

공학석사 학위논문

도시고속도로의 유입연결로 접속영향권내
속도의 상관모형 구축에 관한 연구

*Speed Correlation Modeling within the On-Ramp
Junction Influence Area of Urban Freeway*

지도교수 김 태 곤

2008년 2월

한국해양대학교 해사산업대학원

토목환경공학과

이 주 철

목 차

Nomenclature	iii
List of Tables	iv
List of Figures	v
Abstract	vii
제 1 장 서 론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구목적 및 필요성	2
1.3 문헌연구	2
1.4 자료수집	4
제 2 장 교통특성분석	6
2.1 교통류율	6
2.2 속도	10
2.3 밀도	14
제 3 장 교통특성관계	18
3.1 교통류율과 속도	18
3.2 속도와 밀도	21
3.3 교통류율과 밀도	24

제 4 장 모형 구축 및 검증	27
4.1 모형 구축	27
4.2 모형 검증	38
제 5 장 결론	48
참고문헌	50

Nomenclature

Q	Hourly volume (veh/h)
Q_i	Volume for 15 minutes (veh/15 min.)
N	Number of vehicles passed the detector
T	Unit period (15 minutes)
n_i	Number of vehicles in the speed class (veh/15 min)
$\sum n_i$	Number of vehicles for every 15 minutes (N)
U_i	Mean speed in the speed class (km/h)
U_s	Space mean speed converted (km/h)
U_t	Time mean speed observed (km/h)
h	Mean headway for 15 min. (sec)
h_i	Headway for every 15 min. (sec)
t_i	Arrival time of vehicle i (sec)
t_{i-1}	Arrival time of vehicle $i-1$ (sec)
U_{si}	Space mean speed for every 15 min (km/h)
b_0	regression coefficient
b_1	regression coefficient
α	Location and lane of the detector spots in the dependent variables

List of Tables

Table 1.1 Average speeds in vicinity of freeway-ramp terminals	3
Table 1.2 Geometric characteristics of the study section	5
Table 2.1 Results of flow characteristic analysis	7
Table 2.2 Results of speed characteristic analysis	11
Table 2.3 Results of density characteristic analysis	15
Table 4.1 Correlation analysis between speeds under the influence area ..	28
Table 4.2 Results of correlation models	29
Table 4.3 t-test results of the observed and expected speeds	39

List of Figures

Fig. 1.1 Sketch of freeway segment under the study	2
Fig. 1.2 Geometry and equipments of the on-ramp under the study	5
Fig. 2.1(A) Flow trends within the influence area	8
Fig. 2.1(B) Flow trends within the influence area	9
Fig. 2.2(A) Speed trends within the influence area	12
Fig. 2.2(B) Speed trends within the influence area	13
Fig. 2.3(A) Density trends within the influence area	16
Fig. 2.3(B) Density trends within the influence area	17
Fig. 3.1(A) Relationship between flow and speed	19
Fig. 3.1(B) Relationship between flow and speed	20
Fig. 3.2(A) Relationship between speed and density	22
Fig. 3.2(B) Relationship between speed and density	23
Fig. 3.3(A) Relationship between flow and density	25
Fig. 3.3(B) Relationship between flow and density	26
Fig. 4.1 Location of detectors and definition of the variables	28
Fig. 4.2(A) Speed correlation models at on-ramp A	30
Fig. 4.2(B) Speed correlation models at on-ramp A	31
Fig. 4.3(A) Speed correlation models at on-ramp B	32
Fig. 4.3(B) Speed correlation models at on-ramp B	33
Fig. 4.4(A) Speed correlation models at on-ramp C	34
Fig. 4.4(B) Speed correlation models at on-ramp C	35
Fig. 4.5(A) Speed correlation models at on-ramp D	36
Fig. 4.5(B) Speed correlation models at on-ramp D	37
Fig. 4.6(A) Model validation at on-ramp A	40
Fig. 4.6(B) Model validation at on-ramp A	41
Fig. 4.7(A) Model validation at on-ramp B	42

Fig. 4.7(B) Model validation at on-ramp B	43
Fig. 4.8(A) Model validation at on-ramp C	44
Fig. 4.8(B) Model validation at on-ramp C	45
Fig. 4.9(A) Model validation at on-ramp D	46
Fig. 4.9(B) Model validation at on-ramp D	47

*Speed Correlation Modeling within the On-Ramp Junction
Influence Area of Urban Freeway*

Ju Cheol Lee

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

Abstract

Generally urban freeway plays a key role in the urban transportation system. However, most of the urban freeways have a congestion problem on the ramp junctions. Particularly, traffic congestion used to occur within the on-ramp junction influence areas of the urban freeway during the rush hours in Korea.

The purpose of this study is to collect and investigate the traffic characteristics of each lane at the upstream and downstream locations within the on-ramp junction influence area of the urban freeway, compare and analyze the traffic characteristics of each lane within the on-ramp junction influence area, and finally develop and verify the speed correlation models within the on-ramp junction influence area of the urban freeway.

From the traffic characteristic analyses and the speed correlation models within the on-ramp junction influence area of the urban freeway, the following conclusions were drawn:

- i) Traffic characteristic analyses were shown to have a distinct difference in the lane-based characteristic distributions within the on-ramp junction influence areas. The lane-based capacities within the on-ramp junction influence areas were also found to decrease by about 5 to 30% when compared with those on the mainline locations.
- ii) Density was shown to be a little low impact on the speed within the on-ramp junction influence areas close to the urban or suburban areas, but a little high impact on the speed within the on-ramp junction influence areas of the urban freeway between the urban and suburban areas.
- iii) Speeds on the 1st lane at the downstream location and the 2nd lane at the upstream location were especially found to have a high correlation characteristics with that on the 2nd lane at the downstream location within the on-ramp junction influence areas of the urban freeway.
- iv) Speed correlation models were especially to have a high explanatory power with the coefficient of determination(R^2) of about 0.7191 to 0.9738, and also were to be very valid with a high correlation coefficients(r) of about 0.602 to 0.945 within the on-ramp junction influence areas of the urban freeway.
- v) Traffic characteristics of the 2nd lane at the downstream location were found to be an important impact on those of the rest locations within the on-ramp junction influence areas, and the urban freeway traffic management system such as the ramp metering system or the variable message signs to be needed during the rush hours.

1. 서론

1.1 연구 배경

지금까지 부산광역시는 우리나라 제2의 대도시로서 경제성장의 중추적인 역할을 수행해 왔고, 국내 최대의 국제무역항을 갖춘 항구도시로서 수출입화물의 거의 대부분을 담당해 왔다. 그러나 1990년대 이후 부산광역시역의 확대와 더불어 승용차 이용수요가 지속적으로 증가하게 되었고, 또한 다양한 통행패턴으로 통행수요가 급증함으로써 부산지역 내 대표적인 도시고속도로(번영로)를 포함하여 대부분의 간선도로에서 이동성과 수송능력이 현저히 감소되었으며, 더구나 출퇴근시간대에 관계없이 통행량 집중으로 도시고속도로의 교통정체는 날로 심화되고 있다.

게다가 부산광역시에는 현재 3개의 도시고속도로와 함께 약 2,400km의 도로망이 확보 운영되고 있고 1개의 외곽순환도로(ring road)가 건설 중에 있으나, 부산지역의 도로망형태가 적절하지 않는 상황 하에서 차량의 통행수요가 날로 급증함으로써 부산지역의 교통체증을 더욱 가중되고 있다. 그런데, 부산지역의 3개 도시고속도로 중에서 번영로는 1980년에 건설된 이후 남북교통축의 대표적인 도시고속도로로 가장 오래되었고, 아래의 Fig. 1.1에서 보는 바와 같이 도심지역(문현)과 부도심지역(구서)사이의 약 15.7km에 걸쳐 건설되어 승용차의 이동성 향상과 화물차의 수송능력 증진에 막대한 기여를 해왔으나, 출퇴근시간대에 관계없이 도시고속도로의 주요 유입연결로 접속부에서 유입차량의 집중으로 심각한 교통정체가 발생됨으로써 도시고속도로의 교통관리체계에 대한 연구가 절실히 요구되고 있는 실정이다.

따라서 이 연구에서는 부산지역의 대표적인 도시고속도로인 번영로를 연구대상 도시고속도로로 선정하여 교통정체가 극심한 핵심 유입연결로접속부에 대해 특성분석과 함께 적절한 도시고속도로의 교통관리체계개선방안을 마련하고자 한다.

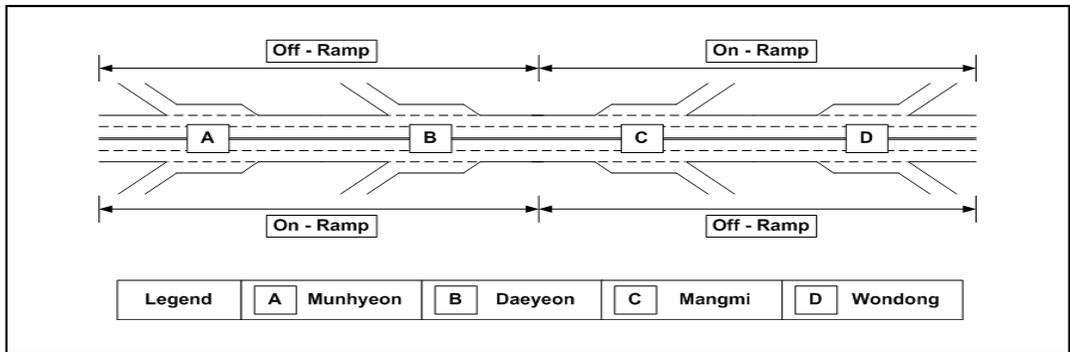


Fig. 1.1 Sketch of freeway segment under the study

1.2 연구 목적

일반적으로 도시고속도로는 출퇴근시간대를 제외하고는 일상적인 도로 교통여건 하에서 대체적으로 거의 자유흐름속도(free flow speed, FFS)를 유지한다고 하지만, 이 연구대상 도시고속도로인 변영로는 출퇴근시간대뿐만 아니라 그 외의 시간대에도 이용차량의 과다로 자유흐름속도가 좀처럼 유지되지 못하고 있다. 게다가, 이 연구대상 도시고속도로의 주요 곡선부와 가속예측지점에는 속도 감시카메라들이 설치되어 있고, 또한 유출입연결로의 접속부에서 가까운 거리에 터널들이 존재하여 차량의 속도 저하를 가중시키고 있다.

따라서 이 연구에서는 부산지역의 주요 도심지역과 부도심지역사이를 연계하는 도시고속도로(변영로)의 주요 정체구간을 대상으로 핵심 유입연결로의 합류영향권내 주요 교통특성(교통량, 속도, 밀도 등)을 파악하고, 다음으로 핵심 유입연결로의 합류영향권내 교통특성의 상호관계를 비교 분석하며, 마지막으로 핵심 유입연결로의 합류영향권내 상류지점, 하류지점 및 연결로지점의 각 차로별 속도특성사이의 상관관계분석을 통해 각 지점의 차로별 속도특성의 상관모형을 결정 제시하고자 하였다.

1.3 문헌연구

이 연구와 관련하여 미국의 도로용량편람(highway capacity manual,

USHCM)에서 '고속도로와 복합도로시설의 서비스수준을 평가하기 위해서는 해당 도로구간의 평균속도를 추정할 필요가 있다. 그러므로 고속도로의 유출입 연결로접속부에 있어서 길이 450m이내의 연결로 영향권내와 연결로 영향권밖의 차로상에서 평균속도를 산정하기 위해서 적절한 속도모형을 제시하는 것이 유용할 수 있다. 이러한 공간평균속도는 유출입연결로접속부에 있어서 450m길이의 연결로 영향권내를 주행하는 모든 차량에 대해 산정될 수 있다. 또한 현장관측자료에 따르면, 고속도로의 유출입연결로 영향권밖의 차량들의 평균속도는 차량들의 합·분류행위에 의해 영향을 받게 된다. 일반적으로 고속도로의 유출입 연결로 주변 바깥차로의 속도는 그 해당차로의 교통류가 매우 적은 때를 제외하고는 교통류가 비슷한 고속도로 본선구간의 속도와 비교할 때 다소 감소하게 될 것이다'고 언급하면서 고속도로의 유출입연결로 영향권내의 속도 추정을 위한 최적의 모형과 함께 속도변화의 타당성을 역설하고 있다. 다음 식들은 안정류상태의 유출입연결로의 속도 산정을 위한 모형 식이다.

Table 1.1 Average speeds in vicinity of freeway-ramp terminals

	<i>Average Speed in Ramp Influence Area(km/h)</i>
Merge areas (on-ramps)	$S_R = S_{FF} - (S_{FF} - 67)M_s$ $M_s = 0.321 + 0.0039e^{(V_{R12}/1000)} - 0.004(L_A S_{FR}/1000)$
Diverge areas (off-ramps)	$S_R = S_{FF} - (S_{FF} - 67)D_s$ $D_s = 0.883 + 0.00009V_R - 0.008S_{FR}$

- S_R = 연결로 합·분류영향권 내 모든 V_{R12} 차량의 공간평균속도
- S_{FF} = 연결로 합·분류부에 접근하는 고속도로의 자유흐름속도
- M_s = 합류부에 대해 중간속도 결정변수
- V_{R12} = 연결로의 교통류와 합류부내 1, 2차로에 접근하는 교통류의 합
- L_A = 가속차로의 길이
- S_{FR} = 연결로의 자유흐름속도
- D_s = 분류부에 대해 중간속도 결정변수
- V_R = 연결로의 교통류

또한 이 연구와 관련하여 일본의 Masao Kuwahara의 2인은 ‘도쿄 도시고속도로의 6개 유출입연결로의 엇갈림구간에 대해 비디오카메라와 차량검지기와 함께 교통량과 속도를 관측하여 미국에서 제시된 용량과 속도추정을 기존의 방법들(USHCM(1985), PINY, JHK, 과 Leisch methods)과 비교하였다. 특히, PINY와 Leisch방법은 엇갈림속도와 비엇갈림속도에서 용량이 다소 낮게 추정되는 것으로 나타났고, 1985 HCM 방법과 JHK방법은 상대적으로 좋게 추정되는 것으로 나타났는데, USHCM(1985)방법에 의한 속도추정이 JHK방법에 의한 속도추정보다 약간 더 정확한 것으로 나타났다. 게다가 미국에서 관측된 속도자료를 USHCM(1985)방법에 적용했을 때, 고속도로의 차로당 교통량이 1,200pc/h를 초과할 때는 관측속도와 편차를 보였으나, USHCM(1985)방법을 일본의 고속도로 상에서 관측된 자료에 적용하였을 때, 비록 차로당 교통량이 1,200pc/h를 초과했을 지라도 관측속도와 잘 일치하는 것으로 나타났다. 반면 ‘낮은 수준의 고속도로 교통량에서 USHCM(1985)방법에 의해 추정된 속도와 관측속도가 잘 일치하지 않을 수도 있다’고 언급하면서 교통량의 집중정도에 따라 서로 다른 속도추정방법을 적용할 필요성에 대해 강조하고 있다. 그러나 지금까지 도시고속도로의 유입연결로 영향권 내에서 각 차로별 특성분석과 함께 속도의 상호 어떠한 영향을 미치는지에 대한 상관모형에 대한 연구는 거의 찾아볼 수 없었다.

1.4 자료수집

이 연구대상 도시고속도로는 분리된 양방향 4개차로의 입체도로시설로 7개의 유출연결로, 7개의 유입연결로와 5개소의 터널로 구성되어 있으며, 특히 이 도시고속도로의 유입연결로 합류영향권내 기하구조특성 및 검지기의 설치 위치는 미국의 도로용량편람(highway capacity manual, HCM)에서 제시된 450m(1,500ft)의 기준 하에 Fig. 1.2와 같다. 또한 이 도시고속도로의 제한속도는 본선에서 80km/h, 연결로에서 50km/h로 운영되고 있으며, 차량의 과속을 통제하기 위하여 본선 상에 방향별로 각각 4개의 속도 감시카메라가 설치되어

있는 실정이다.

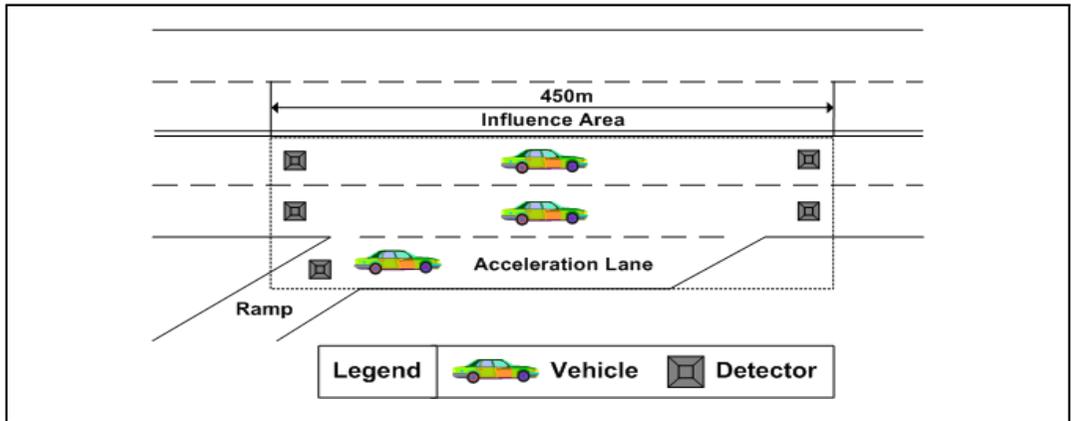


Fig. 1.2 Geometry and equipments of the on-ramp under the study

Table 1.2 Geometric characteristics of the study section

<i>Geometric characteristics</i>	<i>Dimension</i>
No. of lanes on the mainline section	2 lanes
No. of lanes on the ramp section	1 lane
Lane width of mainline section	3.7m
Lane width of acceleration sections	3.7m
Lane width of ramp section	4.3~4.5m

이 연구를 위해 도시고속도로의 도심지역과 부도심지역에서 각각 2개씩 4개의 유입연결로(도심지역은 문현(A)과 대연(B), 부도심지역은 망미(C)와 원동(D))가 선정되었고, 선정된 유입연결로의 합류영향권내 5개 지점(상류지점 1, 2차로, 하류지점 1, 2차로 및 램프)에 검지기(NC-97)를 설치하여 매 15분 단위로 1일 24시간씩 실시간의 교통특성자료를 2006년 11월~2007년 2월에 걸쳐 수집하였다. 특히 수집된 자료는 오류를 배제한 주중(화, 수, 목)자료가 Excel의 스프레드시트(spread sheet)를 사용하여 자료 분석, 모형구축 및 검증에 사용되었다.

2. 교통 특성 분석

이 연구대상 도시고속도로의 합류영향권내 교통특성 분석을 위해서 교통량(flow)은 교통류율(flow rate)로 환산되었고, 속도(speed)는 지점평균속도와 속도등급분포를 바탕으로 공간평균속도로 전환되었으며, 밀도(density)는 차두거리(headway distance)의 역수로서 차두시간(headway)과 공간평균속도로부터 산정되었다.

2.1 교통류율

교통류율(flow rate)이란 단위시간동안에 검지기(NC-97)를 통과한 차량대수로서 vehicle per hour(veh/h)로 표현되고, 이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내 교통류율은 1시간단위의 교통량으로서 다음과 같이 산정되었다.

$$Q_i = \frac{N}{T} \quad (2.1)$$

$$Q = \sum_{i=1}^4 Q_i \quad (2.2)$$

여기서,

- N : 검지기를 통과한 차량대수(veh)
- T : 단위시간(15min.)
- Q : 1시간 교통량(veh/h)
- Q_i : 15분 교통량(veh/15min.)

