-1.4999	.559
	U_S	3.5037	.011
	$U_{S_{GS}}$	7.818E-02	1.000
$U_{S_{GS}}$	U_T	-1.5781	.515
	U_S	3.4255	.013
	$U_{S_{Dr}}$	-7.82E-02	1.000

*Scheffe의 다중비교

Table. 2.6 ANOVA results on the outbound direction

<i>speed</i> I	<i>speed</i> J	<i>speed difference</i> I-J	<i>Sig.</i>
U_T	U_S	4.8708	.000
	$U_{S_{Dr}}$	1.1626	.020
	$U_{S_{GS}}$	1.1215	.028
U_S	U_T	-4.8708	.000
	$U_{S_{Dr}}$	-3.7082	.000
	$U_{S_{GS}}$	-3.7493	.000
$U_{S_{Dr}}$	U_T	-1.1626	.020
	U_S	3.7082	.000
	$U_{S_{GS}}$	-4.115E-02	1.000
$U_{S_{GS}}$	U_T	-1.1215	.028
	U_S	3.7493	.000
	$U_{S_{Dr}}$	4.115E-02	1.000

*Scheffe의 다중비교

3. 모형구축과 검증

본 연구대상 도시고속도로의 램프접속 영향권 내에서 관측된 속도특성자료와 산정된 공간평균속도를 바탕으로 도심방향(*inbound*), 부도심방향(*outbound*), 도심 합류 램프접속 영향권(*inbound merge*), 도심 분류 램프접속 영향권(*inbound diverge*), 부도심 합류 램프접속 영향권(*outbound merge*), 부도심 분류 램프접속 영향권(*outbound diverge*)등에 대해 속도전환모형을 다음과 같이 구축하였다.

3.1 모형 구축

본 연구대상 도시고속도로의 램프접속 영향권 내에서 진행 방향별, 램프접속 영향권별 속도전환모형을 구축하기 위해 사용된 변수는 시간평균속도(U_T)와 공간평균속도(U_S)이고, 속도전환모형에서 종속변수로는 공간평균속도(U_S)를 사용하였고, 독립변수로는 시간평균속도(U_T)를 사용하였으며 구축된 모형은 다음과 같았다(참조 Table 3.1)

3.2 모형 검증

본 연구대상 도시고속도로의 램프접속 영향권 내에서 구축된 속도전환모형을 검증하기 위해 속도전환모형에 의한 산정된 공간평균속도 자료와 모형구축에 사용되지 않은 공간평균속도 자료사이의 상관관계분석을 실시한 결과, 도심방향과 부도심방향의 상관계수(R)가 각각 0.988과 0.982로 높은 설명력을 보여주었으며, 진입 램프접속 영향권과 진출 램프접속 영향권 내의 상관계수 역시 0.987과 0.986으로 나타남으로써 모형의 설명력이 매우 높다는 것을 보여주었다(참조 Table 3.2와 Fig. 3.1~Fig. 3.6).

Table 3.1 Speed conversion models constructed

		<i>model</i>	R^2	<i>F-sig</i>
<i>direction</i>	<i>inbound</i>	$U_S = 1.032 U_T - 6.903$ (0.000) (0.000) ⁽¹⁾	0.983	0.000
	<i>outbound</i>	$U_S = 1.060 U_T - 9.188$ (0.000) (0.000) ⁽¹⁾	0.949	0.000
<i>ramp influence area</i>	<i>merge</i>	$U_S = 1.441 U_T - 37.34$ (0.000) (0.000) ⁽¹⁾	0.980	0.000
	<i>diverge</i>	$U_S = 1.355 U_T - 28.81$ (0.000) (0.000) ⁽¹⁾	0.978	0.000
<i>inbound</i>	<i>merge</i>	$U_S = 0.976 U_T - 3.133$ (0.000) (0.000) ⁽¹⁾	0.992	0.000
	<i>diverge</i>	$U_S = 1.071 U_T - 8.408$ (0.000) (0.000) ⁽¹⁾	0.980	0.000
<i>outbound</i>	<i>merge</i>	$U_S = 0.915 U_T + 3.128$ (0.000) (0.000) ⁽¹⁾	0.919	0.000
	<i>diverge</i>	$U_S = 1.063 U_T - 8.818$ (0.000) (0.000) ⁽¹⁾	0.969	0.000

