

도시고속도로의 유입연결로 합류영향권내 밀도추정모형 구축에 관한 연구 - 부산광역시 번영로를 대상으로 -

Density Predictive Model within the On-Ramp Merge Influence Areas of Urban Freeway

- Based on the Beonyoungro in the Metropolitan City of Busan -

김태곤* · 표종진** · 권미현*** · 조인국****

Kim, Tae Gon · Pyo, Jong Jin · Kwon, Mi Hyun · Jo, In Kook

Abstract

Density is used as the measure of effectiveness within the ramp junction influence area suggested in the KHCM 2005 in the LOS analysis of the ramp junction, and also density predictive models suggested in the KHCM 2005 is constructed based on the expressway with the speed limit of 100km/h or 110km/h in Korea. So, the density predictive models suggested in the KHCM 2005 are needed to verify if the models could be applied to the urban freeway with the speed limit of 80km/h or less, because the speed limits on most of the urban freeways in Korea are 80km/h or less. The purpose in this study is to construct and verify the appropriate density predictive model within the on-ramp merge influence area of the urban freeway by comparing with the USHCM 2000 and KHCM 2005 models.

Keywords : urban freeway, measure of effectiveness, on-ramp, merge influence area, density predictive model

요 지

국내의 경우 현재 연결로 접속부의 서비스수준 분석은 2005년에 제정된 우리나라의 도로용량편람(KHCM)에서 제시하고 있는 영향권 내 밀도를 효과적으로 하여 분석하고 있다. 국내의 경우 현재 연결로 접속부의 서비스수준 분석은 2005년에 개정된 KHCM에서 제시하고 있는 영향권 내 밀도를 효과적으로 하여 분석하고 있다. KHCM의 영향권 내 밀도추정모형은 고속도로만을 대상으로 구축된 것으로 도시고속도로와는 특성의 차이가 상당하여 KHCM에서 제시한 모형을 도시고속도로에 적용하는데 검증이 필요한 것으로 판단된다. 따라서 이 연구의 목적은 고속도로와는 다른 특성을 가진 도시고속도로상의 유입연결로 합류영향권내 실시간 교통특성 자료를 바탕으로 연결로 접속부의 서비스수준 평가를 위한 효과적이며 영향권 내 밀도를 보다 정확하게 추정하는 분석모형을 개발하고 2005년 의 KHCM모형과 더불어 2000년에 개정된 미국의 도로용량편람(USHCM)에서 제시하고 있는 모형을 도시고속도로(번영로)에 적용하여 그 타당성을 검토하는데 있다.

핵심용어 : 도시고속도로, 효과적도, 유입연결로, 합류영향권, 밀도추정모형

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

도시고속도로는 지역 간을 연결하는 고속도로와 같이 기본 구간, 잇달림구간, 연결로 및 연결로 접속부로 구성되어 있다. 하지만 도시고속도로는 도심부에 위치함으로 인해 토지 이용의 한계, 도로연장 및 제한속도, 구배, 폭원 등이 고속 도로와 현저한 차이가 있고 또한 정체와 비정체 영역의 구

분이 명확하며 높은 통행수요와 통행장이 짧은 특징이 있다 (김갑수 등, 1998).

이와 같이 도시고속도로는 고속도로와는 다른 특성을 가진 다고 할 수 있으나 국내의 경우 도시고속도로에 관한 연구가 미비하여 설치기준이나 교통관리체계(urban freeway traffic management system, UFTMS)가 거의 수립되어 있지 않는 실정이다.

특히, 도시고속도로의 연결로 접속부상에서 연결로를 통한

*정희원 · 한국해양대학교 건설 · 환경공학부 교수 (E-mail : tkg@hhu.ac.kr)

**정희원 · (주)한맥기술 도로부 사원 · 공학석사 (E-mail : piossy@hanmail.net)

***정희원 · 한국해양대학교 토목환경공학과 석사과정 (E-mail : a28209@hanmail.net)

****정희원 · 한국해양대학교 토목환경공학과 박사과정 (E-mail : inkook@poscoenc.com)

유입 또는 유출하는 차량들과의 상충 및 엇갈림으로 인해 본선 교통류의 차로변경과 감속이 기본구간에 비해 더 자주 발생하고 있어 많은 교통 혼잡 및 교통사고가 발생하고 있다. 또한 차량의 차로변경과 속도 감소정도는 유입부에서 더 크게 나타나고 있는 반면, 유출부에 있어서는 해당 서비스도로의 교통여건에 따라 다소 차이가 있겠으나 거의 영향을 받지 않는 것으로 알려져 있다. 이러한 유입연결로 접속부의 원활한 소통과 안전을 위해서는 정확한 서비스수준 분석이 필요할 것으로 판단된다.

국내의 경우 현재 연결로 접속부의 서비스수준 분석은 2005년에 개정된 우리나라의 도로용량편람(이하, KHCM)에서 제시하고 있는 영향권 내 밀도를 효과적으로 하여 분석하고 있다. KHCM의 영향권 내 밀도추정모형은 고속도로만을 대상으로 구축된 것으로 앞서 언급했듯이 도시고속도로와는 특성의 차이가 상당하여 KHCM에서 제시한 모형을 도시고속도로에 적용하는데 검증이 필요한 것으로 생각된다.