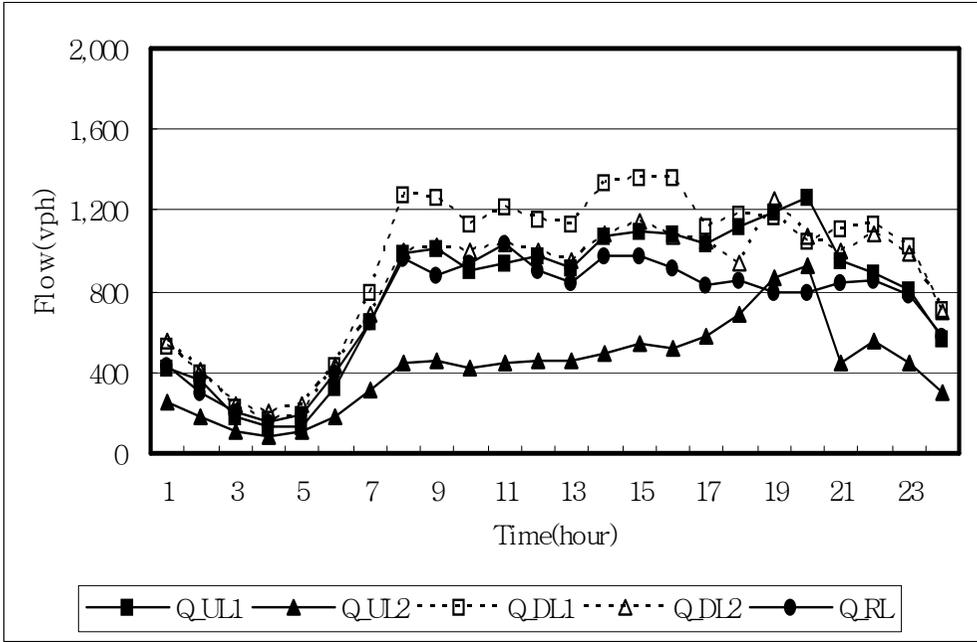
이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내 각 지점의 차로별 평균 교통류율의 특성분포를 살펴보면, 도심지역과 부도심지역에 관계없이 합류영향권내 상류지점보다 하류지점에서 그리고 하류지점에서 2차로보다는 1차로에서 상대적으로 높게 나타났고, 도심과 부도심지역에 근접한 유입연결로에서는 낮 시간대에

교통량이 급격하게 증가하는 것으로 나타났다.

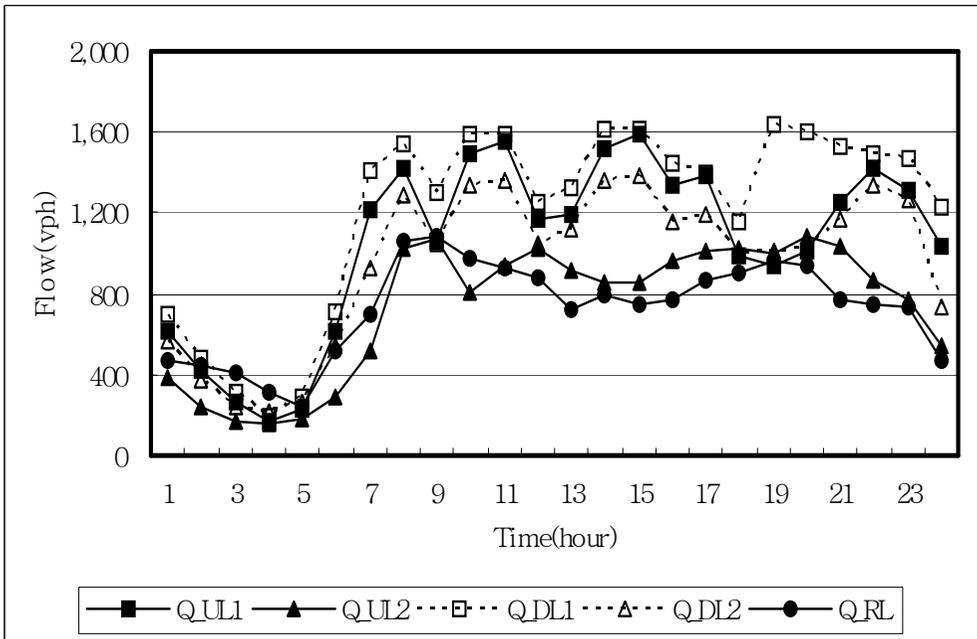
특히, 이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내 각 지점의 차로별 평균 교통류율은 대체적으로 387~1,212veh/h 사이로 나타났고, 최소 최대 교통류율은 각각 68~184veh/h와 784~1,936veh/h사이로 나타남으로써 각 지점의 차로별 통행량의 현저한 차이를 확인할 수 있었다(참조 Table 2.1와 Fig. 2.1(A)~(B)). 따라서 이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내 교통류율의 특성분석결과로부터 낮 시간대(오전 7:00시~오후 7:00시)에 상류지점과 하류지점 그리고 연결로 지점의 차로별 특성분석의 필요성이 확인되었다.

Table 2.1 Results of flow characteristic analysis

<i>On-ramp</i>		<i>Flow rate(vph)</i>				
		<i>Upstream</i>		<i>Downstream</i>		<i>Ramp</i>
		<i>Lane1</i>	<i>Lane2</i>	<i>Lane1</i>	<i>Lane2</i>	
<i>A</i>	<i>Min.</i>	124	84	168	184	144
	<i>Max.</i>	1,348	1,028	1,404	1,296	1,060
	<i>Avg.</i>	793	429	937	840	713
<i>B</i>	<i>Min.</i>	152	128	180	180	84
	<i>Max.</i>	1,648	1,184	1,904	1,416	1,100
	<i>Avg.</i>	1,051	738	1,202	958	727
<i>C</i>	<i>Min.</i>	124	132	128	176	68
	<i>Max.</i>	1,812	1,200	1,936	1,732	1,164
	<i>Avg.</i>	1,102	686	1,212	1,009	512
<i>D</i>	<i>Min.</i>	72	68	92	124	80
	<i>Max.</i>	1,452	784	1,656	1,172	1,368
	<i>Avg.</i>	787	387	1,006	716	612

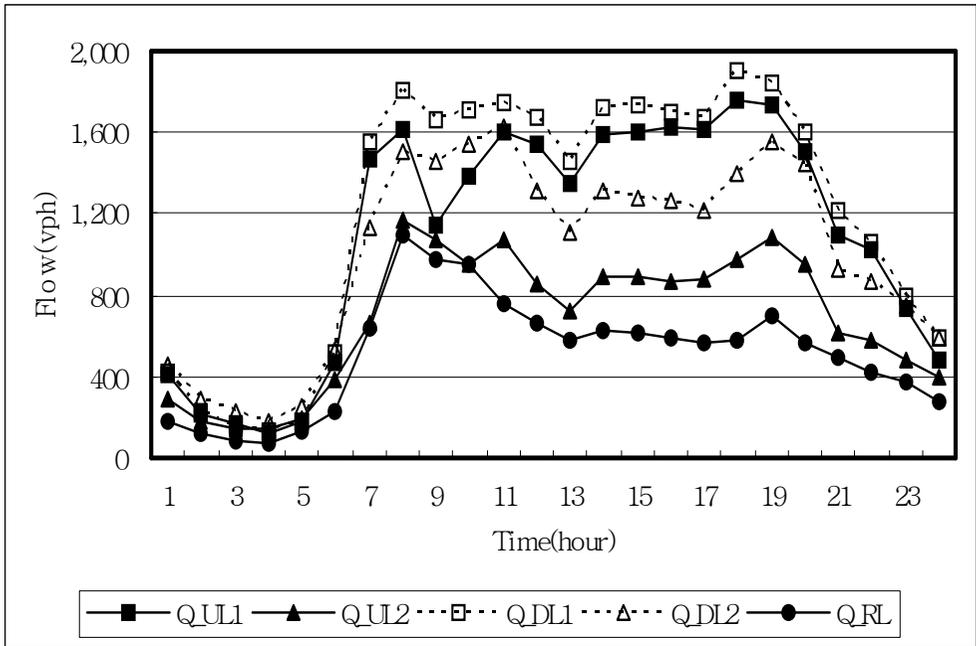


Munhyeon (A)

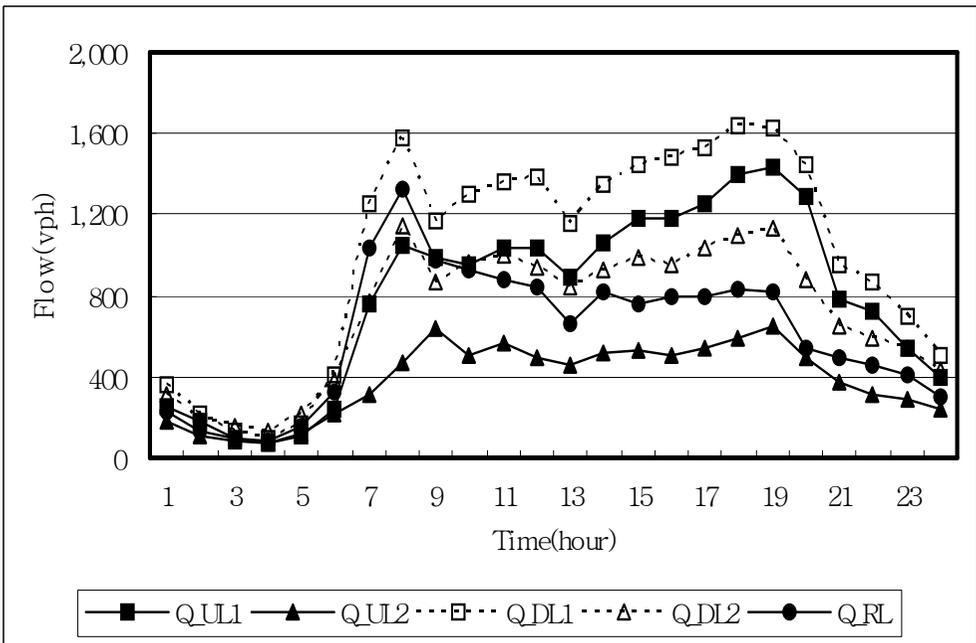


Daeyeon (B)

Fig. 2.1(A) Flow trends within the influence area



Mangmi (C)



Wondong (D)

Fig. 2.1(B) Flow trends within the influence area

2.2 속도

속도(speed)란 단위시간동안에 차량이 주행한 거리로서 일반적으로 kilometer per hour(km/h)로 표현되고, 이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내 속도는 공간평균속도(space mean speed)로서 다음과 같이 산정되었다(May, A. D., 1990).

$$U_t = \frac{\sum n_i U_i}{\sum n_i} \quad (2.3)$$

$$U_s = \frac{\sum n_i}{\sum \frac{n_i}{U_i}} \quad (2.4)$$

여기서,

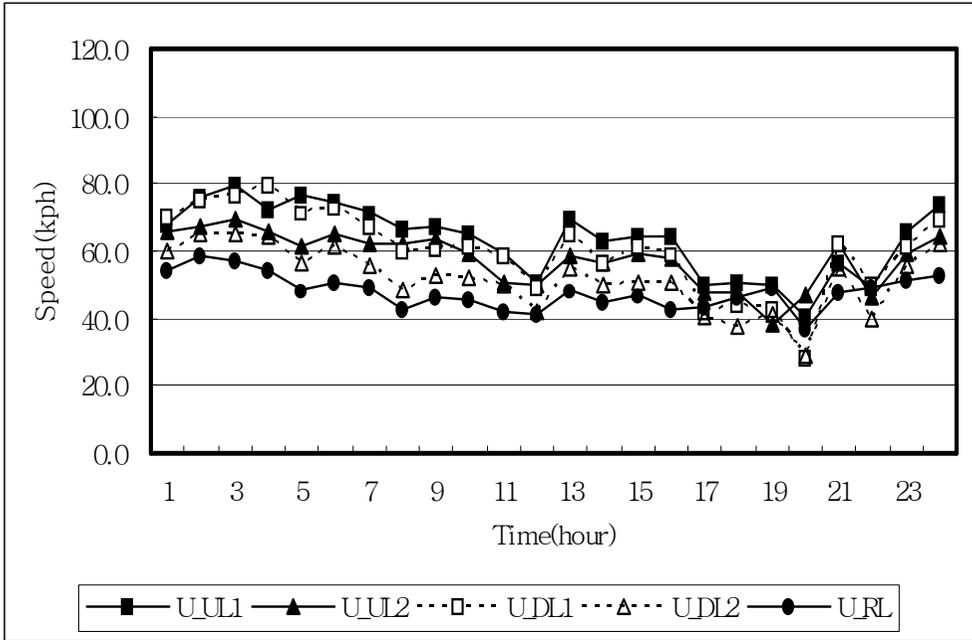
- n_i : 속도등급에 따른 차량대수(veh/15min)
- $\sum n_i$: 매 15분 동안 차량대수(N)
- U_i : 속도등급 내 평균속도(km/h)
- U_s : 공간평균속도(km/h)
- U_t : 시간평균속도(km/h)

이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내 각 지점의 차로별 평균속도의 특성 분포를 살펴보면, 도심과 부도심지역에 상관없이 상류지점보다는 하류지점에서 다소 낮게 나타났고, 2차로보다는 1차로에서 상대적으로 높게 나타났다. 또한 거의 모든 유입연결로의 합류영향권내에서 출퇴근시간대에 속도가 감소하는 것으로 나타났으며, 특히 도심지역과 부도심지역사이의 유입연결로에서는 출퇴근시간대를 전후하여 급격한 속도 감소를 보인 반면, 도심지역과 부도심지역에 가까운 유입연결로의 합류영향권에서는 출퇴근시간대에 지속된 교통정체로 인해서 급격한 통행속도의 감소현상을 보이지는 않는 것으로 나타났다.

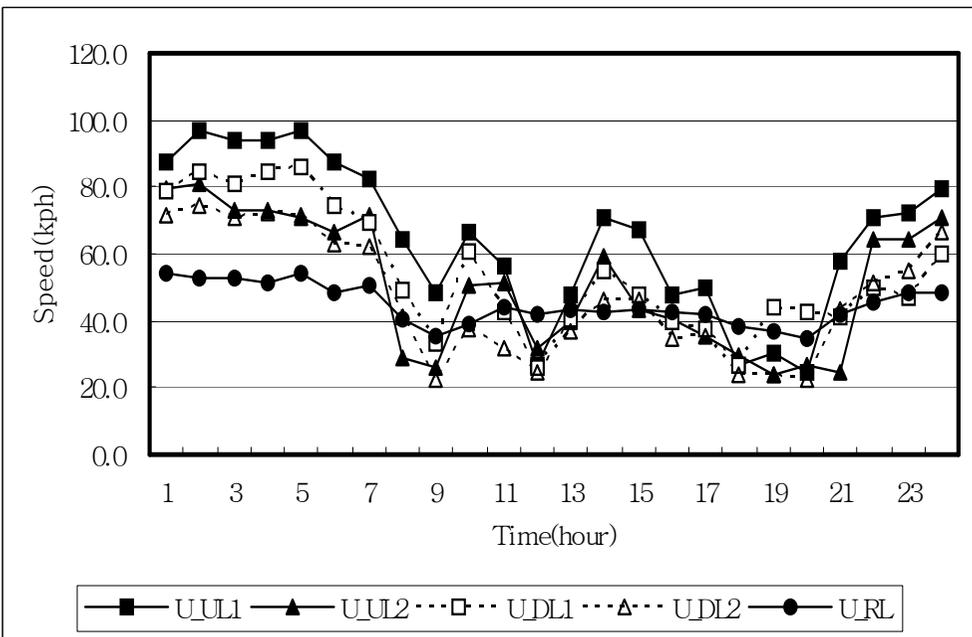
Table 2.2 Results of speed characteristic analysis

On-ramp		Speed(kph)				
		Upstream		Downstream		Ramp
		Lane1	Lane2	Lane1	Lane2	
A	Min.	32.9	33.5	27.4	26.7	34.6
	Max.	81.7	70.2	81.1	66.3	61.3
	Avg.	63.4	57.8	60.3	51.7	47.9
B	Min.	23.3	23.3	23.9	21.7	33.9
	Max.	100.5	85.9	90.4	76.6	56.3
	Avg.	64.5	51.1	54.3	47.0	44.7
C	Min.	24.1	28.4	30.4	26.8	31.2
	Max.	86.3	81.4	88.8	81.1	56.2
	Avg.	69.4	64.1	69.6	58.8	46.6
D	Min.	54.8	31.8	26.1	29.9	33.5
	Max.	108.1	75.5	88.5	69.5	50.2
	Avg.	84.1	63.7	76.0	61.3	45.2

게다가 이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내에서 각 지점의 차로별 평균 속도는 대체적으로 47.0~84.1km/h 사이로 나타났고, 최소 최대평균속도는 각각 21.7~54.8km/h와 66.3~108.1km/h 사이로 나타남으로써 각 지점의 차로별 현저한 속도차이를 확인할 수 있었다(참조 Table 2.2와 Fig. 2.2(A)~(B)). 따라서 이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내 속도의 특성분석결과로부터 낮 시간대(오전 7:00시~오후 7:00시)에 상류지점과 하류지점 그리고 연결로지점의 차로별 특성분석의 필요성이 확인되었다.