Note: ⁽¹⁾ *t-sig*

Table 3.2 Correlation coefficients between data modeled and ones unused

<i>condition</i> <i>statistical parameter</i>	<i>direction</i>		<i>ramp</i>		<i>inbound</i>		<i>outbound</i>	
	<i>inbound</i>	<i>outbound</i>	<i>merge</i>	<i>diverge</i>	<i>merge</i>	<i>diverge</i>	<i>merge</i>	<i>diverge</i>
<i>R</i>	0.988	0.982	0.987	0.986	0.995	0.992	0.967	0.977

Note: *R* = 상관계수

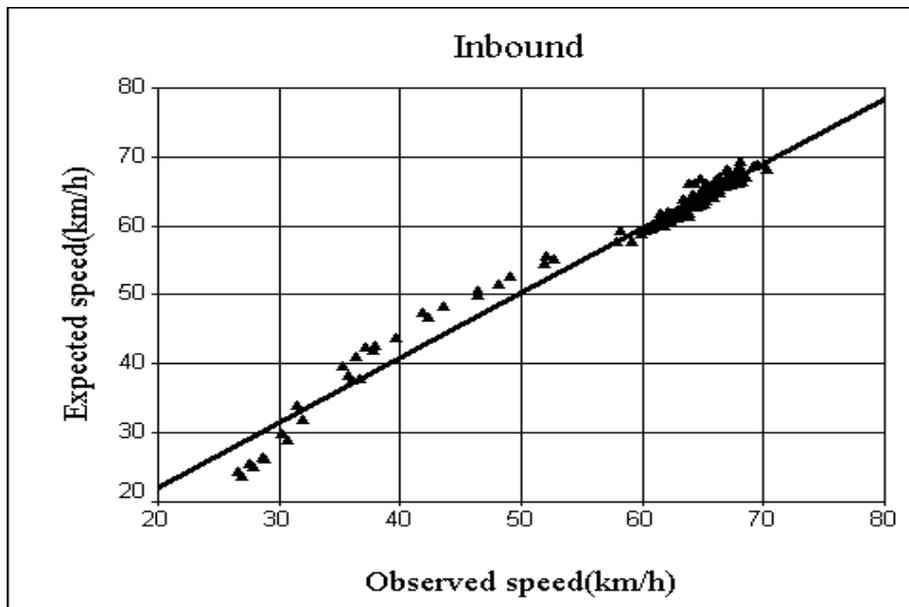


Fig. 3.1 Inbound direction tested

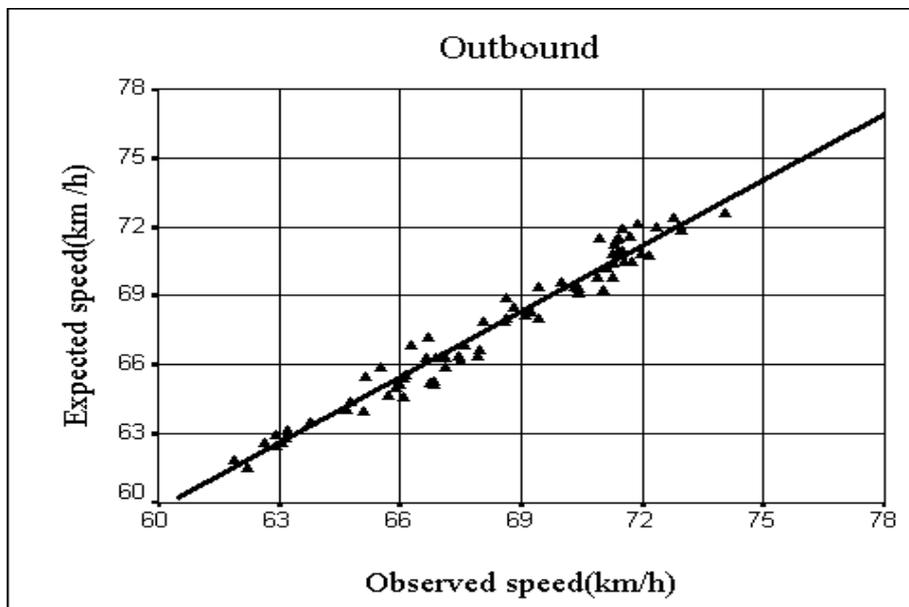


Fig. 3.2 Outbound direction tested

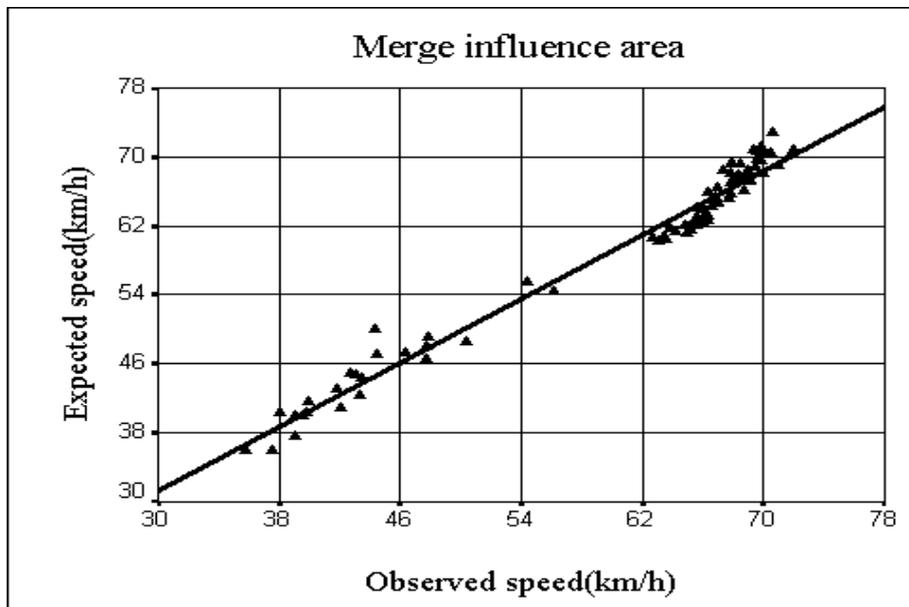


Fig 3.3 Merge influence area tested

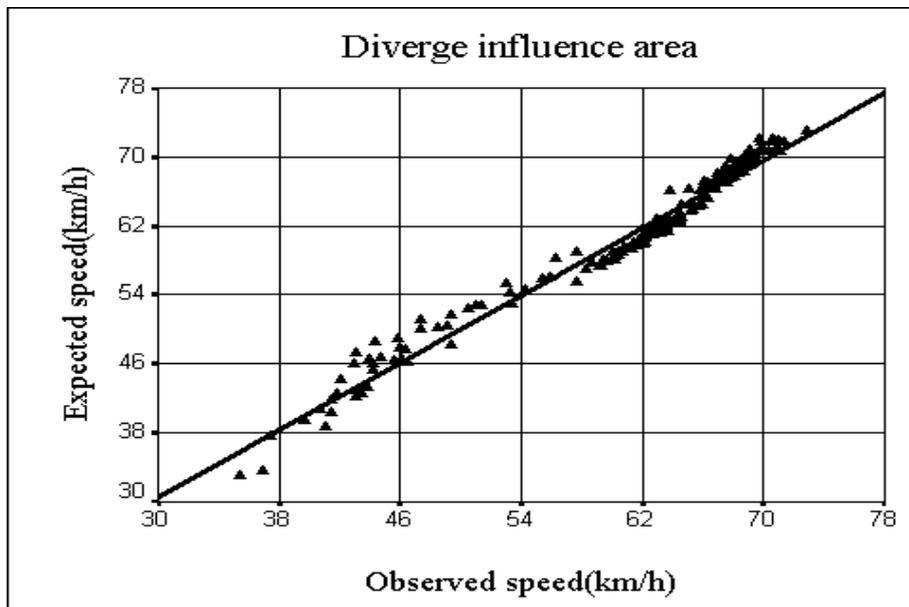