따라서 이 연구의 목적은 고속도로와는 다른 특성을 가진 도시고속도로상의 유입연결로 접속부 합류영향권내 실시간 교통특성 자료를 바탕으로 연결로 접속부의 서비스수준 평가를 위한 효과적이며 영향권 내 밀도를 보다 정확하게 추정하는 분석모형을 개발하고 KHCM 모형과 더불어 2000년에 개정된 미국의 도로용량편람(이하, USHCM)에서 제시하고 있는 모형을 도시고속도로(번영로)에 적용하여 그 타당성을 검토하는데 있다.

1.2 자료수집

이 연구에서는 부산지역을 남북축으로 가로지르며 도심과 부도심지역을 연결하는 부산의 제1도시고속도로인 번영로에서 연결로를 통해 차량이 본선으로 유입되는 합류부 4곳을 연구대상 지점으로 선정하였다.

이 연구대상지역인 도시고속도로(번영로)는 양방향 4차로의 입체도로시설로 7개의 유입연결로, 7개의 유출연결로와 5개소의 터널로 구성되어 있으며, 제한속도는 본선에서 80km/h, 연결로에서 50km/h로 운영되고 있으며, 차량의 과속을 통제하기 위하여 본선 상에 방향별로 각각 3개의 속도 감시카메라가 설치되어 있다. 특히 이 도시고속도로의 유입연결로 접속부 합류영향권내 기하구조특성 및 검지기의 설치 위치는 Fig. 1과 Table 1과 같다.

이 연구를 위해 도시고속도로의 도심지역과 부도심지역에

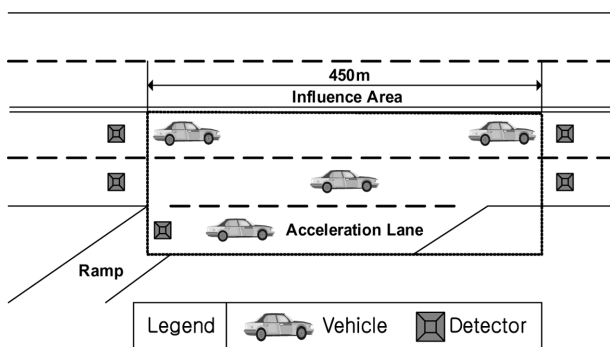


Fig. 1. Geometry and Equipments of on-ramp under the study

Table 1. Geometric characteristics of the study section

On-ramp	A	B	C	D
Location	Munhyeon	Daeyeon	Mangmi	Wondong
Length(m)	130 (70+60)	230 (170+60)	120 (80+40)	235 (170+65)
Direction	부도심		도심	
Type of acceleration lane	평행식			
No. of mainline lanes	2			
No. of ramp lanes	1			
Width of mainline lane(m)	3.7			
Width of ramp lane(m)	3.7~5.0			

서 각각 2개씩 4개의 유입연결로(도심지역은 문현(A)과 대연(B), 부도심지역은 망미(C)와 원동(D))가 선정되었으며 선정된 유입연결로의 합류영향권내 5개 지점(상류부 1, 2차로, 하류부 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 사용되었으며 자료의 비교·분석과 모형의 구축·검증을 위해 MS Office 2003과 SPSS(Ver. 12.0)가 실시간 자료와 함께 사용되었다.

도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침(건설교통부, 2000. 3)에 따르면 본선 설계속도 80km/h, 연결로 설계속도 50km/h인 경우 가속차로의 길이는 최소 100m, 변이구간의 길이는 최소 60m로 권장하고 있으나, 이 연구대상 유입연결로 중 연결로 A와 C는 Table 1에서와 같이 최소기준에 비해 다소 부족한 것으로 나타났다.

2. 교통특성 분석

이 연구대상 합류영향권내 차로별/방향별 교통특성분석을 위해서 교통량(volume)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 분석

교통류율(flow rate)이란 단위시간동안에 검지기(NC-97)를 통과한 차량대수를 중 차량 보정계수를 고려한 승용차 환산대수로서 단위는 passenger car per hour(pc/h)로 표현되고, 이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내 교통류율은 1시간 단위의 교통량으로서 다음과 같이 산정되었다.

$$q_i = \frac{v_i}{f_{HV}} \quad (1)$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + p_m(1 - e_m) + p_l(1 - e_l)} \quad (2)$$

$$q = \sum_{i=1}^4 q_i \quad (3)$$

여기서, v_i : 15분 단위시간의 교통류율(veh/15min)

f_{HV} : 중 차량 보정계수

p_m : 중형차량(6m~12m)의 비율(%)

p_l : 대형차량(12m 이상)의 비율(%)

e_m : 중형차량의 승용차 환산계수(1.5)

e_l : 대형차량의 승용차 환산계수(2.0)

q : 1시간 단위시간의 교통류율(pc/h)

q_i : 15분 단위시간의 교통류율(pc/15min)