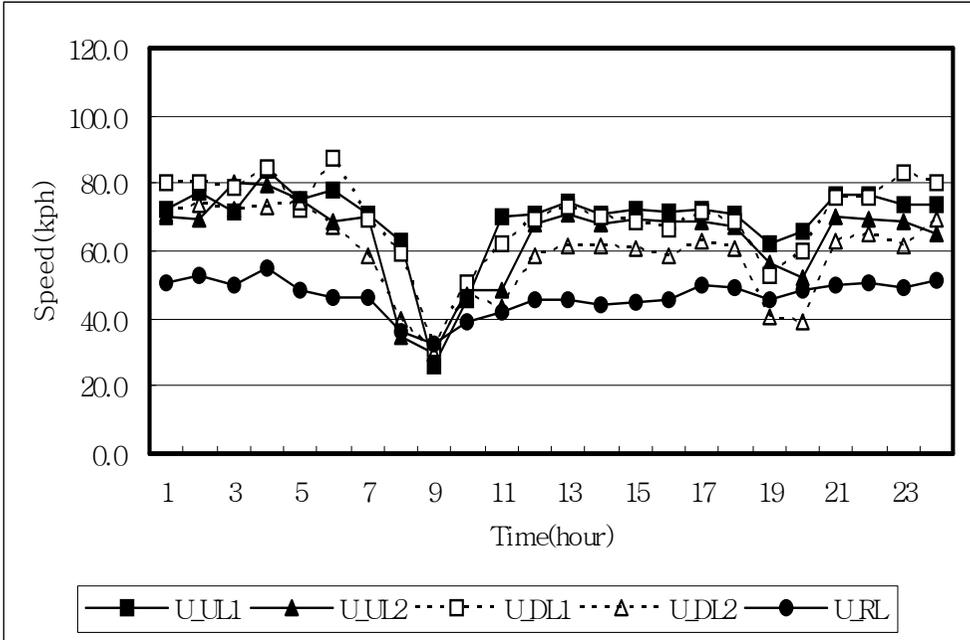


Munhyeon (A)

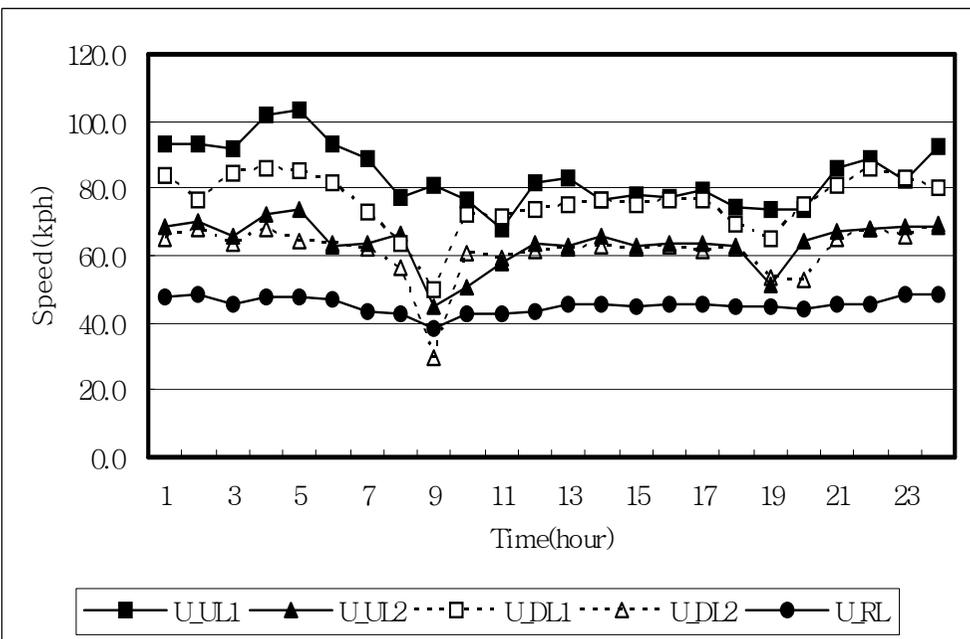


Daeyeon (B)

Fig. 2.2(A) Speed trends within the influence area



Mangmi (C)



Wondong (D)

Fig. 2.2(B) Speed trends within the influence area

2.3 밀도

밀도(density)란 단위구간 내 통행차량수로서 단위는 vehicle per kilometer(veh/km)로 표현되며, 이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내 밀도는 차두거리의 역수로서 다음과 같이 산정되었다(TRB, 1975).

$$h = \frac{\sum(t_i - t_{i-1})}{\sum n_i} \quad (2.5)$$

$$K = \frac{3.6}{h_i \times U_{si}} \quad (2.6)$$

여기서,

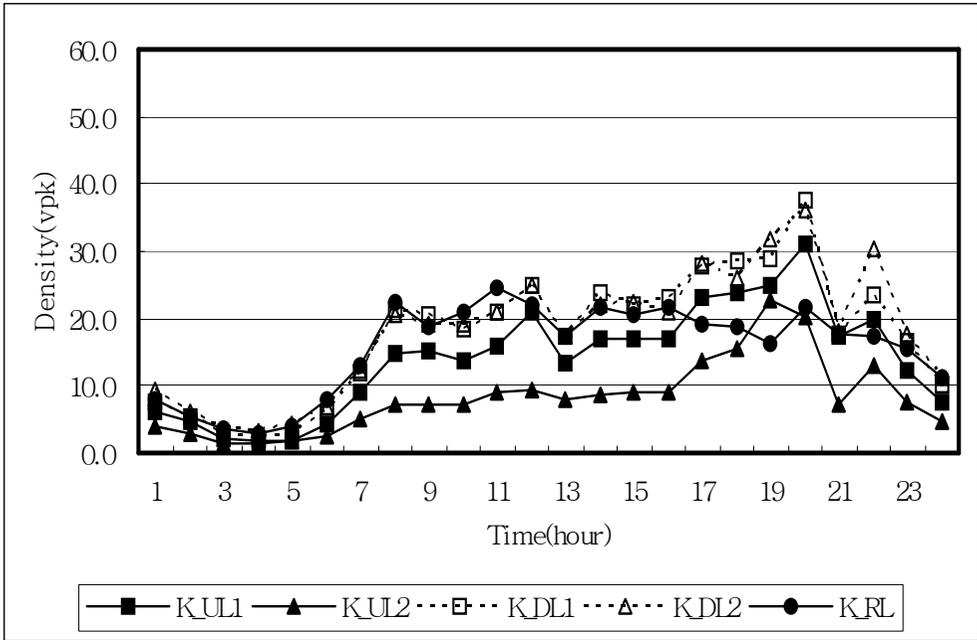
- h : 15분 동안 평균 차두시간(sec)
- h_i : 매 15분 동안 차두시간(sec)
- t_i : i 번째 차량의 도착시간(sec)
- t_{i-1} : $i-1$ 번째 차량의 도착시간(sec)
- U_{si} : 매 15분 동안 공간평균속도(km/h)

이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내 각 지점의 차로별 평균밀도의 특성 분포를 살펴보면, 도심지역과 부도심지역에 가까운 유입연결로의 합류영향권에서는 하류지점 1, 2차로와 유입연결로의 밀도가 상류지점 1, 2차로에 비해 높게 나타났고, 도심지역과 부도심지역사이의 유입연결로 합류영향권에서는 통과교통량의 증가로 인하여 연결로의 밀도가 상대적으로 낮게 나타났으며, 특히 대부분의 유입연결로 합류영향권내에서 출퇴근시간대를 전후하여 밀도의 급격한 증가를 보이는 것으로 나타났다.

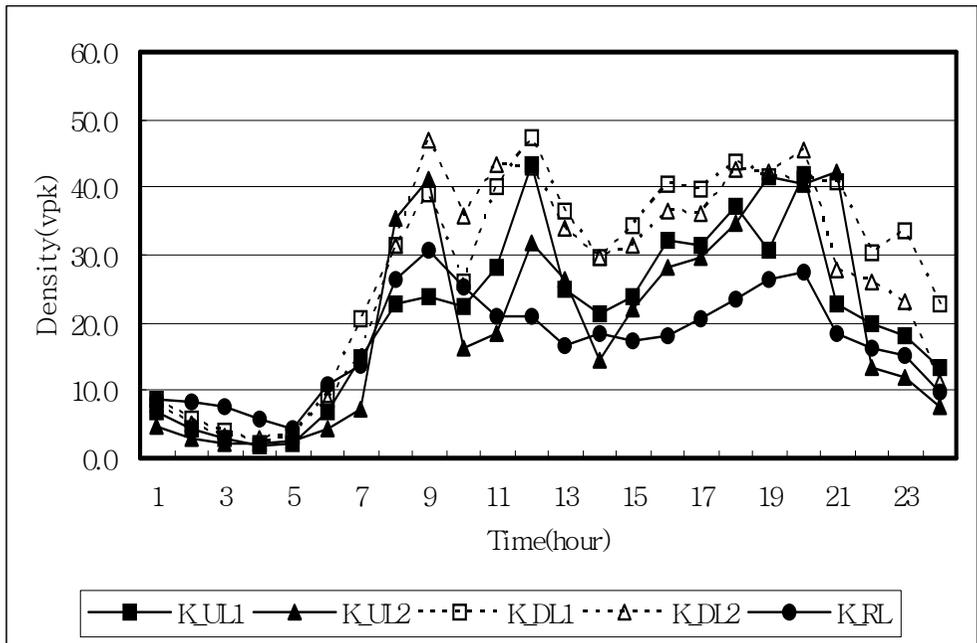
Table 2.3 Results of density characteristic analysis

On-ramp		Density(vpk)				
		Upstream		Downstream		Ramp
		Lane1	Lane2	Lane1	Lane2	
A	Min.	1.6	1.3	2.1	2.8	2.6
	Max.	33.3	23.9	38.5	40.6	25.4
	Avg.	14.0	8.3	17.6	18.1	15.5
B	Min.	1.7	1.7	2.2	2.4	1.7
	Max.	46.7	45.4	52.5	48.5	30.9
	Avg.	20.8	20.1	28.0	26.4	17.2
C	Min.	1.4	1.6	1.4	2.2	1.2
	Max.	49.6	38.6	55.3	53.2	33.6
	Avg.	17.5	12.8	19.8	20.3	11.8
D	Min.	0.7	1.0	1.1	1.8	1.7
	Max.	20.2	24.6	43.2	29.7	32.5
	Avg.	10.0	6.5	14.2	12.4	13.9

게다가, 이 연구대상 유입연결로 합류영향권내 각 지점의 차로별 평균밀도는 약 6.5~28.0veh/km사이로 나타났고, 최소 최대평균밀도는 대략 0.7~2.4veh/km 와 20.2~55.3veh/km사이로 나타남으로써 각 지점의 차로별 현저한 밀도차이를 확인할 수 있었다(참조 Table 2.3와 Fig. 2.3(A)~(B)). 따라서 이 연구대상 유입연결로의 밀도 특성분석결과로부터 낮 시간대(오전 7:00시~오후 7:00시)에 상류지점과 하류지점 그리고 연결로지점의 차로별 특성분석의 필요성이 확인되었다.

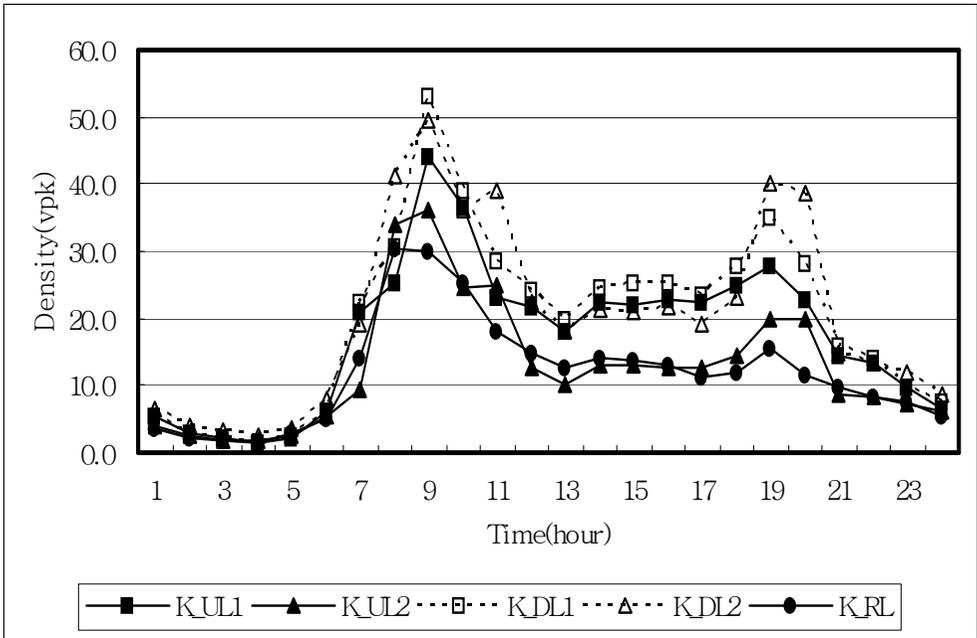


Munhyeon (A)

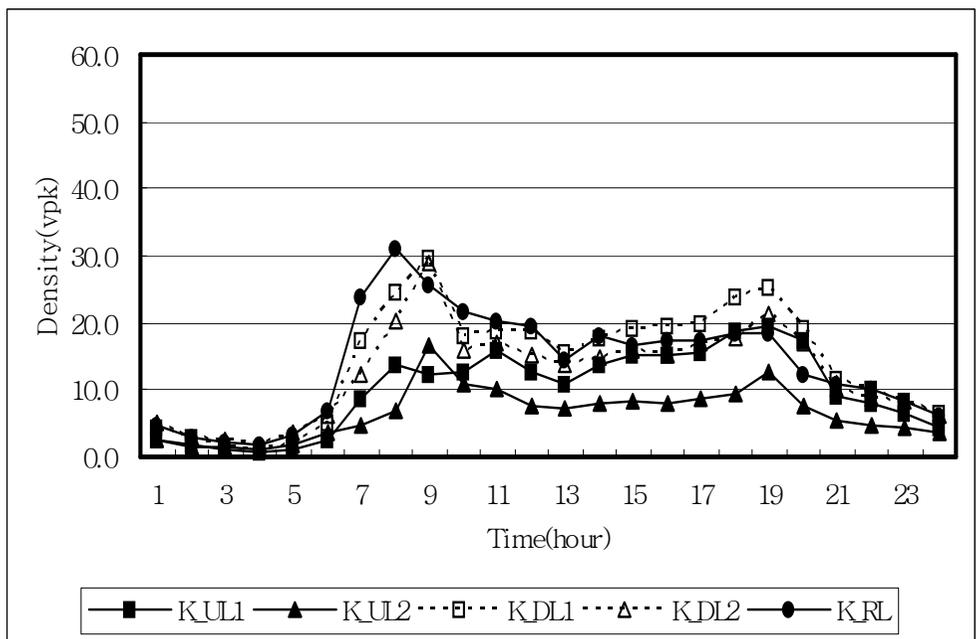


Daeyeon (B)

Fig. 2.3(A) Density trends within the influence area



Mangmi (C)



Wondong (D)

Fig. 2.3(B) Density trends within the influence area

3. 교통특성관계

이 연구대상 도시고속도로의 유입연결로 합류영향권내 각 지점의 차로별 교통특성관계를 파악하기 위해서 교통량과 속도, 속도와 밀도 그리고 교통량과 밀도의 특성관계를 비교하였다.

3.1 교통류율과 속도

이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내 각 지점의 차로별 교통류율과 속도 사이에서는 현저한 차이를 보였으나 아래의 Fig. 3.1(A)와 (B)에서 보는 바와 같이 교통류율이 용량상태에 도달할 때까지 교통량의 증가와 함께 속도는 점차 감소하였고, 용량상태에 도달한 후 추가적인 교통량 유입과 더불어 속도는 급격히 감소하는 것으로 나타남으로써 전형적인 Greenshields(1935)의 포물선 관계를 확인할 수 있었다. 특히, 합류영향권내 각 지점의 차로별 용량수준에서 상당한 차이를 보였는데, 도심지역과 부도심지역에 가까운 유입연결로 A(문현)와 D(원동)에서는 각각 최대 1,400veh/h와 최대 1,650veh/h로 Masao(1991) 등의 연구결과와 거의 비슷한 수준의 용량감소를 보였으나, 도심지역과 부도심지역 사이의 유입연결로 B(대연)와 C(망미)에서는 최대 1,900veh/h로 도시고속도로의 1개차로 용량과 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 따라서 이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내 각 지점의 차로별 교통특성에 기초하여 유입연결로 합류영향권의 교통관리체계가 수립되어야 할 것으로 생각되었다.

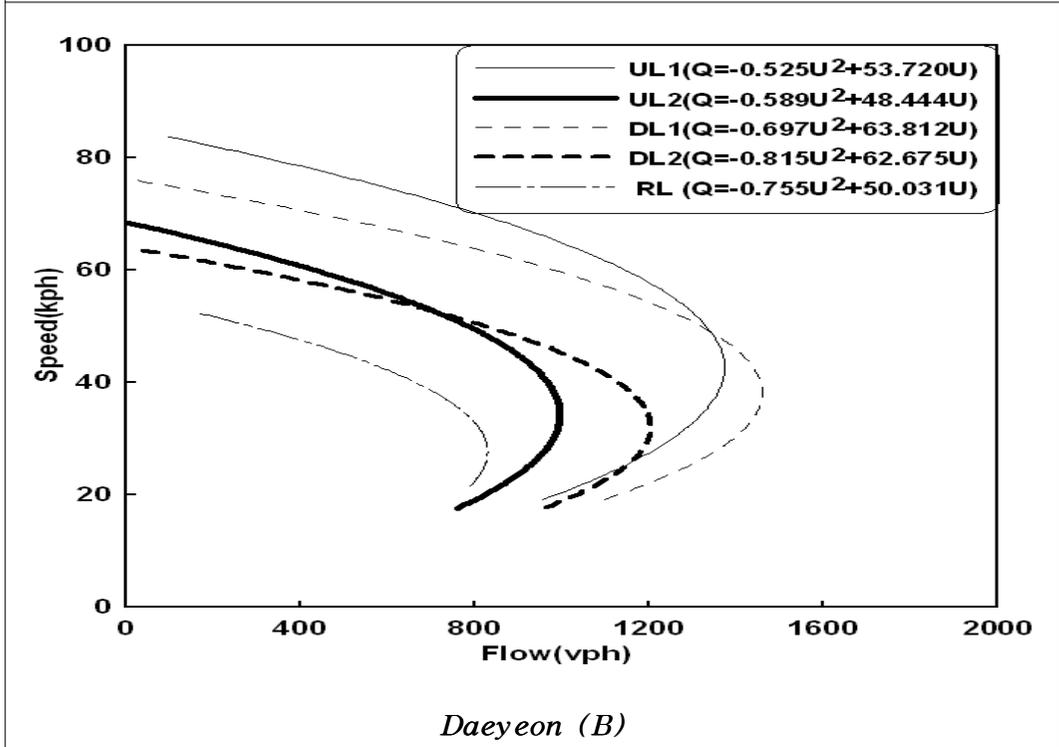
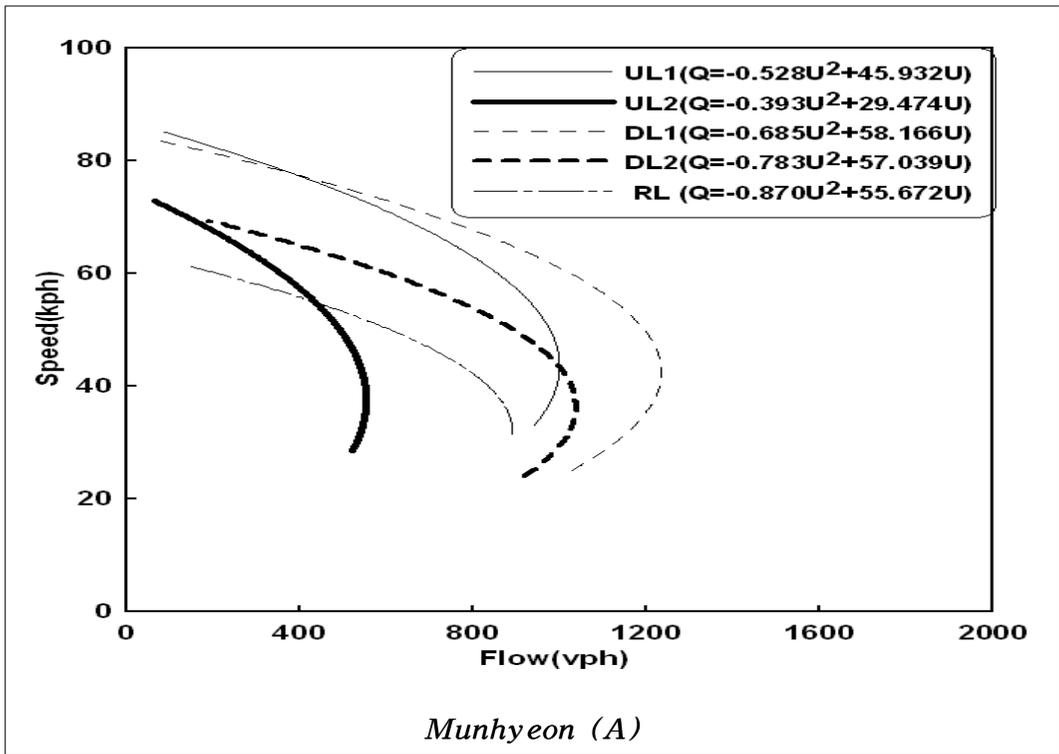