Fig. 3.4 Diverge influence area tested

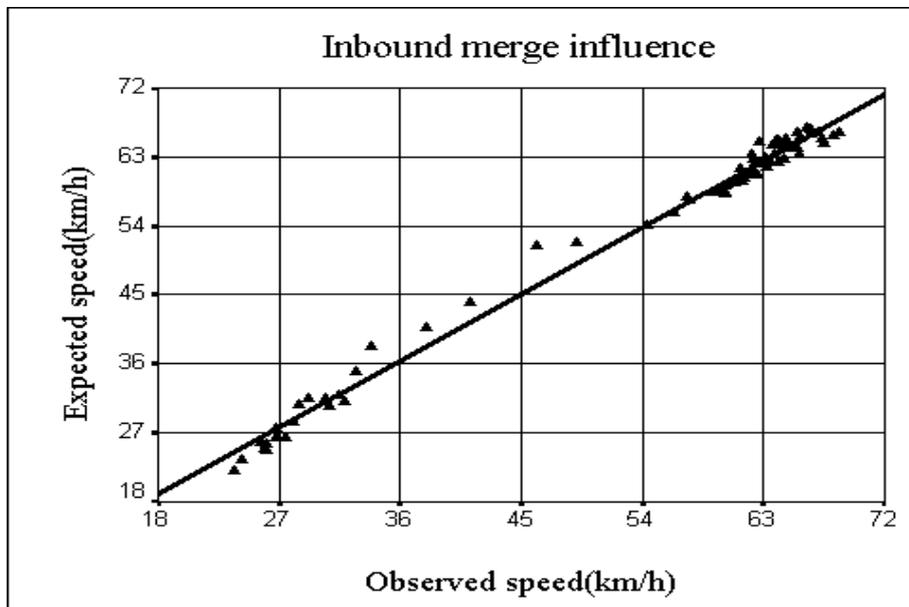


Fig. 3.5 Inbound merge influence area tested

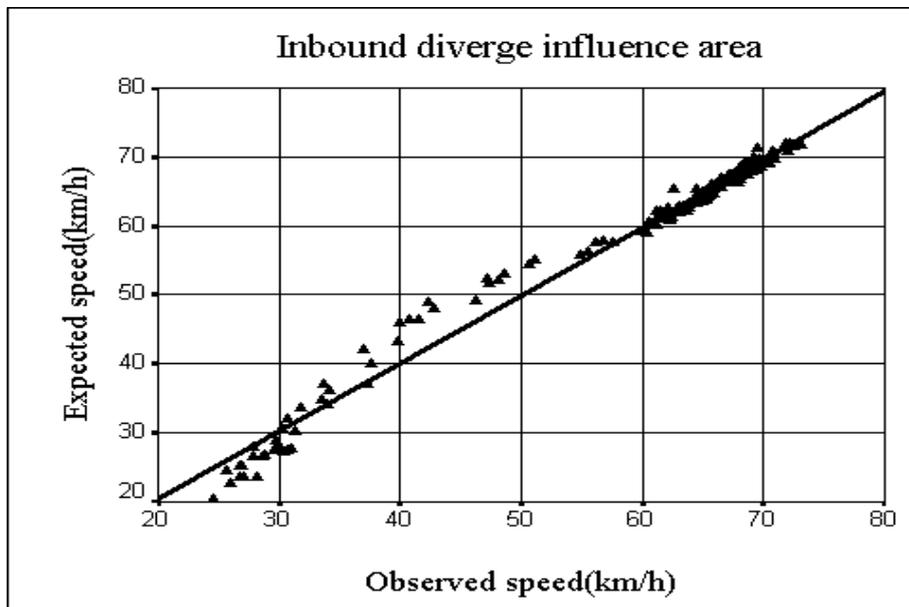


Fig. 3.6 Inbound diverge influence area tested

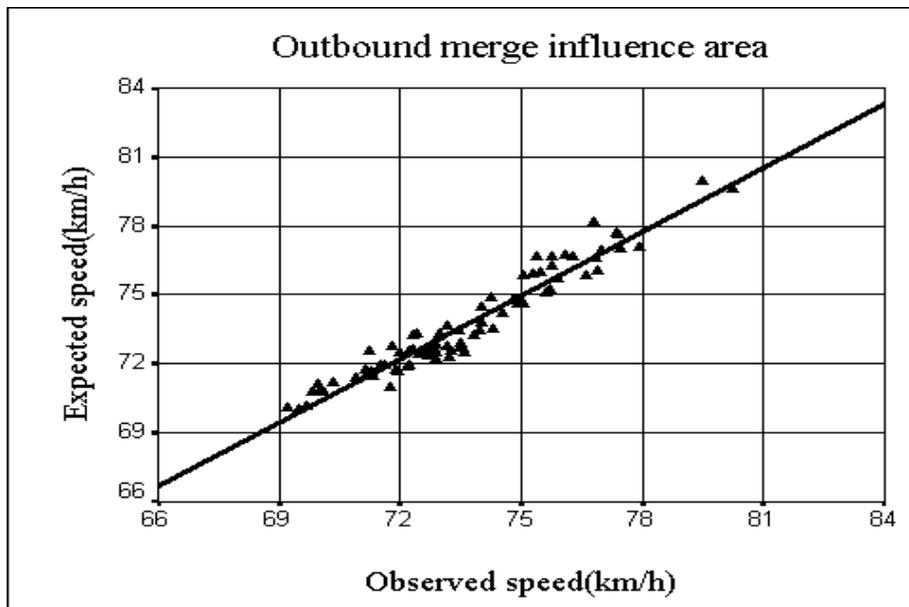


Fig. 3.7. Outbound merge influence area tested

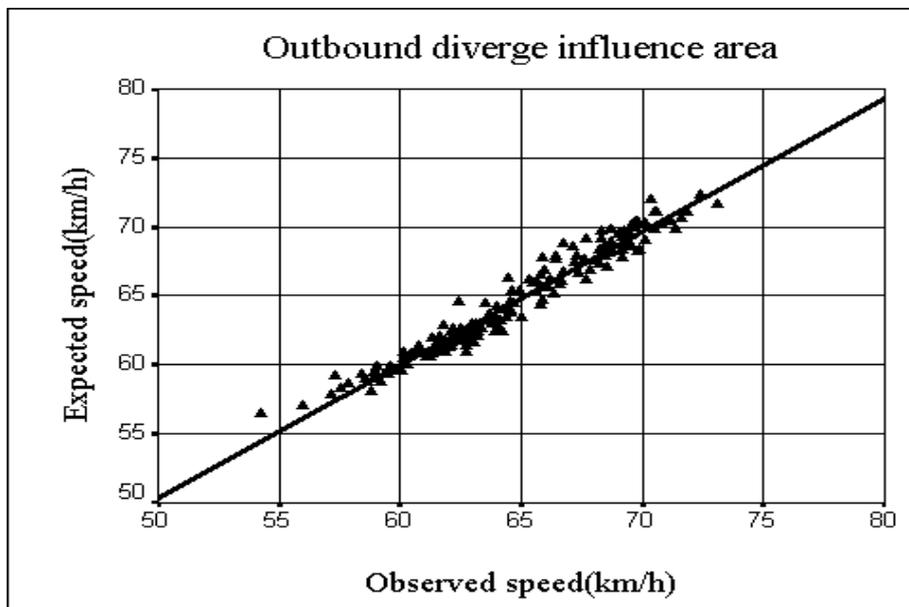


Fig. 3.8 Outbound diverge influence area tested

4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구대상 도시고속도로의 램프접속 영향권 내에서 속도특성자료의 비교·분석과 속도전환모형의 구축 및 검증을 통해서 다음과 같은 결론에 도달할 수 있었다.

i) 도시고속도로의 램프접속 영향권 내에서 공간평균속도와 시간평균속도사이 커다란 속도 차를 보였기 때문에 도시고속도로의 램프접속 영향권 내 속도특성분석의 신뢰성을 위해서는 반드시 공간평균속도가 사용되어야 할 것으로 생각되었다.