한편 이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내 교통류율의 특성분석결과를 살펴보면, 도심지역에 근접한 유입연결로 A(문현)에서는 오전출근시간대보다 오후퇴근시간대에 교통량이 집중되었고, 부도심지역에 근접한 유입연결로 D(원동)에서는 오후퇴근시간대보다 오전출근시간대에 교통량이 집중되었다. 그러나 도심과 부도심지역사이의 유입연결로 B(대연)와 C(망미)에서는 뚜렷한 교통량의 집중현상을 보이지 않는 것으로 나타났다. 또한, 출퇴근시간대를 전후하여 도심과 부도심 지역에 근접한 유입연결로에서는 교통량이 급격하게 변화하는 것으로 나타났지만, 도심과 부도심지역사이의 유입연결로에서는 교통량의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

특히, 이 연구대상 유입연결로 접속부 합류영향권내 평균 교통량은 대체적으로 700~1,100pc/h 범위 내에 분포되는 것으로 나타났고, 최소 교통량과 최대 교통량은 각각 100~200pc/h와 1,200~2,000pc/h 정도로 뚜렷한 차이를 보였다. 또한, 출퇴근시간대에 교통량은 유입연결로 A에서는 1,200~1,600pc/h, 유입연결로 B에서는 1,600~1,800pc/h, 유입연결로 C에서는 1,800~2,000pc/h, 유입연결로 D에서는 1,200~1,400pc/h를 보

이는 것으로 나타났다(참조 Table 2, Fig. 2).

2.2 속도 분석

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.

$$u_s = \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{\sum_{i=1}^n u_i} \quad (4)$$

여기서, u_s : 공간평균속도(km/h)

u_i : 속도등급 내 평균속도(km/h)

f_i : 속도등급 내 도수

n : 속도등급 수

한편 이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내에서 산정된 속도의 특성분석결과를 살펴보면, 도심지역 부도심방향의 유입연결로 접속부 A(문현)와 B(대연)는 오후침두시에 정체 발생으로 나타났지만 부도심지역 도심방향의 유입연결로 접속부 C(망미)와 D(원동)에서는 오전침두시에 정체가 심화되는 것으로 나타나 방향별로 서로 다른 속도특성을 보였다(참조 Table 3, Fig. 3).

특히, 모든 연구대상 유입연결로 접속부에서 통행량이 집중되는 시간대에 속도가 30km/h이하로 현저하게 감소됨으로써 정체가 심화되고 있음을 확인할 수 있었다.

Table 2. Results of flow characteristic analysis

on-ramp	Flow rate(pc/h)			
	Min.	Max.	Avg.	Peak period
A	100~150	1,200~1,600	800~900	1,200~1,600
B	150~200	1,600~1,800	1,000~1,100	1,600~1,800
C	150~200	1,800~2,000	1,000~1,100	1,800~2,000
D	100~150	1,200~1,400	700~800	1,200~1,400

Table 3. Results of speed characteristic analysis

on-ramp	Speed(km/h)			
	Min.	Max.	Avg.	Peak period
A	25~35	65~75	45~55	65~75
B	20~30	70~80	40~50	70~80
C	20~30	70~80	45~55	70~80
D	20~30	70~80	55~65	70~80

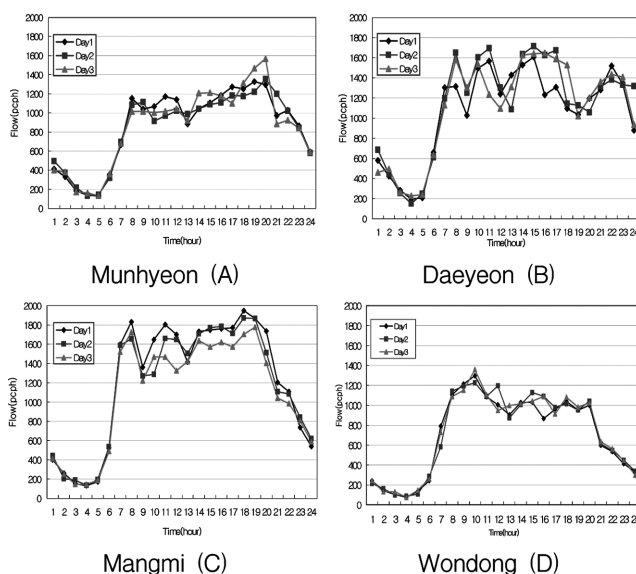


Fig. 2. Flow distribution

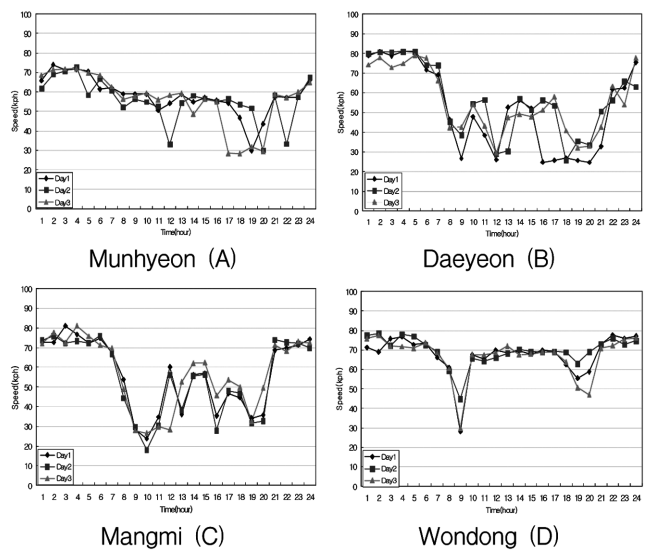


Fig. 3. Speed distribution

2.3 밀도 분석

밀도(density)란 단위구간 내 통행차량수로서 단위는 passenger car per kilometer(pc/km)로 표현되며, 차두거리의 역수로서 다음과 같이 산정되었다.