Fig. 3.1(A) Relationship between flow and speed

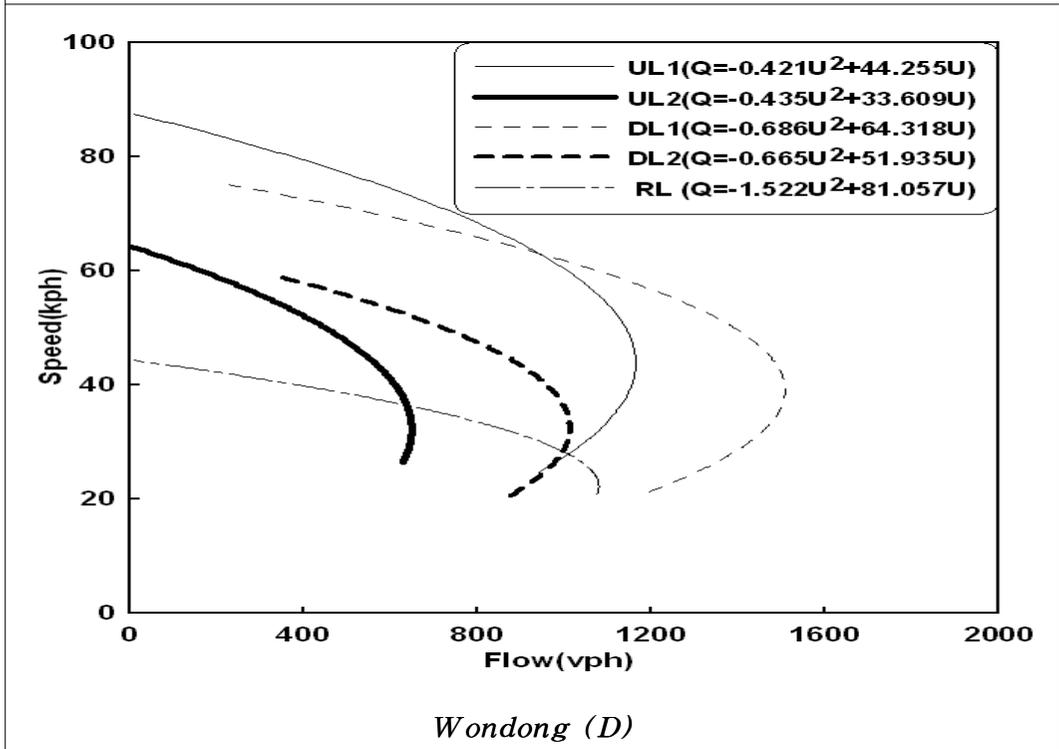
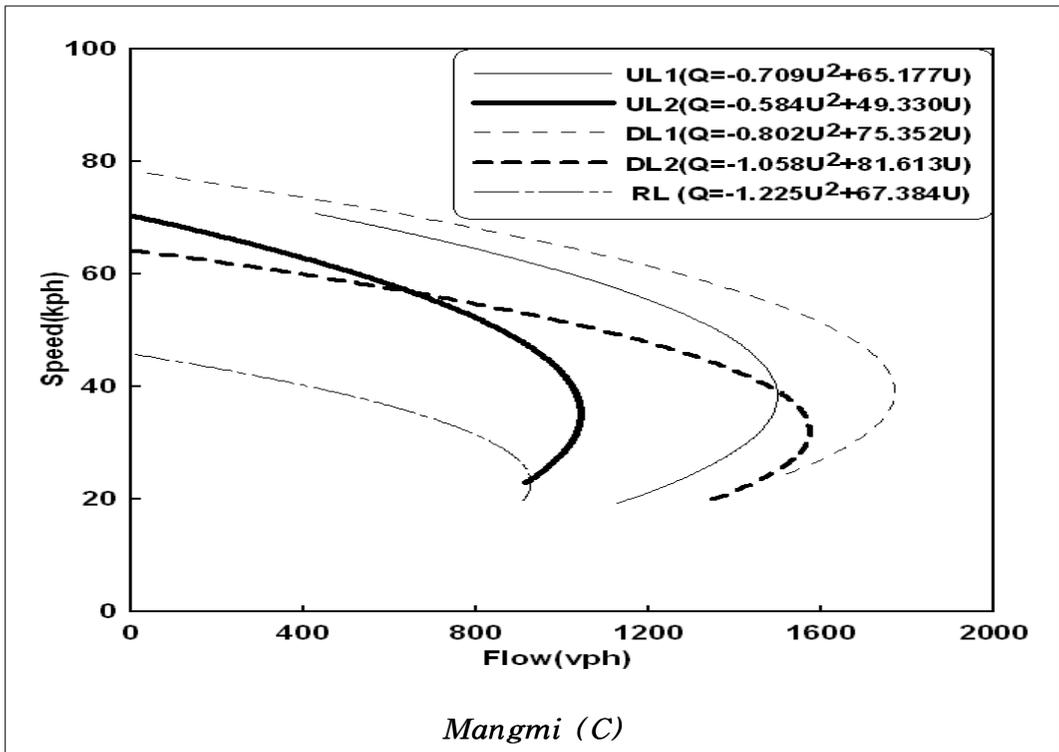


Fig. 3.1(B) Relationship between flow and speed

3.2 속도와 밀도

이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내 각 지점의 차로별 속도와 밀도사이에서도 역시 상당한 차이를 보였으며, 아래의 Fig. 3.2(A)와 (B)에서 보는 바와 같이 밀도의 증가와 함께 속도가 감소하는 것으로 나타남으로써 전형적인 Greenshields의 음(-)의 선형관계를 확인할 수 있었다. 특히, 합류영향권내 하류지점의 밀도가 상류지점보다 높게 나타났고, 하류지점 1차로의 밀도가 하류지점 2차로의 밀도보다 상대적으로 높게 나타났다. 따라서 이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내 각 지점의 차로별 교통특성에 기초하여 유입연결로 합류영향권의 교통관리체계가 수립되어야 할 것으로 생각되었다.

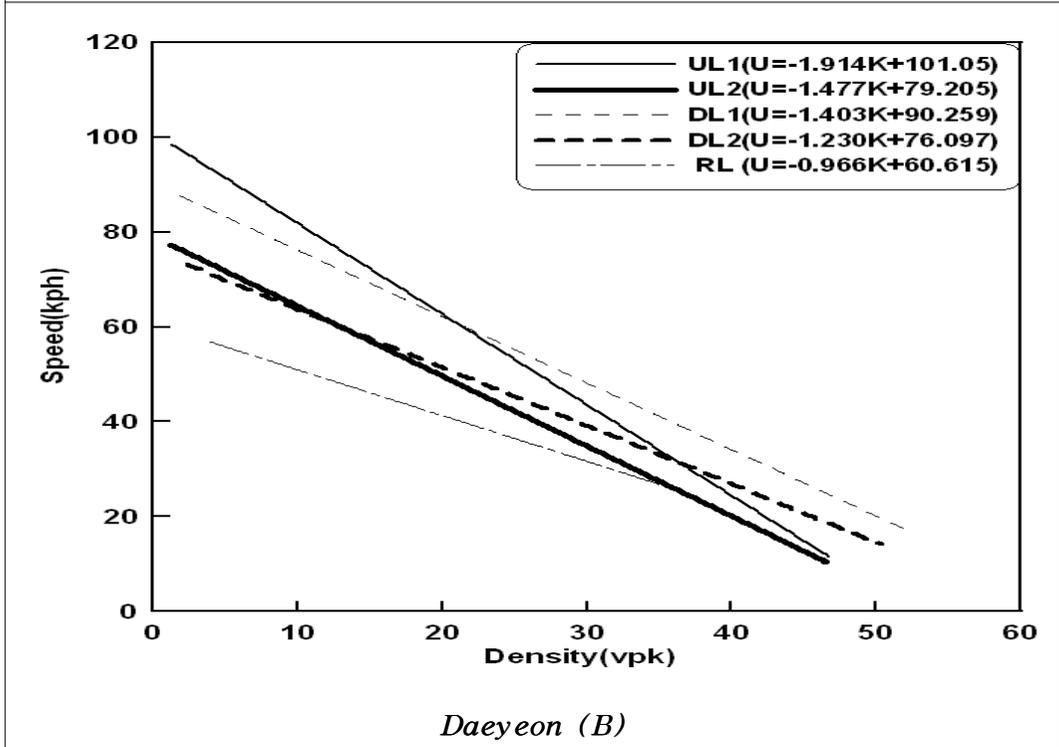
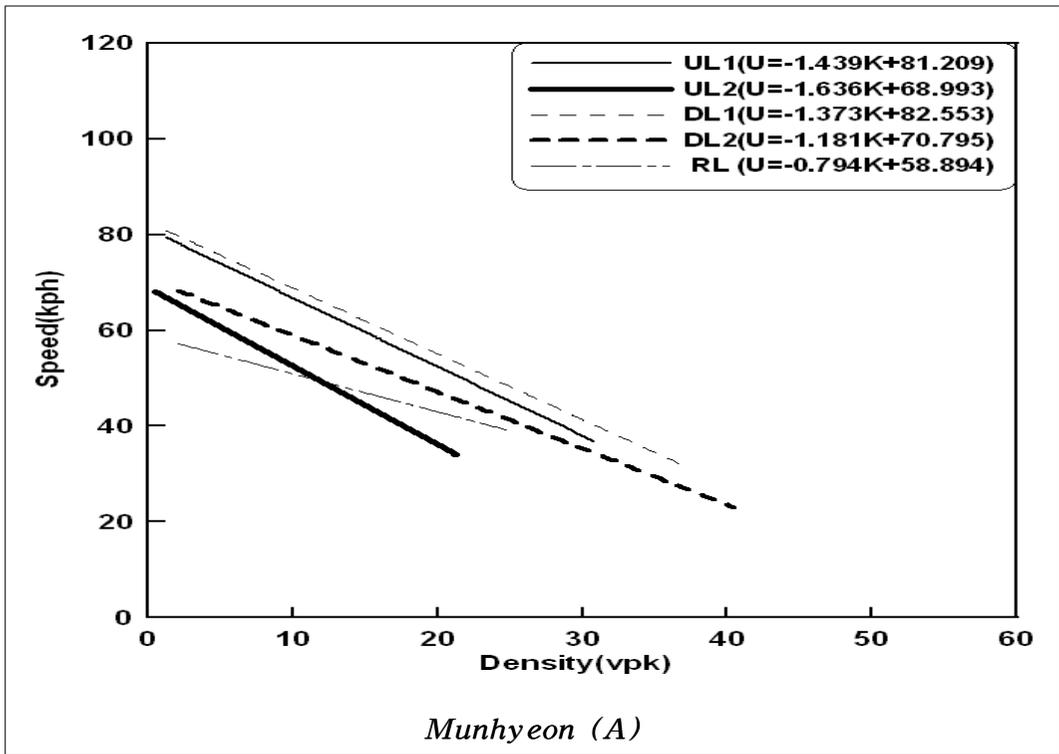


Fig. 3.2(A) Relationship between speed and density

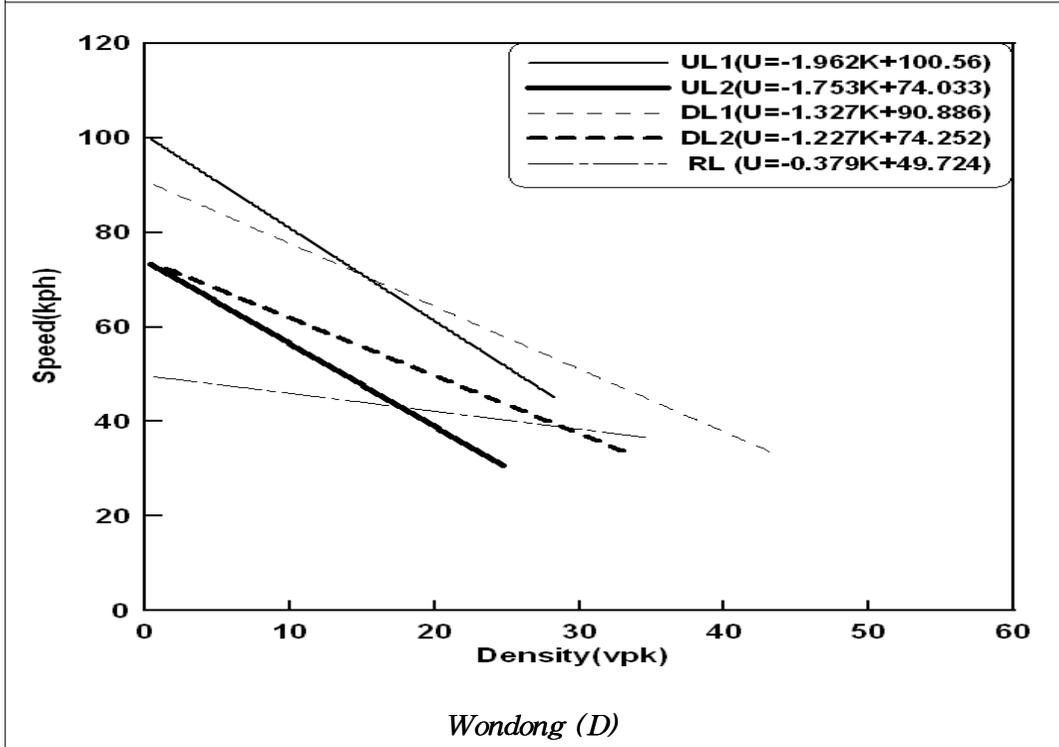
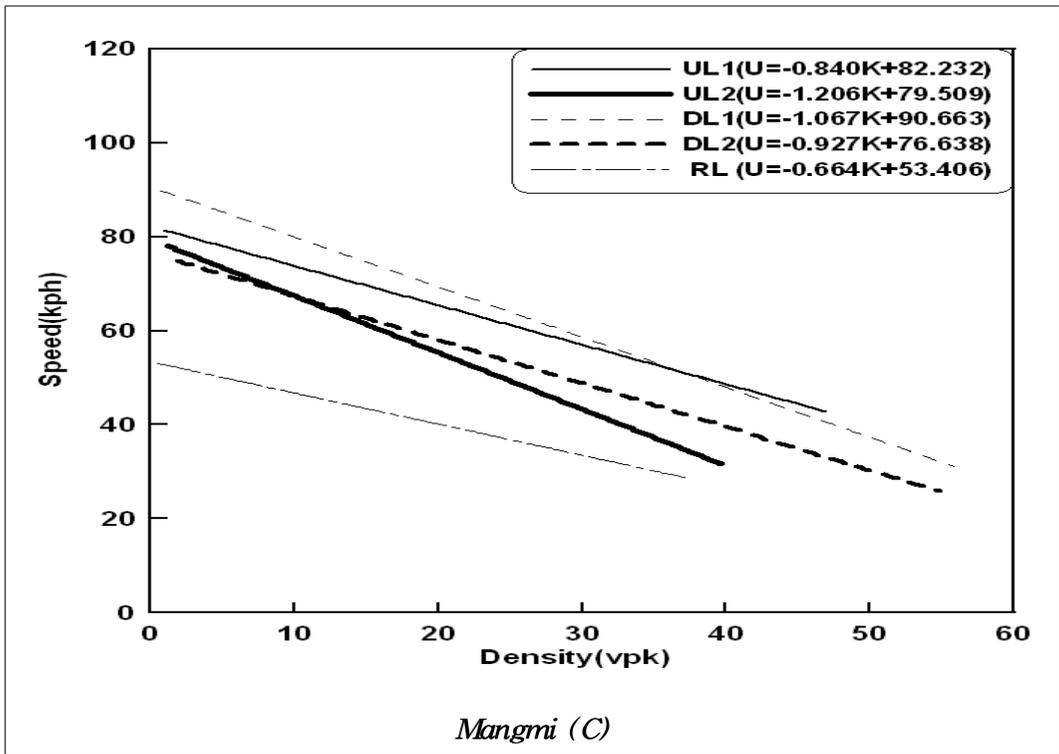


Fig. 3.2(B) Relationship between speed and density

3.3 교통류율과 밀도

이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내 각 지점의 차로별 교통류율과 밀도 사이에서도 아래의 Fig. 3.3(A)와 (B)에서 보는 바와 같이 용량상태에 도달하기 전까지 밀도증가와 함께 교통류율이 계속 증가하였고, 용량상태에 도달한 후에는 밀도증가와 함께 교통류율도 감소하는 것으로 나타남으로써 전형적인 Greenshields의 포물선 관계를 확인할 수 있었다. 특히, 합류영향권내 각 지점의 차로별 용량상태와 밀도에서 현저한 차이를 보였는데, 도심과 부도심지역에 근접한 유입연결로 A(문현)와 D(원동)의 하류지점 1개 차로용량이 약 1,400~1,650veh/h일 때 밀도가 약 38.5~43.2veh/km으로 나타났고, 도심과 부도심지역 사이의 유입연결로 B(대연)와 C(망미)의 하류지점 1개 차로용량이 약 1,900~1,950veh/h일 때 밀도가 약 52.5~55.3veh/km를 보이는 것으로 나타났다. 따라서 이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내 각 지점의 차로별 교통특성에 기초하여 유입연결로 합류영향권의 교통관리체계가 수립되어야 할 것으로 생각되었다.

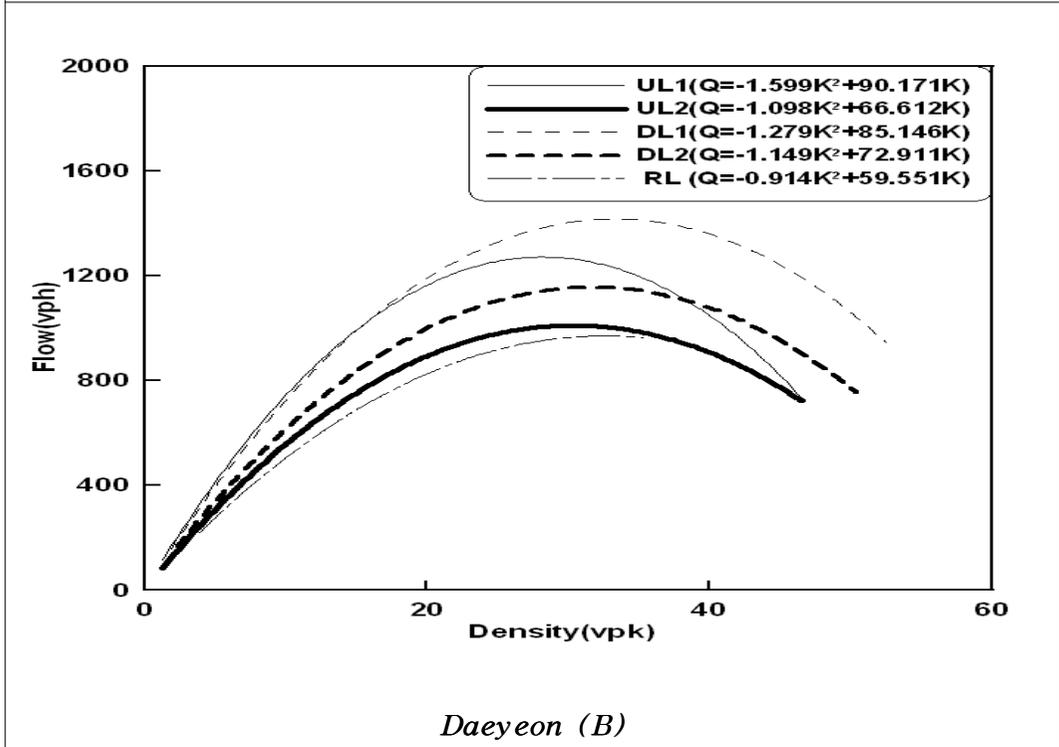
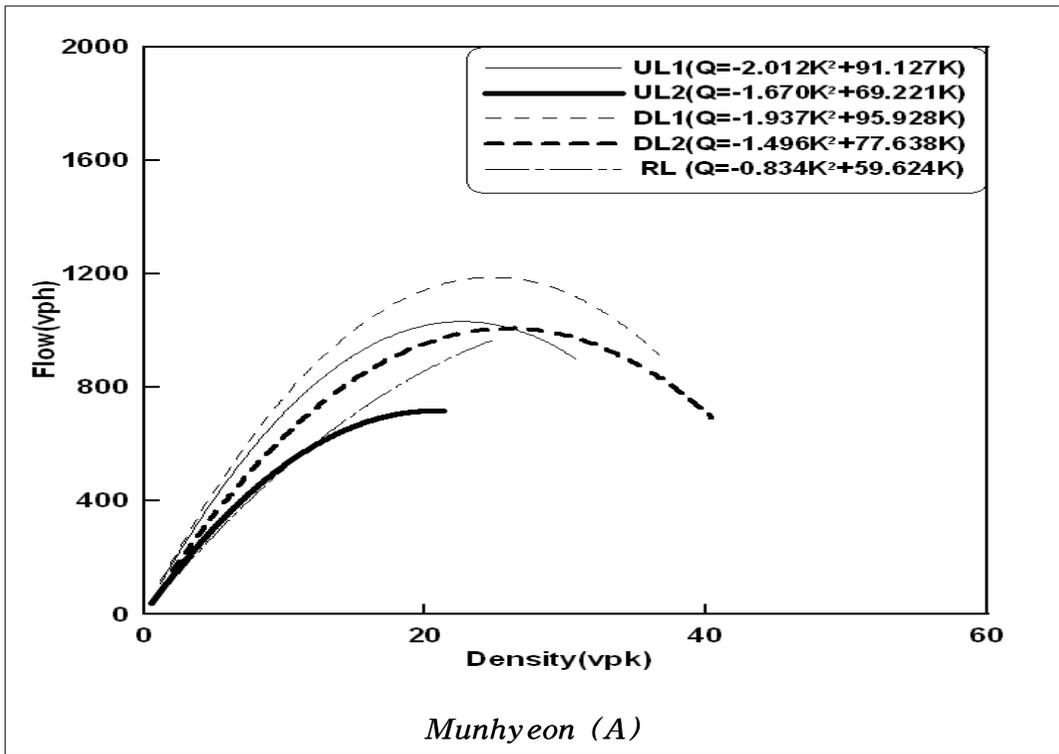