ii) 도시고속도로의 램프접속 영향권 내에서 산정된 공간평균속도와 기존의 속도전환모형에 의한 공간평균속도사이 분산분석(ANOVA)을 실시한 결과 현저한 속도 차가 확인되었기 때문에 도시고속도로의 램프접속 영향권 내 속도특성분석의 신뢰성을 위해서는 공간평균속도 산정을 위한 새로운 속도전환모형이 구축되어야 할 것으로 생각되었다.

iii) 도시고속도로의 램프접속 영향권 내에서 구축된 속도전환모형에 대한 상관관계분석(*correlation analysis*)을 실시한 결과 방향별 램프접속 영향권별 상관계수(R)가 0.96이상으로 나타났기 때문에 구축된 속도전환모형을 이용하여 속도특성분석을 실시할 경우 매우 높은 설명력을 보일 것으로 생각되었다.

본 연구에서 구축된 속도전환모형은 유사한 방향별 통행특성을 가지는 대도시 도시고속도로의 램프접속 영향권 내 속도특성분석에 대한 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단되지만, 향후 다양한 도시고속도로와 고속도로의 램프접속 영향권의 기하구조특성을 고려한 속도전환모형에 대한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. TRB, "Highway Capacity Manual", Special Report 209, Washington, D. C., 2000, pp. 7-1~7-4.
2. TRB, "Highway Capacity Manual", Special Report 209, Washington, D. C., 1998, pp. 5-1~5-14.
3. May, A. D., "Traffic Flow Fundamentals", Prentice-Hall, 1990, pp. 126~133.
4. Garber, N. J. and Hoel, L. A., "TRAFFIC & HIGHWAY ENGINEERING", 3rd ed., Brook/Cole(Thomson Learning), 2002, pp. 173~177.
5. Thompson, N., "Ramp up the volume", ITS International, 1997.
6. 김승길, "70mph 제한속도를 갖는 고속도로 연결로 접속부상에서의 속도추정모형에 관한 연구", 한국해양대학교 대학원 석사학위논문, 2000.
7. 이영준, "분산분석의 이해", 도선출판석정, 2000, pp. 105~169.
8. 강명욱과 김영일, "회귀분석 - 모형개발과 진단", 울곡출판사, 1997.
9. 김종섭, "통계자료분석방법", 학문사, 1998.
10. 도철웅, "교통공학원론(上)", 청문각, 1999.
11. 원제무와 최재성, "교통공학", 박영사, 2001.