$$s_h = t_h \times u_t \quad (5)$$

$$k = \frac{1}{s_h \times f_{HV}} \quad (6)$$

여기서, s_h : 차두거리(m)
 t_h : 차두간격시간(sec)
 u_t : 지점평균속도(km/h)
 k : 평균밀도(pc/km)

한편, 이 연구대상 유입연결로 접속부 합류영향권내 평균 밀도는 다음과 같이 산정하였다.

$$k_1 = \frac{k_{U1} + k_{D1}}{2} \quad (7)$$

$$k_2 = \frac{k_{U2} + k_{D2}}{2} \quad (8)$$

$$D_{MR} = \frac{k_1 + k_2 + k_3}{3} \quad (9)$$

여기서, k_{U1} : 상류부 1차로의 밀도(pc/km)
 k_{U2} : 상류부 2차로의 밀도(pc/km)
 k_{D1} : 하류부 1차로의 밀도(pc/km)
 k_{D2} : 하류부 2차로의 밀도(pc/km)
 k_1 : 접속차로부터 첫 번째 차로의 밀도(pc/km)
 k_2 : 접속차로부터 두 번째 차로의 밀도(pc/km)

Table 4. Density on the on-ramps under the study

on-ramp	Density(pc/km)			
	Min.	Max.	Avg.	Peak period
A	2~3	30~40	15~25	30~40
B	2~3	50~60	20~30	50~60
C	2~3	50~60	15~25	50~60
D	2~3	30~40	15~25	25~35

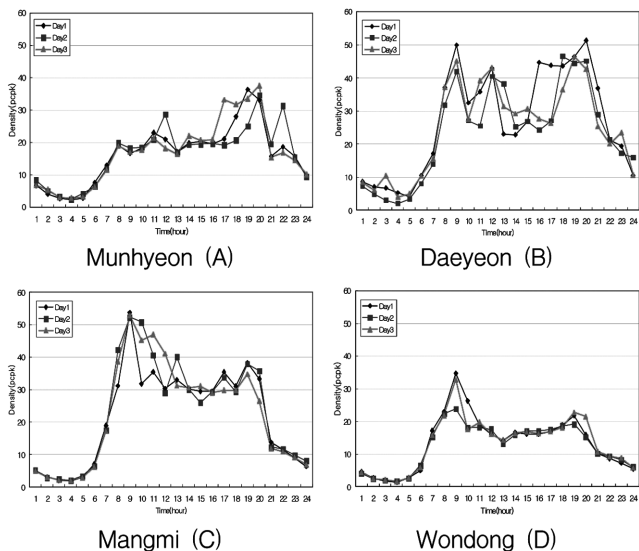


Fig. 4. Density distribution

k_3 : 연결로의 유입밀도(pc/km)
 D_{MR} : 합류영향권내 평균 밀도(pc/km)

이 연구대상 유입연결로의 합류영향권내 밀도의 특성분석 결과를 살펴보면, 도심지역 부도심방향의 유입연결로 접속부 A(문현)와 B(대연)는 오후침두시에 높은 밀도를 나타냈고, 부도심지역 도심방향의 유입연결로 접속부 C(망미)와 D(원동)에서는 오전침두시에 높은 밀도를 보이면서 차량이 집중하는 것으로 나타났다. 또한 출퇴근시간대를 전후하여 대략 150~500%정도의 급격한 밀도 증가를 보였다.

특히, 이 연구대상 유입연결로 접속부 합류영향권내의 평균밀도는 대체적으로 15~30pc/km 범위 내에 분포되는 것으로 나타났고, 최소밀도는 대략 2~3pc/km 범위 내에 분포되는 것으로 나타났으며, 최대밀도는 유입연결로 A와 D에서 30~40pc/km, 유입연결로 B와 C에서 50~60pc/km 범위로 나타났다(참조 Table 4, Fig. 4).

3. 교통특성의 상호관계

이 연구대상 도시고속도로의 유입연결로 접속부 합류영향권내 교통특성의 상호관계를 파악하기 위하여 교통량과 속도, 교통량과 밀도의 상관 그래프를 비교·분석 하였다.

교통량과 속도관계에서는 아래의 Fig. 5에서 보는 바와 같이 교통량이 최대교통량(용량)에 도달할 때까지 교통량의 증가와 함께 속도가 점차 감소하였고, 최대교통량에 도달한 후 추가적인 교통량 유입과 더불어 속도는 급격히 감소한다는 사실을 확인할 수 있었다. 특히, 최대교통량의 경우 1200~1600pc/h로 나타나 KHCM에서 제시하고 있는 고속도로 기본구간의 설계속도가 80km/h일 때의 용량(2,000pc/h)보다 적어도 20% 이상 용량감소를 보이는 것으로 나타났다.