Fig. 3.3(A) Relationship between flow and density

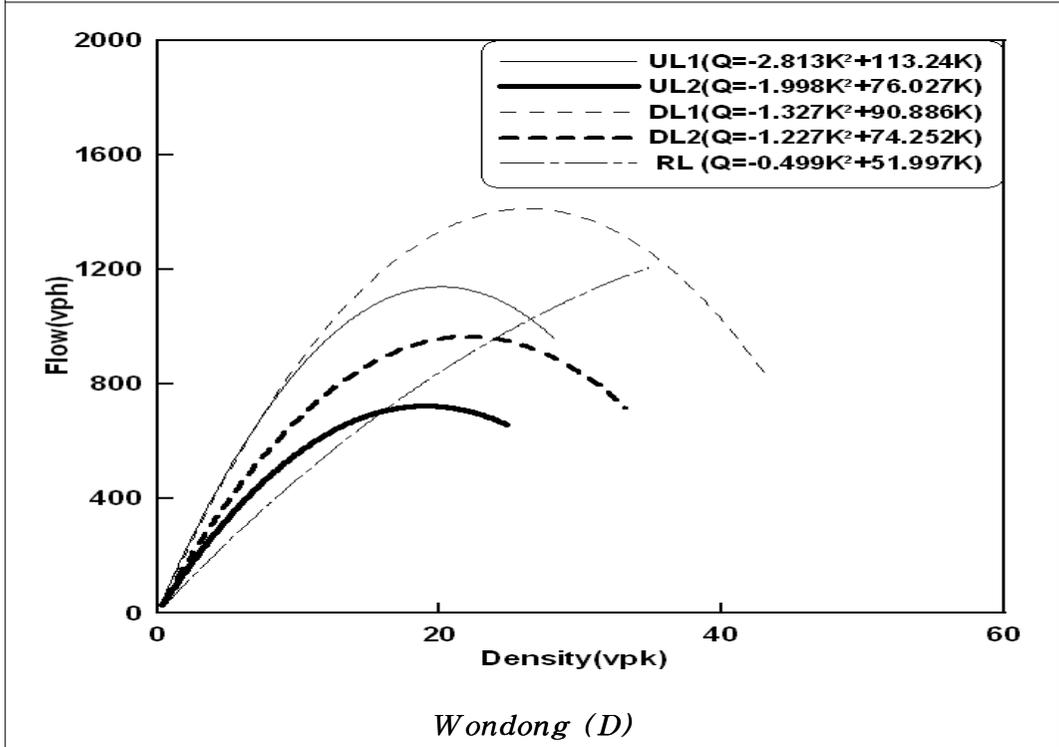
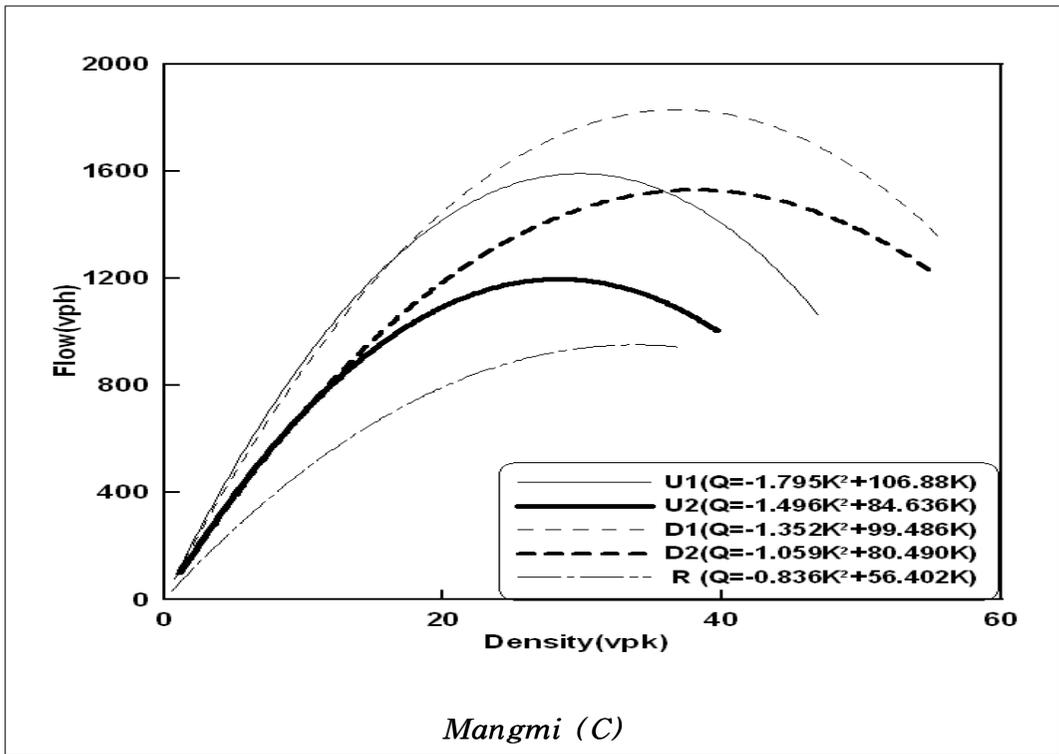


Fig. 3.3(B) Relationship between flow and density

4. 모형 구축 및 검증

이 연구대상 도시고속도로의 유입연결로 합류영향권내 각 지점의 차로별 속도특성의 상관모형은 합류영향권내에서 수집된 속도특성자료와 함께 회귀모형 (regression model)을 이용하여 구축되었고, 또한 모형검증은 모형구축에 사용되지 않은 속도특성자료와 함께 t - $tset$ 분석과 상관관계분석(correlation analysis)을 통해 수행되었다.

4.1 모형 구축

이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내에서는 아래의 Table 4.1에서와 같이 하류지점 2차로의 속도특성과 상류지점1, 2차로, 하류지점 1차로 및 연결로지점의 속도특성사이에 높은 상관관계의 분석결과에 따라 아래 Fig. 4.1에 제시된 것과 같이 독립변수로는 하류지점 2차로의 속도(U_{DL2})가 채택되었고, 종속변수로는 모형에 따라 상류지점 1차로속도(U_{UL1}), 상류지점 2차로속도(U_{UL2}), 하류지점 1차로속도(U_{DL1}) 및 연결로지점 속도(U_{RL})가 각각 채택되었다.

$$U_{\alpha} = \beta_0 + \beta_1 \times U_{DL2} \quad (4.1)$$

여기서,

β_0, β_1 : Regression coefficients

α : Location and lane of the detector spots in the dependent variables

Table 4.1 Correlation analysis between speeds under the influence area

On-ramp	$U_{DL2}(A)$		$U_{DL2}(B)$		$U_{DL2}(C)$		$U_{DL2}(D)$	
	r	Rank	r	Rank	r	Rank	r	Rank
U_{UL1}	0.921	2	0.965	1	0.892	2	0.789	2
U_{UL2}	0.905	3	0.938	2	0.866	3	0.740	3
U_{DL1}	0.963	1	0.930	3	0.940	1	0.956	1
U_{RL}	0.807	4	0.817	4	0.808	4	0.650	4

Note : r is correlation coefficient

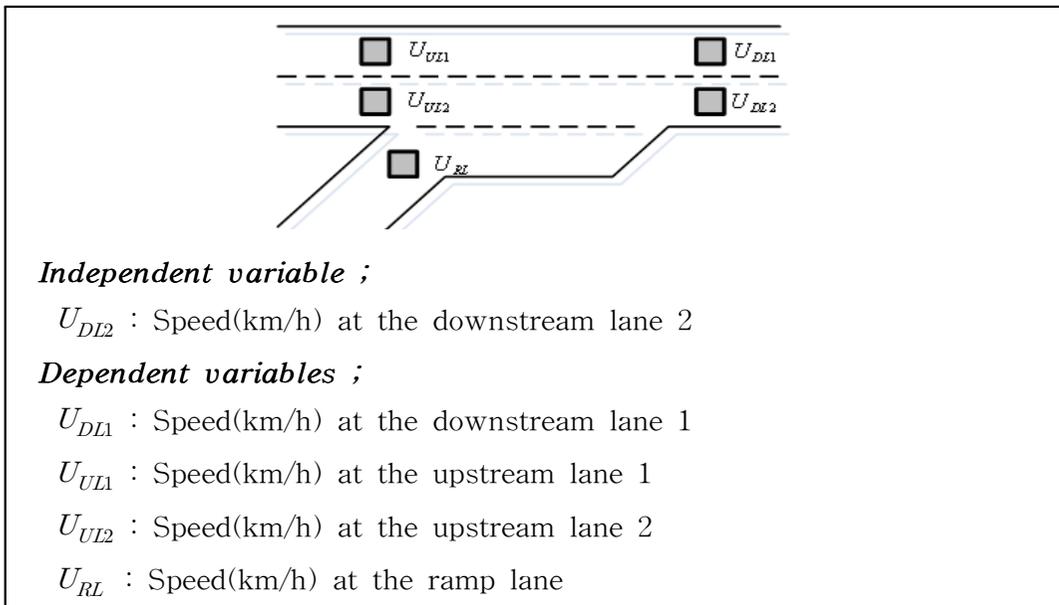


Fig. 4.1 Location of detectors and definition of the variables

한편 위의 속도특성 상관모형에서는 회귀모형이 사용되었고, 결정계수(R^2)의 판단기준과 함께 독립변수의 종속변수와의 상관성에 기초하여 회귀분석방법이 이용되었는데, 유입연결로의 합류영향권내 속도특성 상관모형을 구축한 결과, 모형의 결정계수(R^2)값에서 각 지점의 차로별 다소 차이를 보였으나, 대체적으로 0.50이상을 보임으로써 모형구축에 상당한 설명력을 나타내었다. 또한 하류

지점 2차로속도(U_{DL2})가 하류지점 1차로속도(U_{DL1})와 상류지점 1차로속도(U_{UL1})에 상대적으로 높은 영향력을 미치는 것으로 확인되었으며, 특히 하류지점 2차로속도(U_{DL2})가 하류지점 1차로속도(U_{DL1})에 가장 높은 영향력을 미치는 것으로 확인됨으로써 유입연결로 합류영향권내 하류지점 1차로와 상류지점 1차로에 대한 교통관리체계가 필요할 것으로 생각되었다(참조 Table 4.2와 Fig. 4.2~4.5).

Table 4.2 Results of correlation models

<i>Or-rmp</i>	<i>Models</i>	<i>R²</i>	<i>prob > F</i>
<i>A</i>	$U_{UL1} = 13.888 + 0.956 \times U_{DL2}$	0.8018	0.000
	$U_{UL2} = 23.553 + 0.6649 \times U_{DL2}$	0.7775	0.000
	$U_{DL1} = -5.2068 + 1.2562 \times U_{DL2}$	0.8944	0.000
	$U_{RL} = 22.775 + 0.483 \times U_{DL2}$	0.6899	0.000
<i>B</i>	$U_{UL1} = -4.2985 + 1.409 \times U_{DL2}$	0.9626	0.000
	$U_{UL2} = 3.7497 + 1.0669 \times U_{DL2}$	0.9231	0.000
	$U_{DL1} = -2.8845 + 1.2094 \times U_{DL2}$	0.9738	0.000
	$U_{RL} = 31.835 + 0.2928 \times U_{DL2}$	0.6546	0.000
<i>C</i>	$U_{UL1} = 13.41 + 0.9128 \times U_{DL2}$	0.7571	0.000
	$U_{UL2} = 23.975 + 0.715 \times U_{DL2}$	0.6954	0.000
	$U_{DL1} = -2.9842 + 1.2221 \times U_{DL2}$	0.8839	0.000
	$U_{RL} = 24.774 + 0.3603 \times U_{DL2}$	0.6673	0.000
<i>D</i>	$U_{UL1} = 11.171 + 1.1836 \times U_{DL2}$	0.7191	0.000
	$U_{UL2} = 29.097 + 0.5828 \times U_{DL2}$	0.6474	0.000
	$U_{DL1} = -11.788 + 1.3974 \times U_{DL2}$	0.9308	0.000
	$U_{RL} = 28.637 + 0.2745 \times U_{DL2}$	0.5021	0.000

Note : ($P > |T|$) = (P -value)

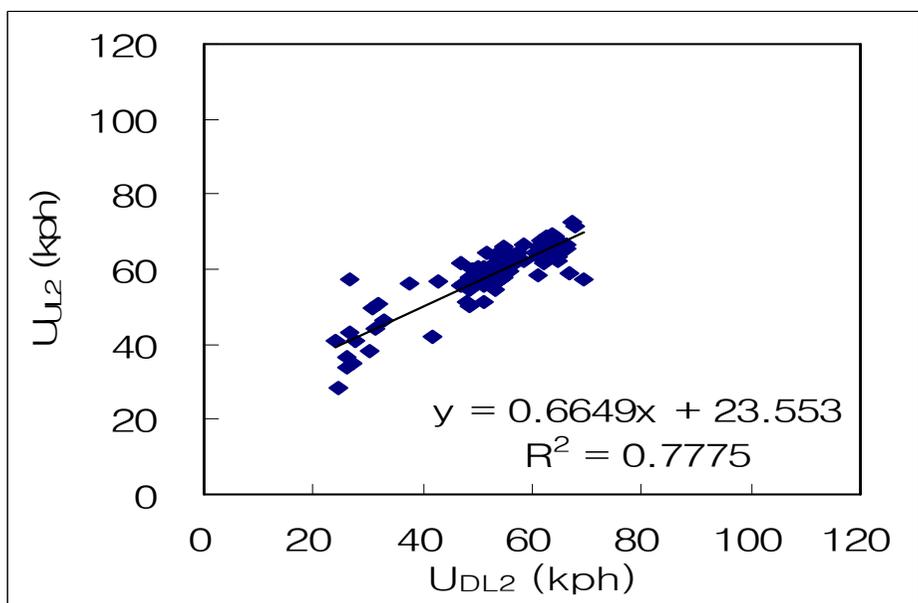
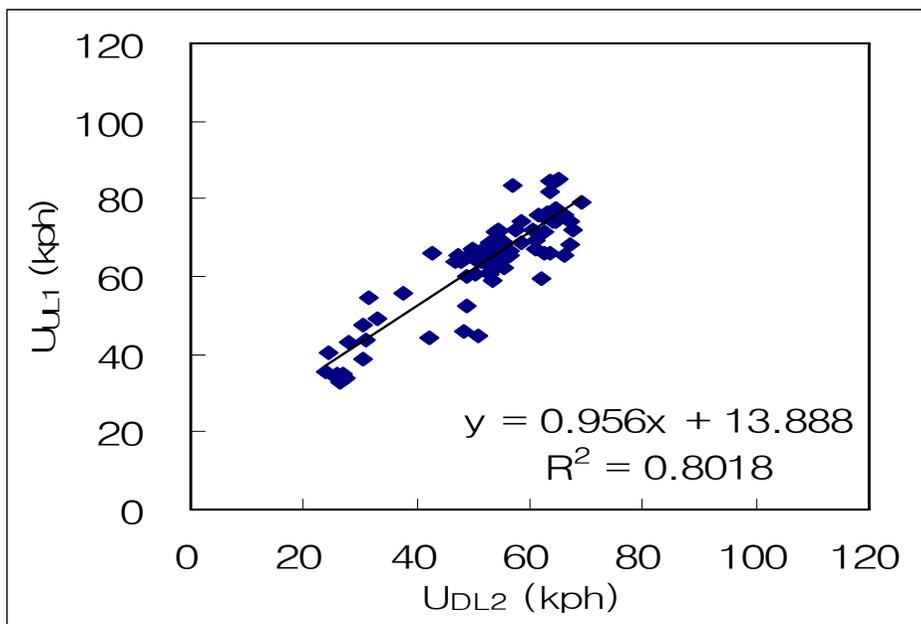


Fig. 4.2(A) Speed correlation models at on-ramp A

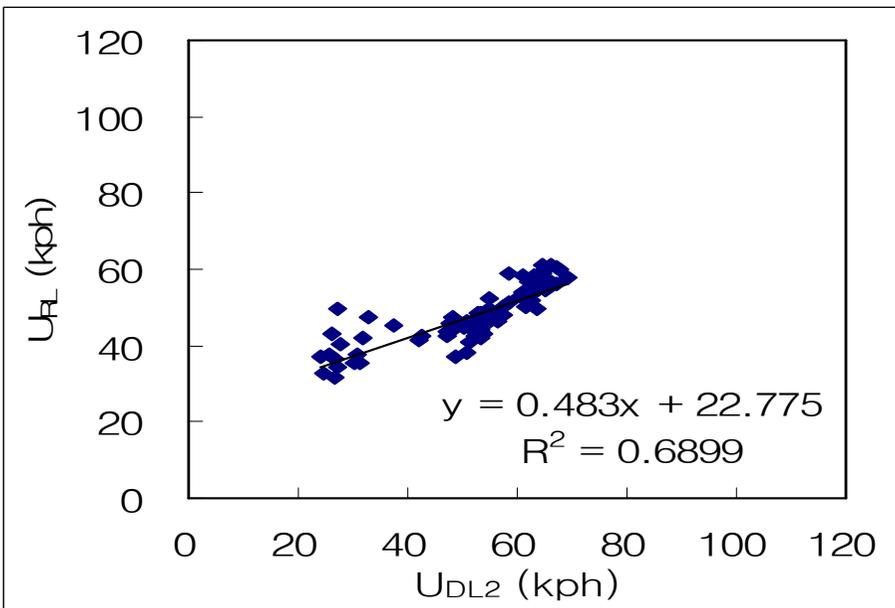
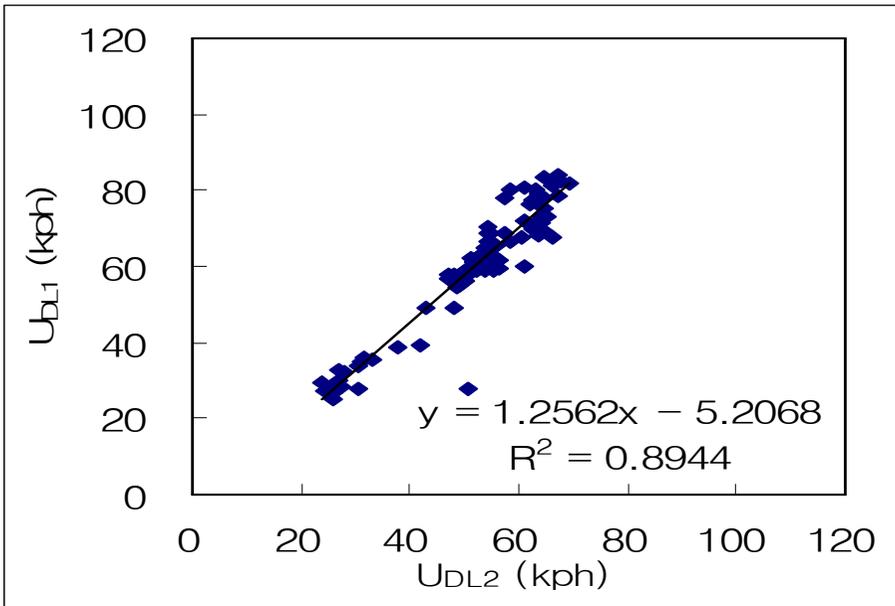


Fig. 4.2(B) Speed correlation models at on-ramp A

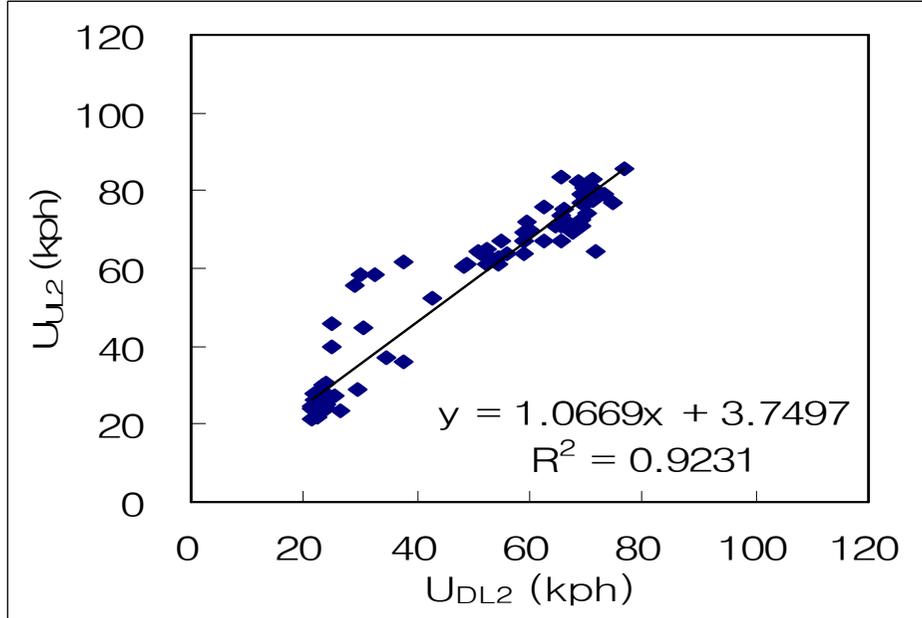
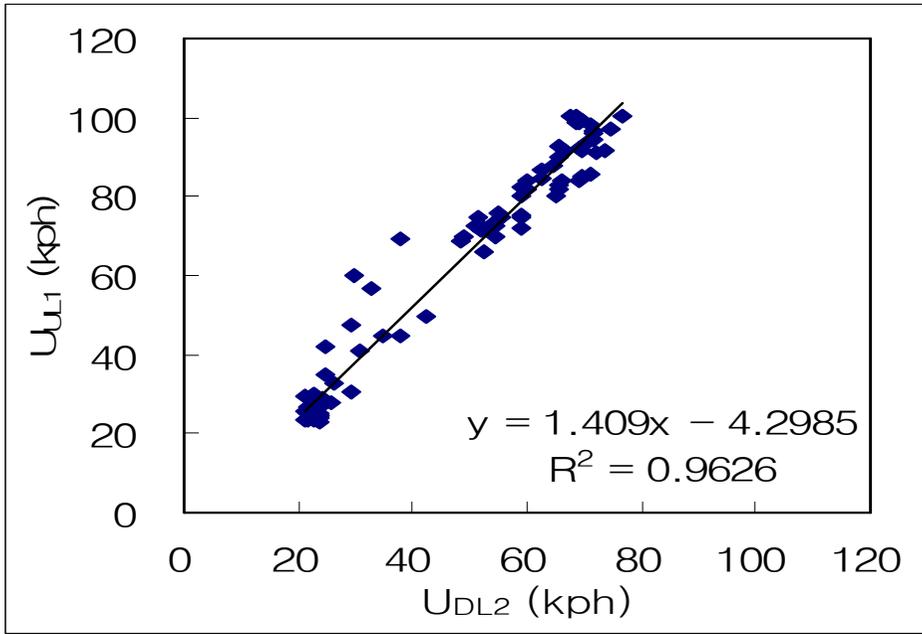


Fig. 4.3(A) Speed correlation models at on-ramp B

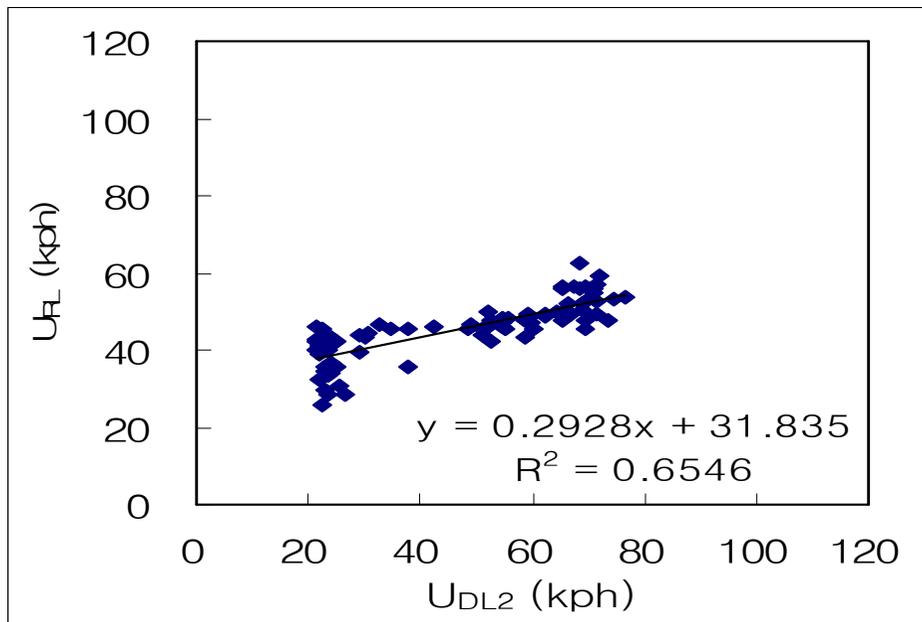
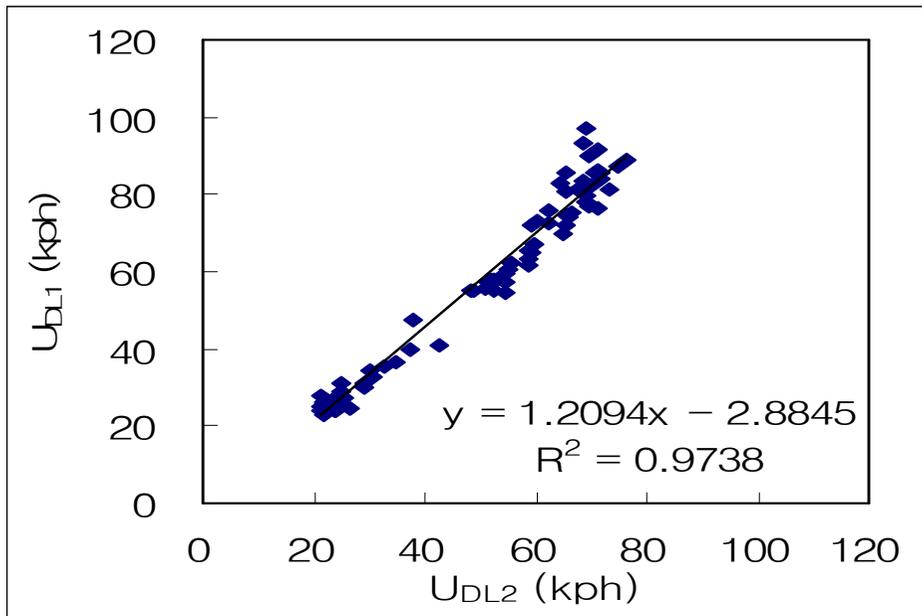


Fig. 4.3(B) Speed correlation models at on-ramp B

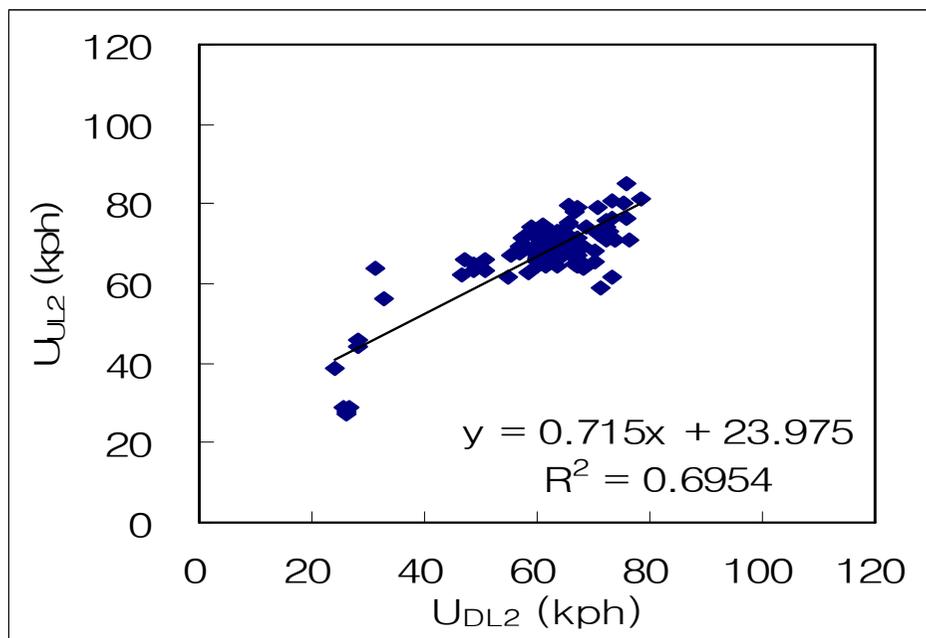
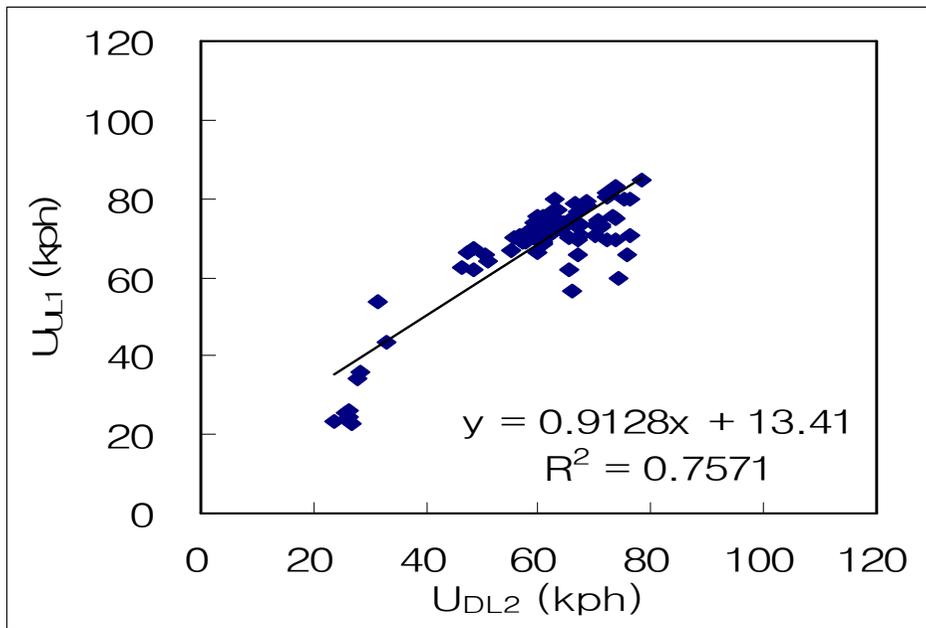


Fig. 4.4(A) Speed correlation models at on-ramp C

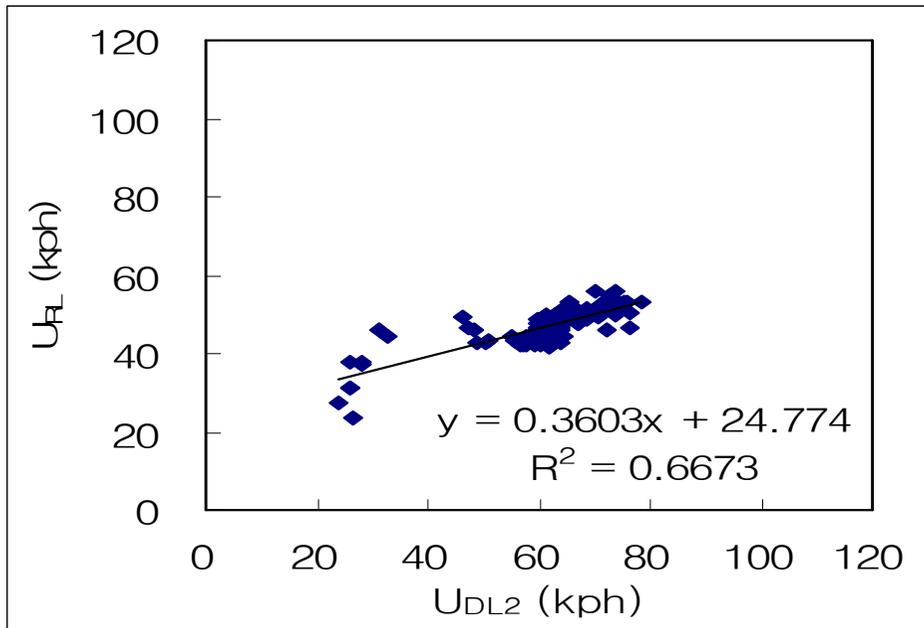
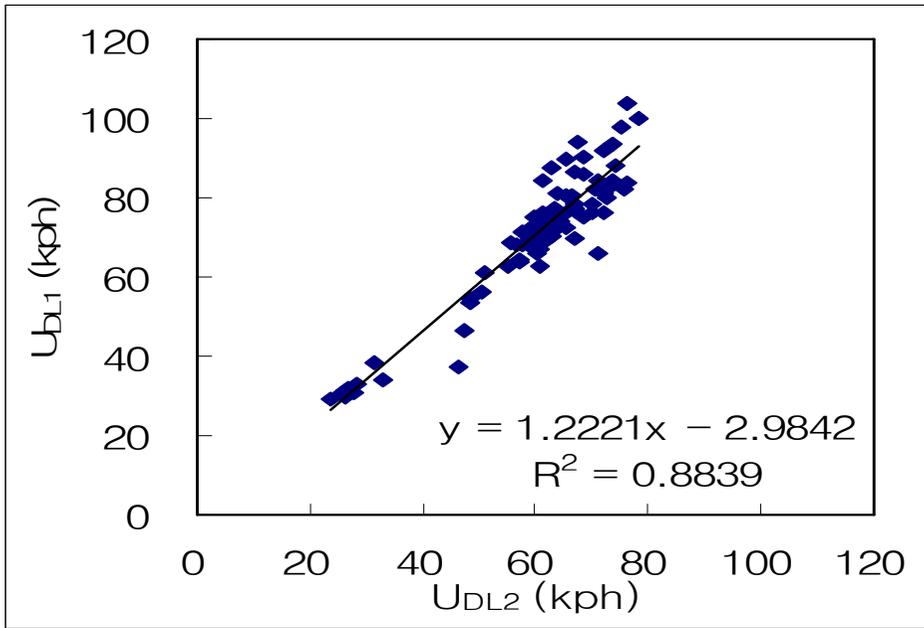


Fig. 4.4(B) Speed correlation models at on-ramp C

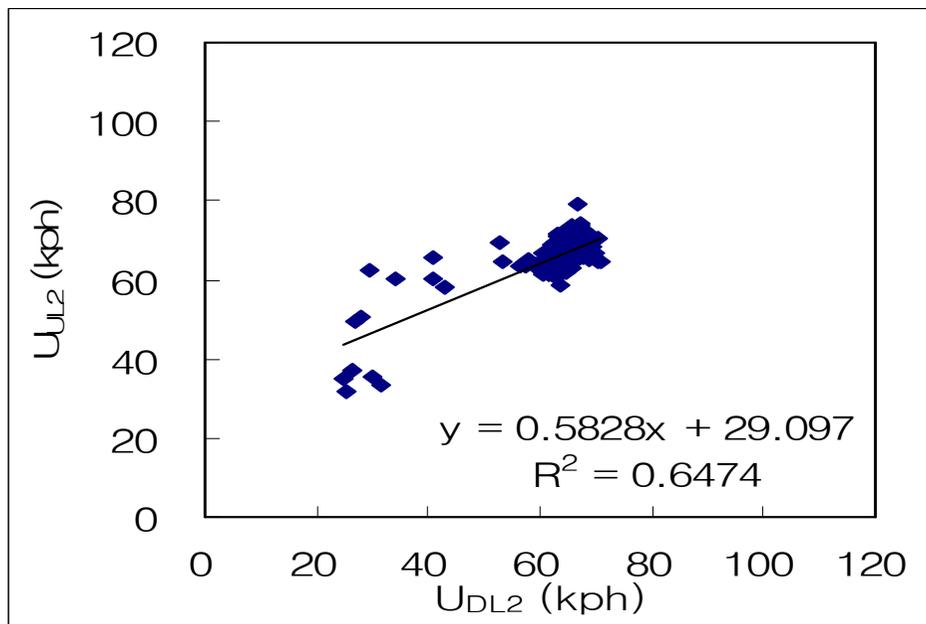
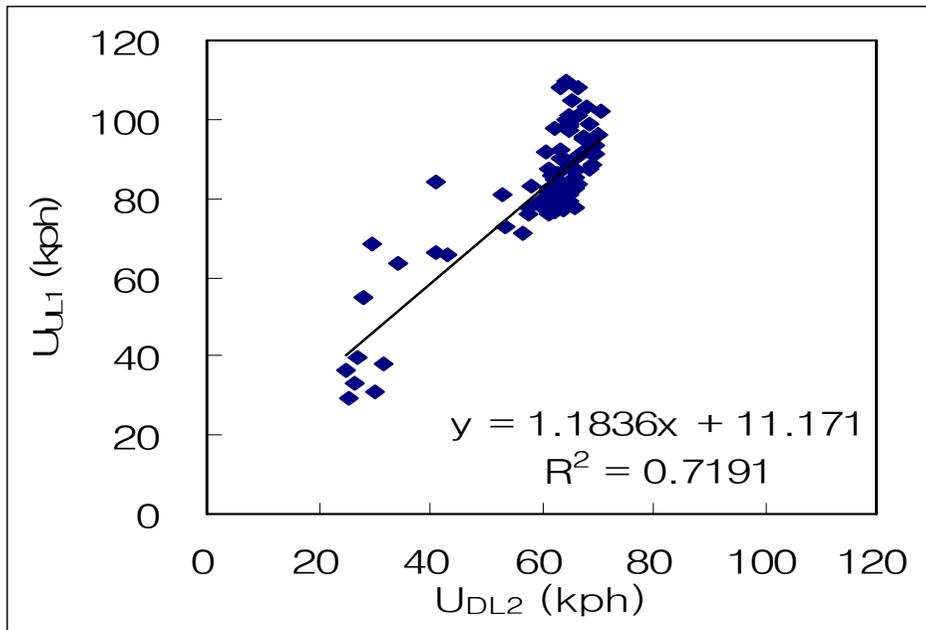