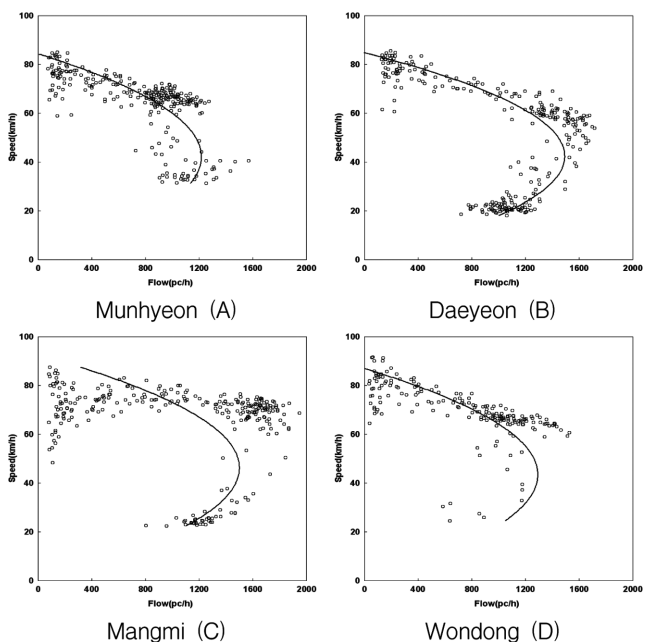


Fig. 5. Relationship between flow and speed

교통량과 밀도관계에서는 아래의 Fig. 6에서 보는바와 같이 최대교통량에 도달하기 전까지는 밀도증가와 함께 교통

량이 증가하였고, 최대교통량에 도달한 후에는 밀도증가와 함께 교통량도 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 최대교통량 상태에서 밀도를 살펴보면, 도심과 부도심지역에 근접한 유입연결로 A와 D에서는 최대교통량이 약 1200~1400pc/h 일 때 밀도가 대략 20~30pc/km 정도로 나타났고, 도심과 부도심지역사이의 유입연결로 B와 C에서는 최대교통량이 약 1600~1800pc/h 일 때 밀도가 대략 30~40pc/km 정도를 보이는 것으로 나타났다.

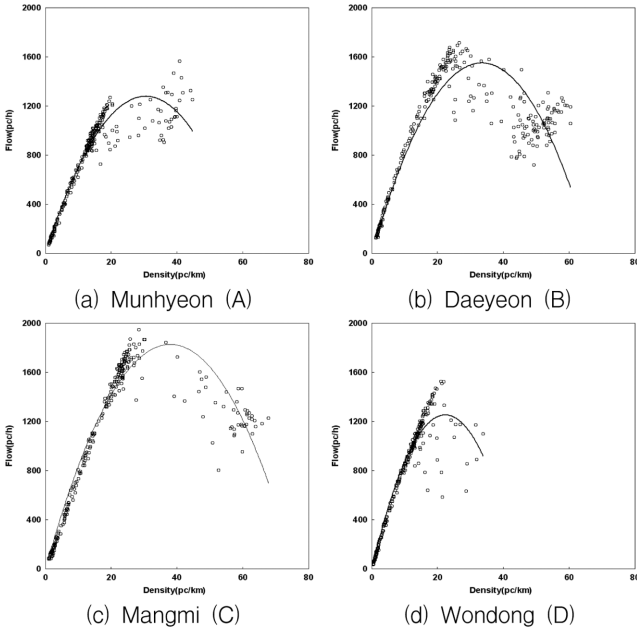


Fig. 6. Relationship between flow and density

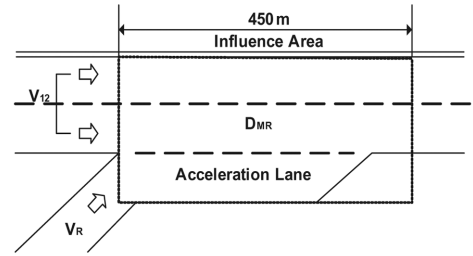
이 연구에서는 교통량과 밀도의 관계를 이용하여 용량 점에서의 밀도(임계밀도)를 기준으로 임계밀도보다 큰 경우를 불안정류(unstable flow)로 보고 불안정류를 제거한 안정류(stable flow) 자료를 바탕으로 모형의 구축과 검증을 시행하였다.

4. 모형 구축 및 검증

이 연구대상 도시고속도로의 유입연결로 접속부 합류영향권에 대한 밀도추정모형은 합류영향권내에서 수집된 교통특성자료와 함께 중 회귀분석(multiple regression analysis)을 이용하여 구축되었다. 모형검증은 *t-test* 분석과 상관관계분석(correlation analysis)을 통해 수행되었으며 또한 기존의 KHCM에서 제시하고 있는 모형과 USHCM에서 제시하고 있는 모형을 도시고속도로에 적용하는데 타당성을 검토해보았다.