Fig. 4.5(A) Speed correlation models at on-ramp D

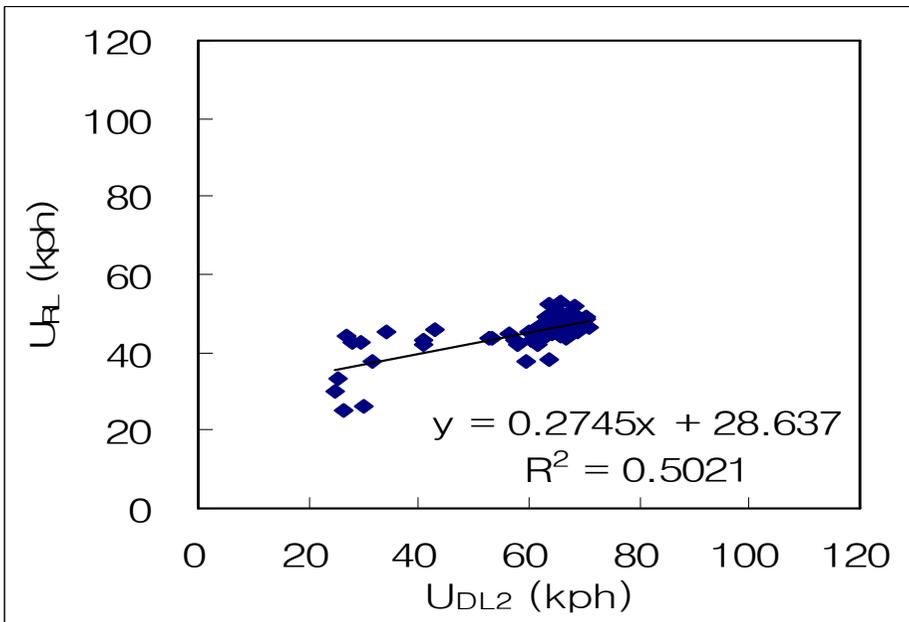
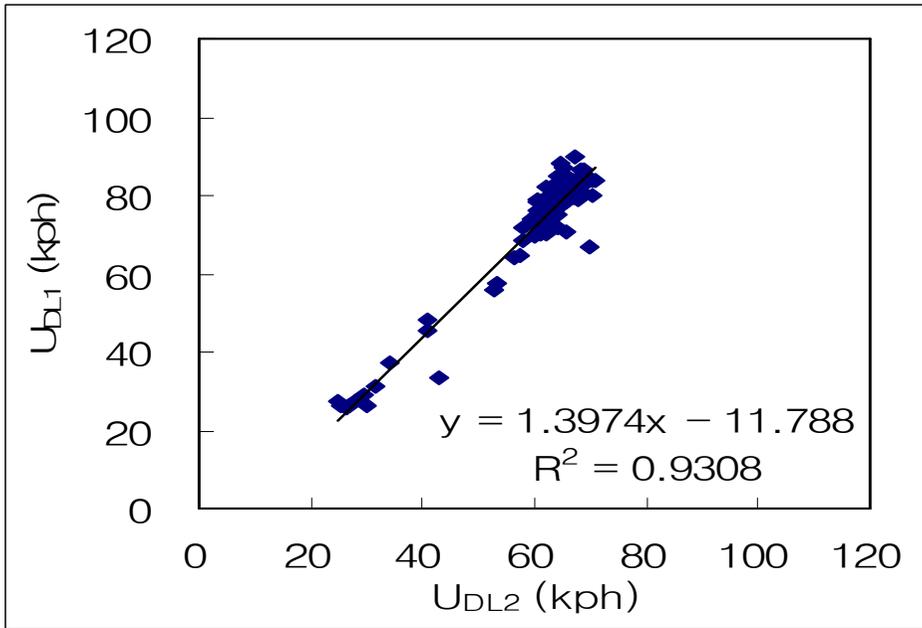


Fig. 4.5(B) Speed correlation models at on-ramp D

4.2 모형 검증

이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내 속도특성자료를 중심으로 구축된 속도특성 상관모형을 검증하기 위하여 t -test 분석과 상관관계분석이 이용되었다.

특히, 관측 속도와 모형에 의한 예측속도사이에 t -test의 검증결과, 아래의 Table 4.3에서 보는 바와 같이 유입연결로 C(망미)의 상류지점 2차로와 연결로 지점을 제외하고 95%의 신뢰수준(confidence level)하에서 유의확률(p -value)이 유의수준(significance level)보다 크게 나타나 실측속도와 예측속도사이에 속도차가 거의 없는 것으로 나타났고, 또한 상관관계분석의 결과, 아래의 Table 4.3과 Fig. 4.6~4.9에서 보는 바와 같이 도심과 부도심지역에 관계없이 모든 유입연결로에 대해 각 지점의 차로별 상관계수(r)값이 0.523~0.977로 나타나 실측속도와 예측속도사이에 상당히 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다. 따라서 이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내 각 지점의 차로별로 구축된 속도특성 상관모형은 상당히 유효하다는 것이 입증되었다.

Table 4.3 *t*-test results of the observed and expected speeds

On-ramp		<i>r</i>	<i>t</i> -value	<i>p</i> -value	Result
A	U_{UL1}	0.942	-0.104	0.917	Accept
	U_{UL2}	0.924	-1.454	0.149	Accept
	U_{DL1}	0.977	0.333	0.740	Accept
	U_{RL}	0.788	0.182	0.856	Accept
B	U_{UL1}	0.945	1.331	0.186	Accept
	U_{UL2}	0.911	1.551	0.124	Accept
	U_{DL1}	0.860	-0.413	0.681	Accept
	U_{RL}	0.834	-1.468	0.145	Accept
C	U_{UL1}	0.915	-1.135	0.259	Accept
	U_{UL2}	0.899	-4.432	0.000	Reject
	U_{DL1}	0.939	-0.623	0.535	Accept
	U_{RL}	0.822	4.348	0.000	Reject
D	U_{UL1}	0.671	0.149	0.882	Accept
	U_{UL2}	0.602	0.345	0.731	Accept
	U_{DL1}	0.940	1.955	0.053	Accept
	U_{RL}	0.523	0.137	0.891	Accept

Note: 1) *t*-검정통계량(*t*-value)과 유의확률값(*p*-value)은 유의수준($\alpha/2$) 0.025에서 *t*-test 양측 검정 결과 값임.

2) Accept : 유의확률(*p*-value) > 유의수준($\alpha/2 = 0.025$)이면, 귀무가설이 채택(accept)되는 것을 의미하는 것으로 즉, 「실측속도와 예측속도 간에 속도차이가 나지 않는다.」는 것을 의미함.

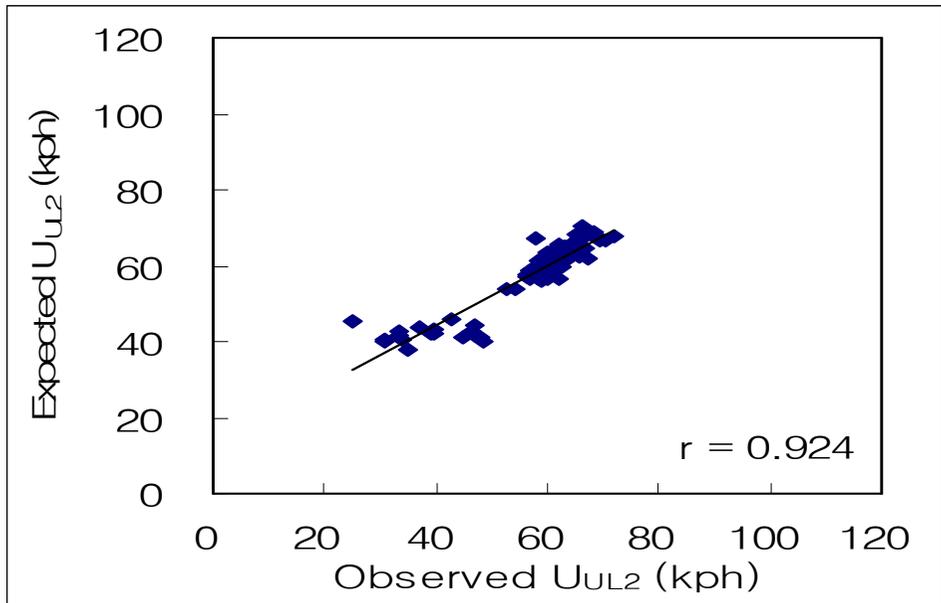
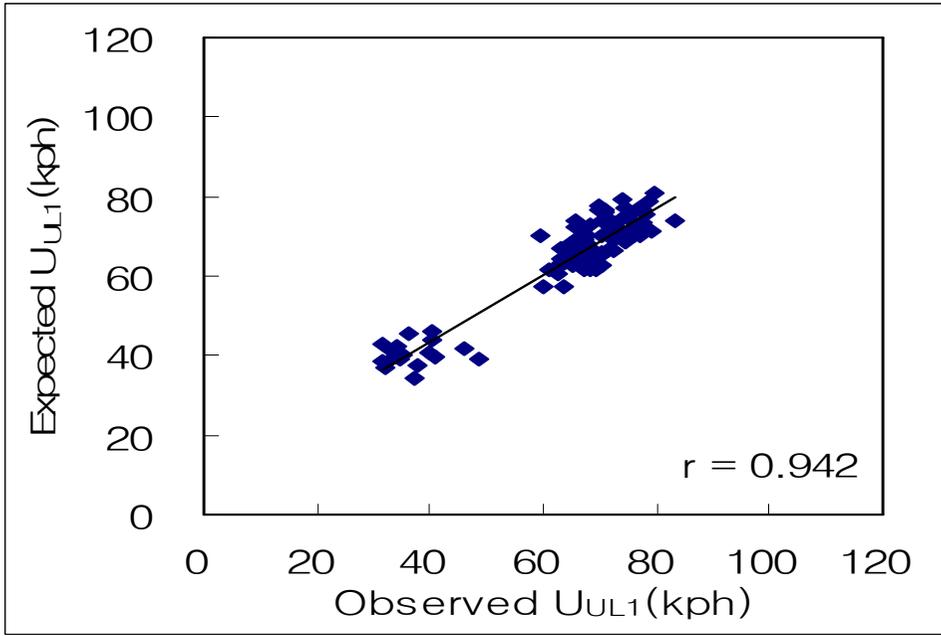


Fig. 4.6(A) Model validation at on-ramp A

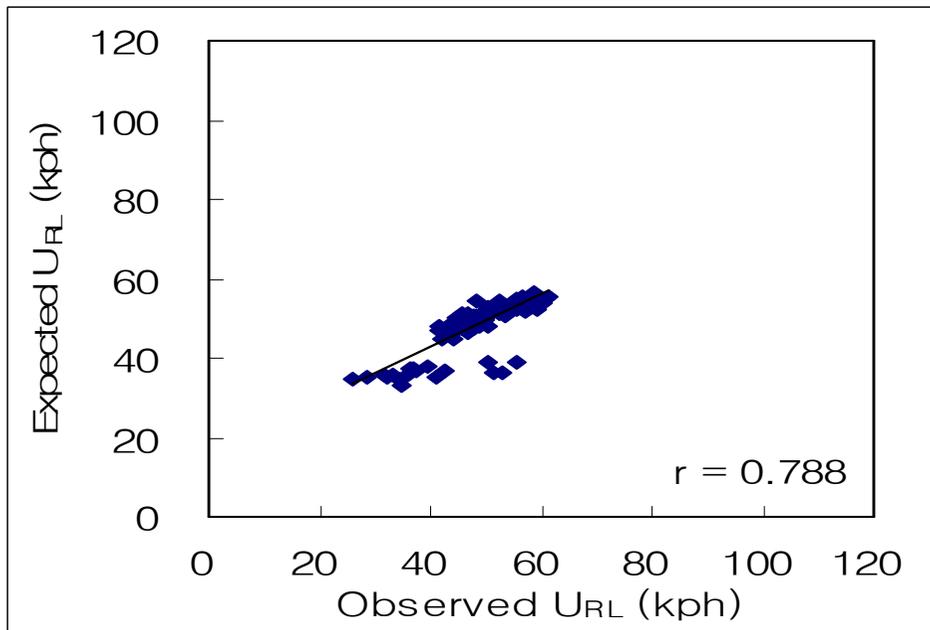
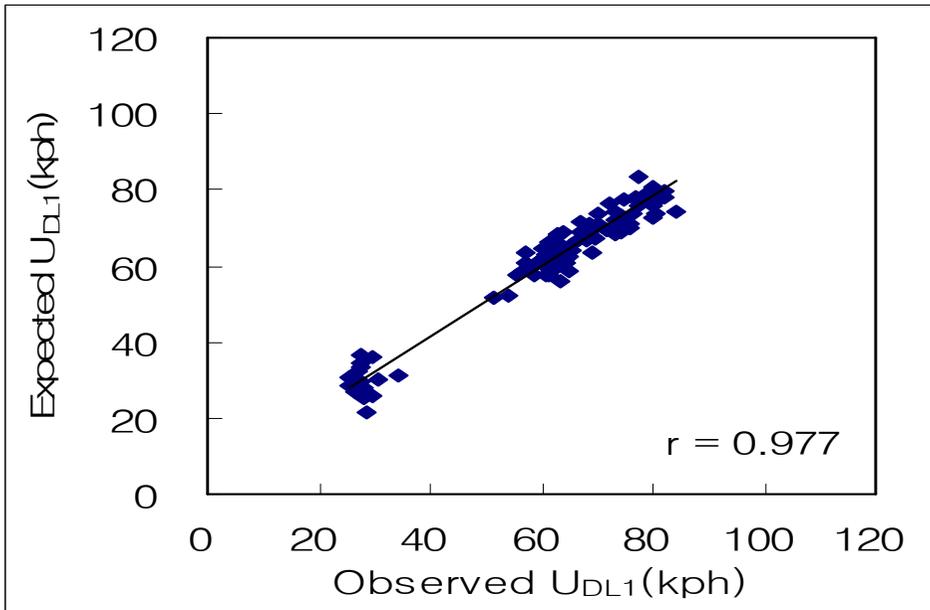


Fig. 4.6(B) Model validation at on-ramp A

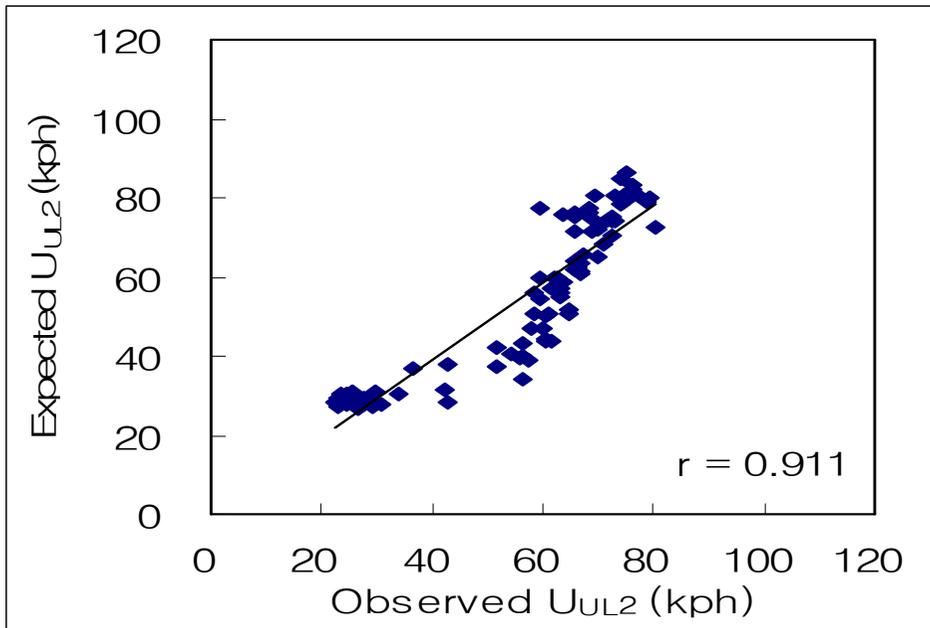
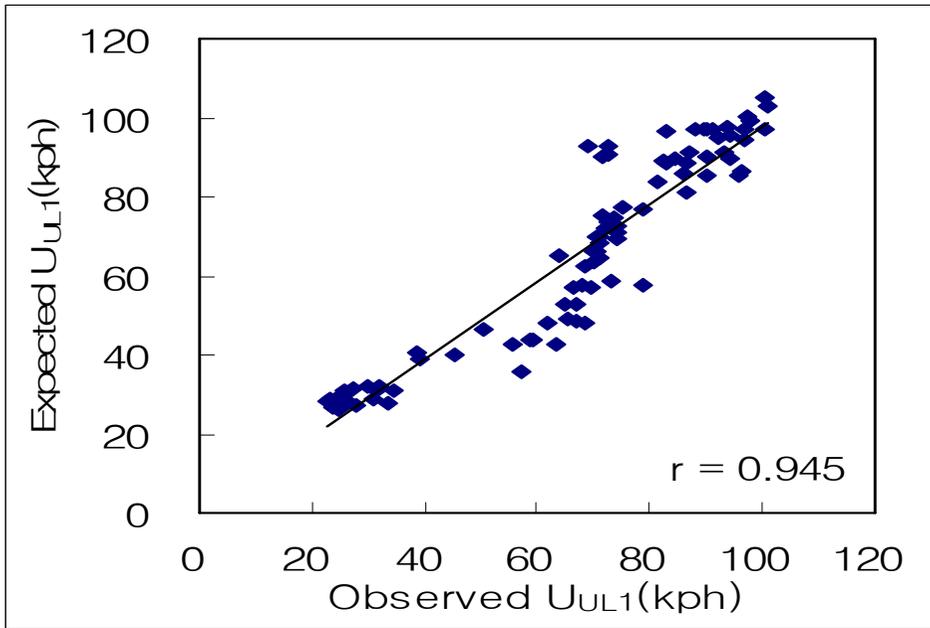


Fig. 4.7(A) Model validation at on-ramp B

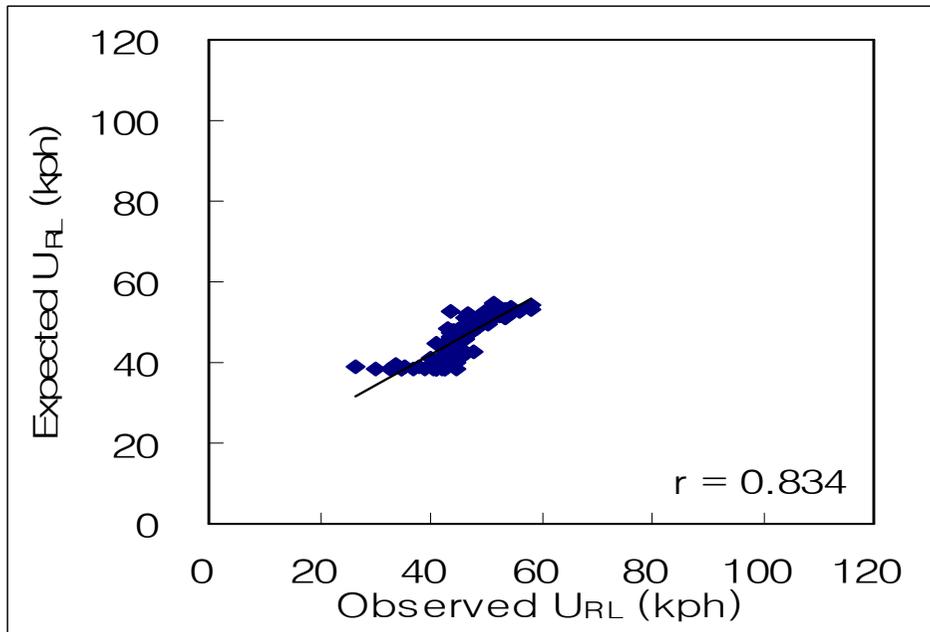
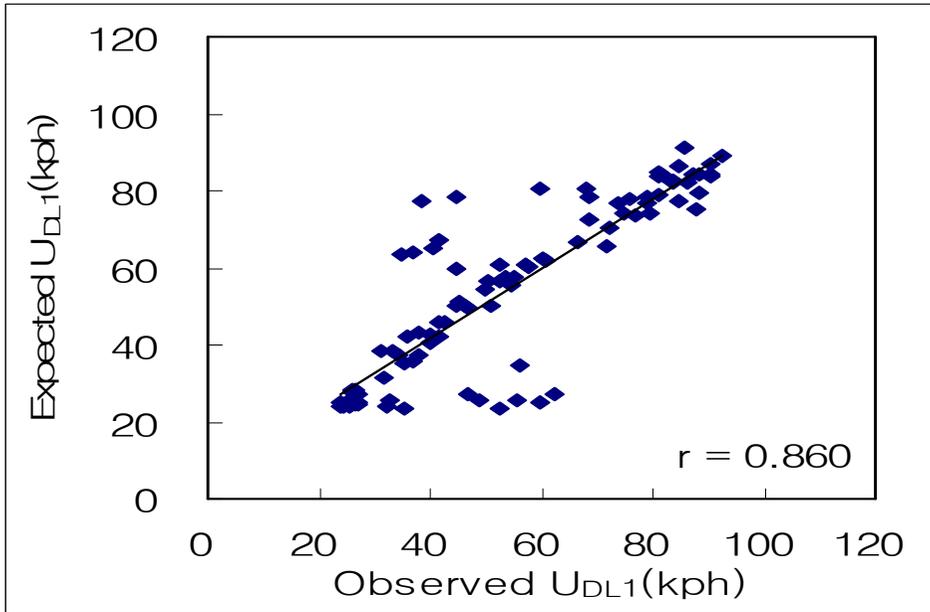


Fig. 4.7(B) Model validation at on-ramp B

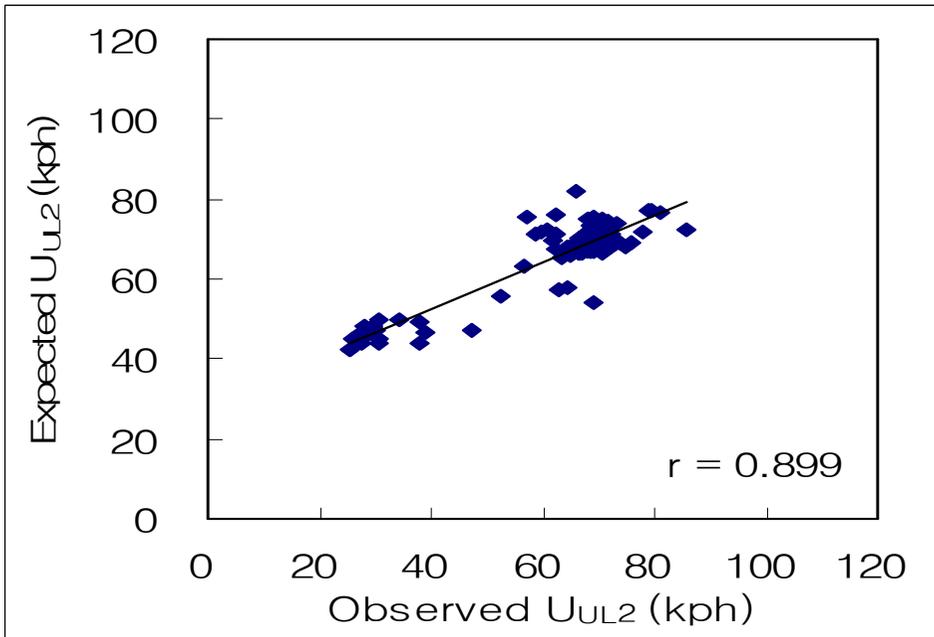
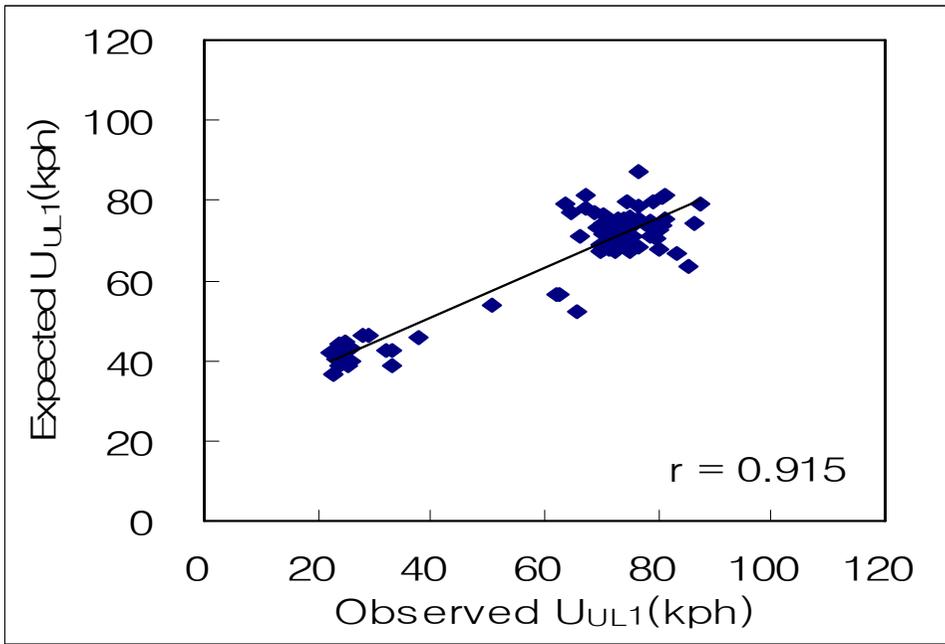


Fig. 4.8(A) Model validation at on-ramp C

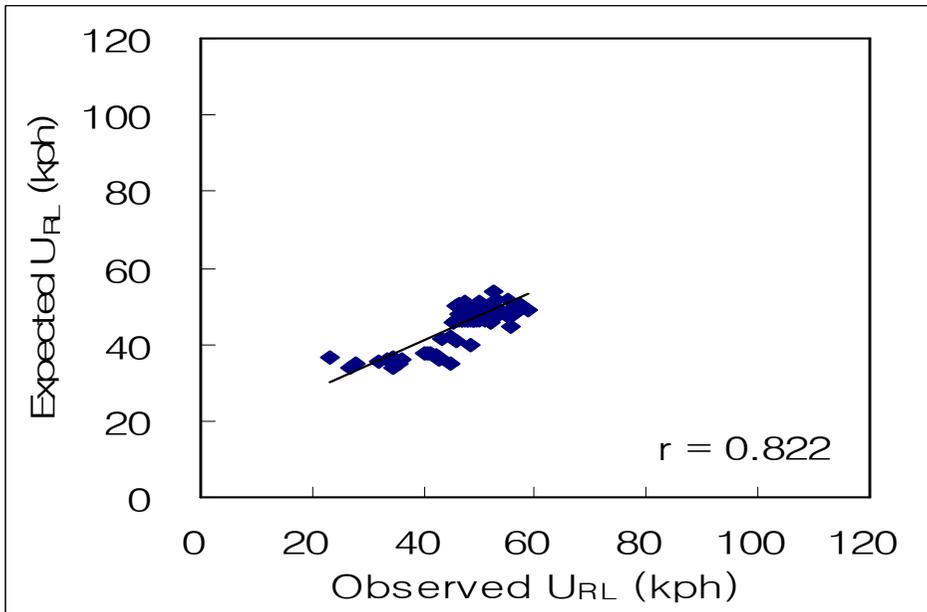
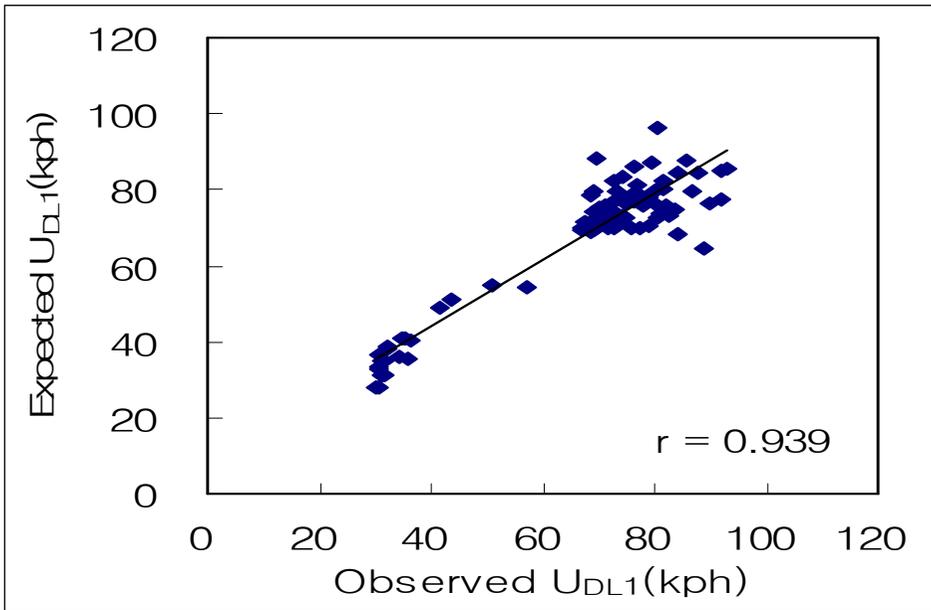


Fig. 4.8(B) Model validation at on-ramp C

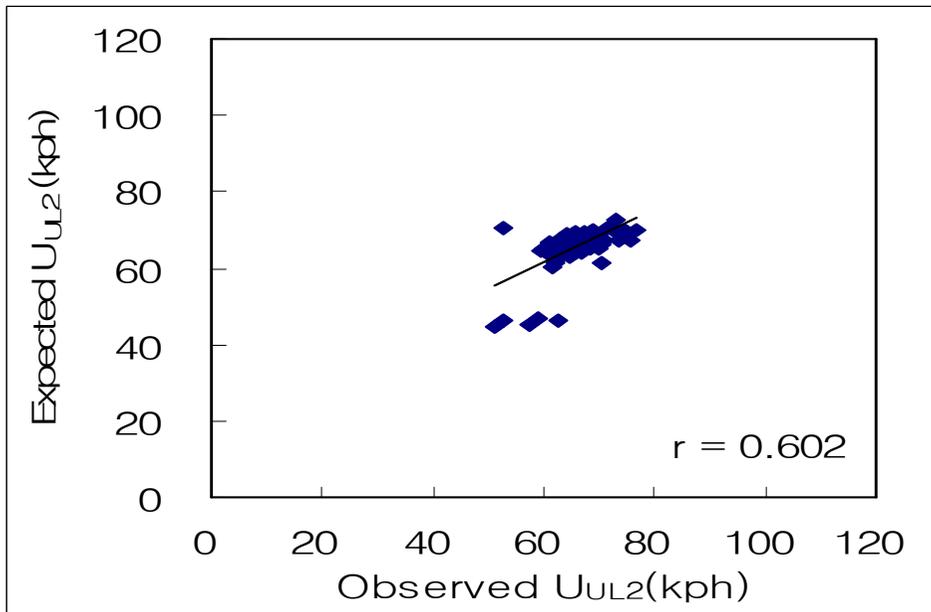
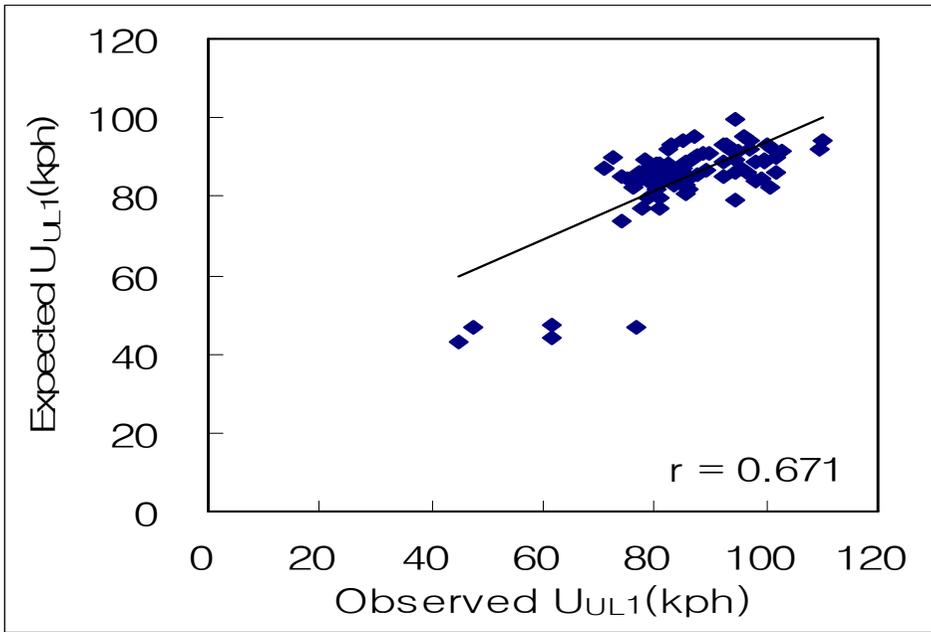


Fig. 4.9(A) Model validation at on-ramp D

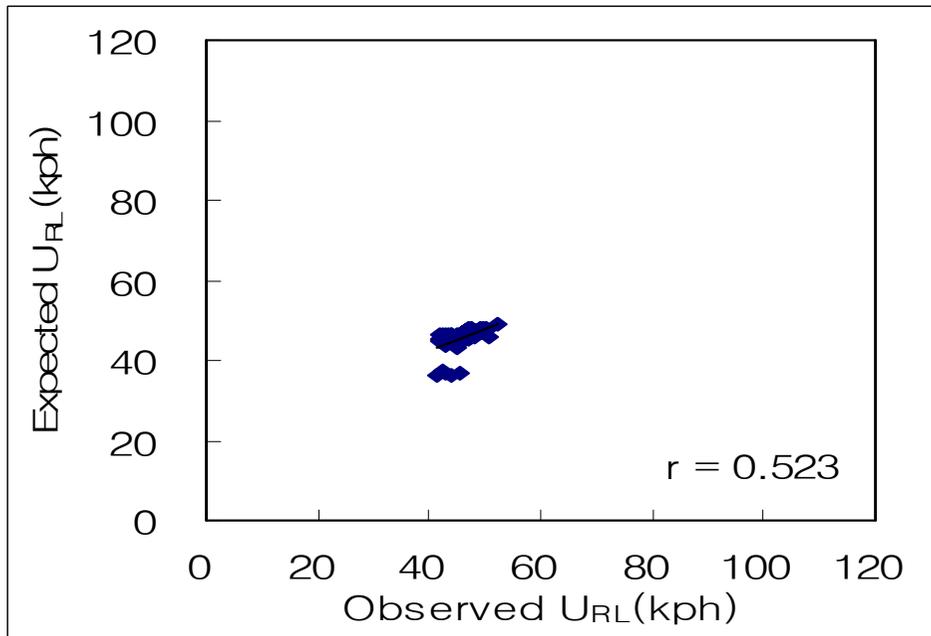
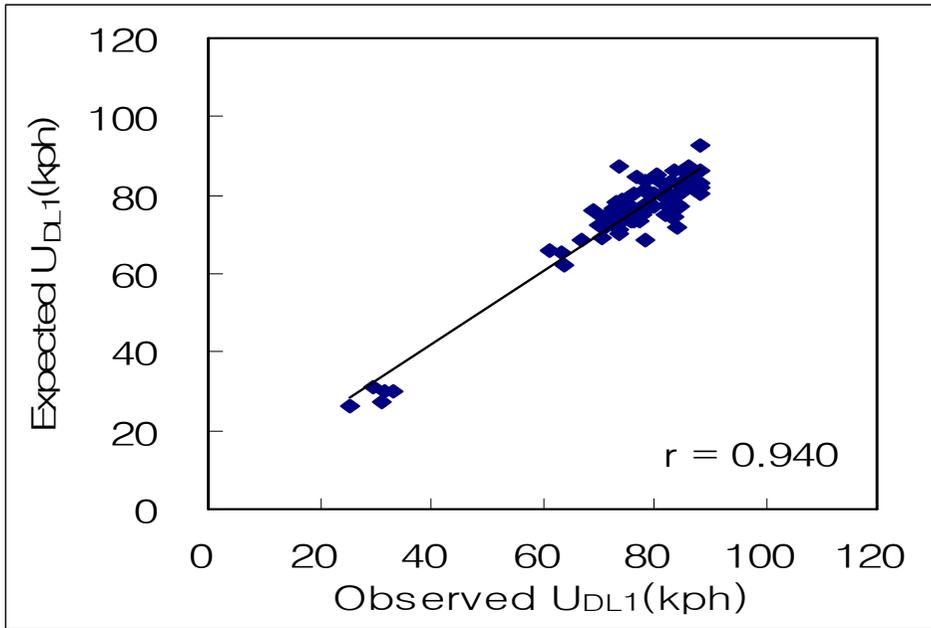


Fig. 4.9(B) Model validation at on-ramp D

5. 결 론

이 연구대상 도시고속도로의 유입연결로 접속영향권내 각 지점의 차로별 교통특성분석과 속도의 상관모형의 구축 및 검증을 통해서 다음과 같은 결론에 도달하게 되었다.

- i) 도시고속도로의 유입연결로 합류영향권내 각 지점의 차로별 교통특성분포는 현저한 차이를 보임으로써 각 지점의 차로별 교통특성분석의 필요성이 제기되었고, 특히 각 지점의 차로별 용량에서는 도시고속도로의 본선 차로용량과 비교하였을 때 약 5~30%정도 감소되는 것으로 나타났다.
- ii) 도시고속도로에 있어서 도심과 부도심지역에 근접한 유입연결로 합류영향권내 각 지점의 차로별 속도에 대한 밀도변화의 영향이 상당히 낮게 나타났다고, 도심과 부도심지역사이의 유입연결로에서는 각 지점의 차로별 속도에 대한 밀도변화의 영향이 다소 높게 나타났다.
- iii) 도시고속도로의 유입연결로 합류영향권내 각 지점의 차로별 속도특성 상관모형에서 하류지점 1차로와 상류지점 1차로의 속도특성은 하류지점 2차로의 속도특성과 높은 상관특성을 보이는 것으로 나타났다.
- vi) 도시고속도로의 유입연결로 합류영향권내 하류지점 1차로와 상류지점 1차로의 속도특성 상관모형의 결정계수(R^2)가 0.7191~0.9738로 높게 나타났고, 또한 상관계수(r)가 0.602~0.945로 높게 나타남으로써 모형의 유효성이 입증되었다.
- v) 따라서 도시고속도로의 유입연결로 합류영향권내 하류지점 2차로의 교통특성이 나머지 지점의 교통특성에 상당한 영향을 끼치는 점과 연결로지점의 최대 교통류율을 고려할 때 출퇴근시간대에 한하여 각 지점의 차로별 교통특성이 반영된 램프미터링 시스템(ramp metering system)이나 실시간 가변정보표지판(variable message sign, VMS)과 같은 교통관리체계

구축이 필요할 것으로 판단되었다.

향후 보다 신뢰성 있는 속도특성 상관모형을 구축하기 위해서는 혼잡계수로
서 도시고속도로의 유입연결로 합류영향권내 기하구조특성, 운전자의 운전행태
그리고 기후조건 등을 반영한 속도특성 상관모형의 구축이 필요할 것으로 사려
된다.

참 고 문 헌

- 1) 건설교통부, 도로용량편람, 2005.
- 2) 김태곤, 문병근, 이주철, Fady M. A. Hassouna, 차로별 속도특성을 고려한 도시고속도로의 합류영향권내 속도상관모형에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제27권, 제4D호, 2007. 07
- 3) AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, Washington, D. C., 2001.
- 4) Gerlough, D.L., and Huber, M.L., Traffic Flow Theory: A Monograph, Special Report 165, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., 1975.
- 5) Greenshields, B.D., A Study of Traffic Capacity, Proceedings of the Highway Research Board, Vol. 14, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., 1935
- 6) Masao, K., Masaki, K., and Takashi, S., Capacity and Speed of Weaving Sections of the Tokyo Metropolitan Expressway, ITE Journal, Institute of Transportation Engineers, Washington, D. C., 1991.
- 7) May, A. D., Traffic Flow Fundamentals, Prentice-Hall, 1990.
- 8) Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, 2000