4.1 모형구축

이 연구대상 도시고속도로의 유입연결로 접속부 합류영향권에서 밀도추정모형을 구축하기 위해 합류영향권 밀도에 영향을 미치는 설명 변수로 교통량 조건과 기하구조 조건에 해당하는 변수를 설정하였다. 교통량 변수로는 접속차로부터 2번째 차로까지의 교통량(V_{12})과 연결로 교통량(V_R)이 사용되었고, 기하구조 변수는 가속차로의 길이(L_A)가 사용되



Dependent variable ;

D_{MR} : Mean density in the merge influence area (pc/km/lane)

Independent variables ;

V_R : Ramp flow (pc/h)

V_{12} : Flow of lane 1 and 2 from adjacent lane (pc/h)

L_A : Length of acceleration lane (m)

Fig. 7. Sketch of on-ramp junctions and definition of the variables

었다.

$$D_{MR} = \beta_0 + \beta_1 \cdot V_R + \beta_2 \cdot V_{12} + \beta_3 \cdot L_A$$

여기서, β_0, \dots, β_3 : 회귀계수

한편 위의 밀도추정모형에서는 중 회귀분석이 사용되었고, 특히 중 회귀분석을 이용한 밀도추정모형에서 발생할 수 있는 다중공선성(multicollinearity)문제를 해결하기 위해서 시행착오(trial-and-error)과정이 도입되었다.

이 연구대상 유입연결로 접속부의 합류영향권에 대한 밀도추정모형의 구축결과, 모형의 결정계수(R^2)값이 0.986으로 모형구축에 상당한 설명력을 나타내었으며, 모형식에 대한 유의확률을 나타내는 F-통계량도 0.000으로 나타나 매우 유의한 것으로 분석되었다. 또한, 개별독립변수의 유의성을 나타내는 값들 역시 유의확률이 모두 0.000으로 매우 유의한 것으로 나타났으며, 연결로 교통량(V_R)과 접속차로부터 2번째 차로까지의 교통량(V_{12})이 증가함에 따라 합류영향권내 밀도가 증가하는 '+'부호를 나타냈고, 가속차로의 길이(L_A)가 증가함에 따라 합류영향권내 밀도가 감소하는 '-'부호를 나타냄으로써 회귀계수의 부호가 실제현상에 부합되며 합리적인 것으로 판단되었다(참조 Table 5).

Table 5. Density predictive model constructed

Density predictive model	
$D_{MR} = 1.02644 + 0.009646V_R + 0.005899V_{12} - 0.010058L_A$	
(0.000)	(0.000) (0.000) (0.000)
R^2	0.986
(Prob>F)	0.000

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

또한, 종속변수(D_{MR})에 영향을 미치는 독립변수의 기여도에 있어서는 연결로 교통량(V_R) 변수가 접속차로부터 2번째 차로까지의 교통량(V_{12}) 변수보다 회귀계수 값이 더 크게 나타나 V_R 변수의 영향이 더 큰 것으로 나타났는데 이는 KHCM모형과 USHCM모형에서 변수의 영향이 변수보다 높

은 것과 대조적이었다. 또한, KHCM모형은 가속차로의 길이 (L_A) 변수가 종속변수(D_{MR})에 영향을 미치는 정도가 다른 모형에 비해 상당히 낮게 나타났다.

그 이유는 KHCM모형은 제한속도 100~110km/h 상황에서 대체적으로 자유류 속도를 유지하는 고속도로를 대상으로 구축되었는데, 이 연구에서는 제한속도 80km/h 상황의 지·정체가 반복되는 도시고속도로를 대상으로 구축되었고, 가속차로의 길이가 건설교통부가 지정한 최소기준에 미달하는 구간도 나타났으며, 출퇴근시간대에 집중되는 교통특성으로 인하여 연결로를 통해 유입하는 차량이 본선차량의 통행에 많은 영향을 주기 때문으로 판단되었다(참조 Table 6).

Table 6. Regression coefficients by the models

Regression coefficients		Independent variables		
		V_R	V_{12}	L_A
Model	KHCM	0.003185 (2nd)	0.005989 (1st)	0.00101 (3rd)
	USHCM	0.00456 (3rd)	0.0048 (2nd)	0.01278 (1st)
	This study	0.009646 (2nd)	0.005899 (3rd)	0.010058 (1st)

Note : () = 모델별 회귀계수 기여도

4.2 모형검증

이 연구대상 도시고속도로의 유입연결로 접속부의 교통 특성자료를 중심으로 구축된 밀도추정모형을 검증하기 위하여 모형구축에 사용되지 않은 자료와 구축된 모형으로부터 추정된 자료를 바탕으로 구축된 모형이 실제상황에서 발생하는 현상들을 정확히 나타내는지 판단하기 위하여 *t-test* 분석과 상관관계분석이 이용되었다. 이와 함께 KHCM 모형으로부터 추정된 밀도와 관측밀도, 그리고 USHCM 모형으로부터 추정된 밀도와 관측밀도를 바탕으로 *t-test* 분석과 상관관계분석을 통하여 기존모형의 적용성 여부를 검토해 보았다.

1) 모형별 t-test 분석

이 연구대상 유입연결로에 대해 관측밀도(observed density)와 추정밀도(expected density) 사이의 모형별 *t-test*

Table 7. t-test results of the observed and expected densities

$D_{MR}(O):D_{MR}(E)$	t-value	p-value	Result	
Model	KHCM	17.65133	0.000	Reject
	USHCM	12.62977	0.000	Reject
	This study	-0.75129	0.453	Accept

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

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

3) Reject : 유의확률(*p-value*) > 유의수준($\alpha/2=0.025$)이면, 귀무가설이 채택(accept)되는 것을 의미하는 것으로 즉, 「실측밀도와 예측밀도 간에 밀도차이가 나지 않는다.」는 것을 의미함.

양측검증결과, Table 7에서 보는 바와 같이 이 연구에서의 모형이 95%의 신뢰수준(confidence level)하에서 유의확률(*p-value*)이 유의수준(significance level)보다 크게 나타나 관측밀도와 추정밀도사이에 차이가 나지 않음을 알 수 있었으나, KHCM모형과 USHCM모형의 검증에서는 유의확률이 0.000으로 유의수준($\alpha/2=0.025$)보다 작게 나타나 도시고속도로의 적용에 적합하지 않다고 판단되었다.

2) 모형별 상관관계 분석

이 연구대상 유입연결로에 대해 관측밀도(observed density)와 추정밀도(expected density)사이의 상관관계분석결과 Fig. 8에서와 보는 같이 상관관계수(*r*)값이 이 연구 모형에서 0.994로 매우 높은 상관성과 설명력을 보이는 것으로 나타났다. 또한, KHCM모형과 USHCM모형에서도 상관관계수(*r*)값이 각각 0.978, 0.987로 나타나 높은 상관성을 나타냈으나 관측밀도가 증가함에 따라 추정밀도가 45도선을 기준으로 상당히 아래쪽으로 분포하는 것을 볼 수 있는데 대체적으로 실제보다 낮게 밀도를 추정하여 우리나라와 미국의 도로용량편람이 제시하는 모형을 도시고속도로에 적용하는데 부적절하다는 사실을 확인할 수 있었다(참조 Fig. 9~10).

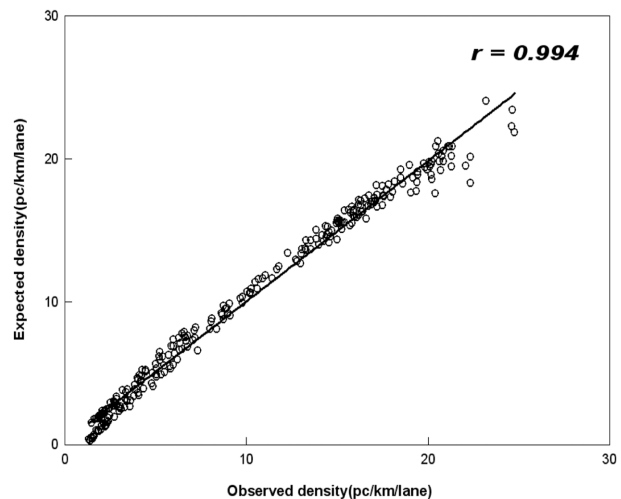


Fig. 8. Density validation by this model

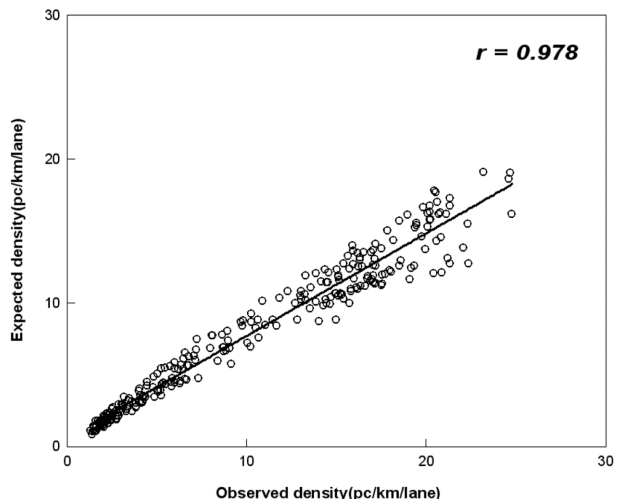


Fig. 9. Density validation by KHCM model

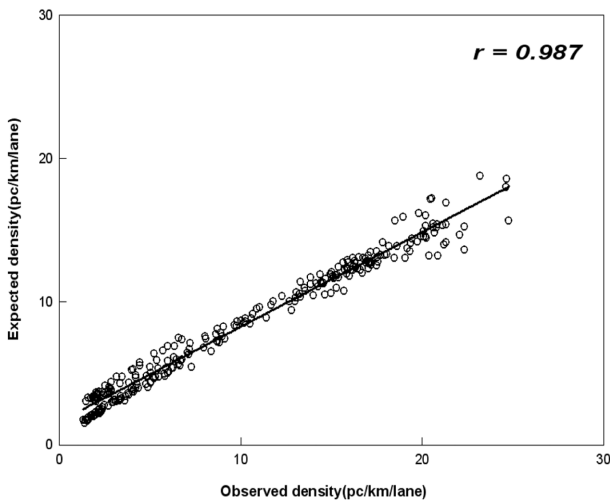


Fig. 10. Density validation by USHCM model

5. 모형의 상호비교

이 연구에서는 모형의 상호비교를 위한 방법으로 실제 관측밀도에 대한 통계량과 세 개의 모형 즉 이 연구에서의 추정모형, KHCM모형 및 USHCM모형에 의한 추정밀도간의 통계량을 계산하여 비교하는 방법을 사용하였다. 이러한 목적으로 이 연구에서는 표본평균, 표본표준편차, RMSE(root mean square error) 등의 기초통계량이 사용되었다.

이 연구대상 합류구간 영향권에서 관측된 현장의 관측밀도와 이 연구에서의 추정모형, KHCM모형 및 USHCM모형에 의한 추정밀도간의 상기 제시된 통계량(표본평균, 표본표준편차, RMSE)을 상호 비교하였다.

특히, KHCM모형 및 USHCM모형에 의해 추정된 밀도는 관측밀도보다 1.7~2.4pc/km정도 낮게 나타났고, 이 연구에서의 추정모형의 경우 관측밀도와 거의 유사한 값으로 나타났으며 RMSE(root mean square error) 역시 이 연구에서의 추정모형이 0.981로 KHCM모형에서 3.205, USHCM모형에서 2.861에 비해 관측밀도와 거의 유사한 것을 알 수 있었다. 그리고 이 연구에서의 추정모형은 대략 3%의 오차를 보여줌으로써 비교적 현실에 적합한 결과를 나타낸 반면, KHCM모형은 약 21%, USHCM모형은 약 15%정도의 오차를 나타내고 있어 추정모형이 상대적으로 높은 추정능력을 갖고 있는 것으로 나타났다(참조 Table 8).

이 연구에서의 추정모형과 KHCM, USHCM모형사이에 상대적으로 큰 오차가 발생하게 되는 이유는 KHCM모형과

Table 8. Statistics of observed and expected densities by the models

Statistics	Observed	This Model	KHCM Model	USHCM Model
RMSE	-	0.981	3.205	2.861
Sample mean	11.166	11.497 (+3.0%)	8.832 (-21.0%)	9.495 (-15.0%)
Sample SD	6.480	6.593 (+1.7%)	4.990 (-23.0%)	4.556 (-29.7%)

USHCM모형이 도시고속도로와는 기하구조와 교통특성이 현격히 다른 고속도로의 상황에서 구축된 모형이기 때문으로 여건의 차이가 있는 것으로 판단되었다.

6. 결론 및 향후 연구과제

이 연구에서는 부산광역시 도시고속도로(변영로)를 대상으로 한 교통특성 분석을 바탕으로 유입연결로 접속부 합류영향권내의 평균밀도를 추정하기 위한 모형의 구축 및 검증을 실시하였고, KHCM 및 USHCM에서 제시하고 있는 모형과의 비교·분석을 통하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1. 이 연구에서 유입연결로 접속부 합류영향권의 밀도추정모형은 결정계수 값(R^2)이 0.986으로 매우 높은 설명력을 나타내었으며, 상관계수 값(r)이 0.994로 높게 나타남으로써 모형의 유효성이 입증되었다.
2. 합류부 영향권의 밀도추정모형에 대한 검증을 위하여 모형식에 의한 추정밀도와 관측밀도간의 t -test분석을 실시한 결과, KHCM모형과 USHCM모형의 경우 유의확률이 0.000으로 유의수준($\alpha/2=0.025$)보다 작게 나타나 도시고속도로의 적용에 적합하지 않음을 알 수 있었고, 이 연구에서의 모형은 유의확률이 0.453으로 유의수준($\alpha/2=0.025$)보다 크게 나타나 추정밀도와 관측밀도 사이에 밀도 차가 거의 없는 것으로 나타났다.

이 연구는 부산광역시 도시고속도로(변영로)를 대상으로 유입연결로 접속부 합류영향권상에서 밀도추정모형의 구축 및 검증을 실시하였다. 일반적으로 연결로 접속부는 합류부와 분류부로 구분되지만, 이 연구에서는 합류부만을 대상으로 연구를 수행하였으며 향후 분류부에 대한 추가적인 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한, 도시고속도로 전체에 적용 가능한 모형을 제시하기 위하여 보다 많은 연구대상 지역에서 다양한 기하구조를 반영한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

건설교통부(2005) 도로용량편람, pp. 73-108
 건설교통부(2000) 도로의 구조시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침, pp. 435-436.
 강원외, 김영록(2003) 연속류도로 연결로 접속부의 교통특성 분석 및 서비스 수준 분석방법에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제23권 제6D호, pp. 775-783.
 김갑수, 신판식(1998) 도시고속도로 연결로 접속부에 있어서 KHCM모형의 적용성 분석, 영남대학교 산업기술연구논문집, Vol. 26, No. 2, pp. 179-191.
 표종진(2008) 도시고속도로의 유입연결로 접속영향권에서 밀도에 축모형 구축에 관한 연구, 석사학위논문, 한국해양대학교 대학원
 May, A. D.(1990), Traffic Flow Fundamentals, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
 TRB(1975), Traffic Flow Theory, Special Report 165, Transportation Research Board, Washington, D. C..
 TRB(2000), Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Washington, D. C..

(접수일: 2008.1.10/심사일: 2008.2.3/심사완료일: 2008.2.3)