

연결로-일반도로 합류부와 인접한 신호교차로의 차로이용률 계수 산출

채찬들^{1*} · 정동우² · 김영호³

¹ 한국교통연구원 기획경영본부, ² 한국교통연구원 미래교통창조경제본부, ³ 한국교통연구원 교통안전도로본부

Estimation of Lane Utilization Adjustment Factors for Signalized Intersections Adjacent to an Off-ramp-Street Junction

CHAE, Chandle^{1*} · JUNG, Dongwoo² · KIM, Youngho³

¹ Dept. of Planning and Administration, The Korea Transport Institute, Gyeonggi 411-701, Korea

² Dept. of National Transport Planning for Creative Economy, The Korea Transport Institute, Gyeonggi 411-701, Korea

³ Dept. of Transport Safety and Highway, The Korea Transport Institute, Gyeonggi 411-701, Korea

Abstract

This paper investigated the influences of ramp traffic flow on the lane utilization for signalized intersection approaches which are adjacent to an off-ramp-street junction. The statistical test showed a correlation between lane utilization and the ramp traffic flow. As the ramp traffic flow increases, the left lanes are less utilized and the right lanes are more utilized. The lane utilization factors are calculated by applying traffic data collected from the Seoul Metropolitan area. The utilization factors are 1.113 for 2 lanes, 1.124 for 3 lanes, and 1.131 for 4 lanes. The lane utilization factors proposed in the paper show higher values than those in current Korea Highway Capacity Manual (KHCM) under the conditions that the number of lanes is 2 or 3. However, the lane utilization factor for 4 lanes in the paper shows lower value than in KHCM. The ramp traffic flow causes more utilization of the right lanes than at normal signalized intersections and the extent gets larger as the number of lanes decreases. Based on the results of the paper, the lane utilization factors at signalized intersection approaches should be revised and reasonable capacity should be recalculated if the signalized intersection is adjacent to an off-ramp-street junction.

본 연구는 연결로-일반도로 합류부의 영향권 이내에 신호교차로가 위치한 경우에 연결로 교통류가 신호교차로의 차로이용률에 미치는 영향을 현장에서 관측된 자료를 기반으로 분석하였다. 상관분석 결과 연결로 교통량이 증가할수록 신호교차로 직진차로군의 중앙쪽 차로 이용률은 감소하고, 바깥쪽 차로 이용률이 증가하는 특성이 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 서울, 인천 및 경기지역에서 관측된 자료를 이용하여 도출된 차로이용률 계수는 직진 차로가 2차로인 경우 1.113, 3차로인 경우 1.124, 4차로인 경우 1.131로 산출되었다. 본 연구를 통하여 도출된 차로이용률 계수는 차로수가 적을 경우 도로용량편람의 차로이용률 계수보다 큰 값을 보이고, 차로수가 많을수록 도로용량편람의 차로이용률 계수보다 작은 값을 나타낸다. 이와 같은 현상은 연결로 교통류로 인해 바깥쪽 차로의 이용률이 일반적인 신호교차로보다 더 높아지고 그 정도는 차로수가 적을수록 커지기 때문에 나타나는 것으로 판단되었다. 본 연구의 결과를 바탕으로 신호교차로가 연결로-일반도로 합류부의 영향권 내에 위치할 경우 신호교차로 접근로의 차로이용률 계수 산출 방법론을 개선하여 합리적인 용량이 산정되어야 할 것이다.

Key Words

Capacity, Correlation Analysis, Lane Utilization Factor, Off-ramp-Street Junction, Signalized Intersection
용량, 상관분석, 차로이용률 계수, 연결로-일반도로 합류부, 신호교차로

* : Corresponding Author
culfield@koti.re.kr, Phone: +82-31-910-3156, Fax: +82-31-910-3222

Received 29 May 2013, Accepted 24 September 2013

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

연결로-일반도로 합류부는 연속류 도로(고속도로)-연결로 자체-단속류도로(일반도로)로 구성된 연결로에서 연결로 자체와 일반도로가 접속하는 합류부 시설을 의미한다. 이 시설의 운영상태는 연속류 도로와 단속류도로의 용량 및 서비스 수준에 직접적인 영향을 미치므로 전체 교통 네트워크의 효율적인 운영을 위하여 용량 및 서비스 수준에 대한 엄밀한 분석이 요구된다.

연결로-일반도로 합류부는 개방식 요금징수체계 또는 무료 고속도로 및 고속화도로가 일반도로와 접속하는 경우에 설치되며, 합류부 특성에 따라 운영방식과 기하구조가 결정된다. 연결로-일반도로 합류부는 현재 서울시의 내부 순환도로, 강변북로, 올림픽대로 등의 도시 고속화 도로와 수도권권의 외곽순환고속도로 등에 설치되어 있고, 대부분의 지점에서 상승적인 지정체가 발생하여 그 영향이 하류부인 일반도로와 상류부인 고속도로 본선 모두에 미치고 있는 상황이다.

특히 연결로-일반도로 합류부의 하류부에 신호교차로가 위치한 경우에는 연결로 교통류가 신호교차로에서 원하는 방향으로 회전하기 위해 차로변경이 발생되고, 그 영향으로 해당 신호교차로 접근로의 차로이용률이 변화하며 교통량이 많은 상황에서는 대기행렬이 연결로를 따라 고속도로 본선까지 이어져 지정체를 유발하게 된다. 하지만 그 영향에 대한 구체적인 연구는 아직까지 부족한 상황이며, 도로용량편람(MLTM, 2013)에서 제시하고 있는 신호교차로 접근로 차로이용률 보정계수 역시 연결로-일반도로 합류부의 연결로 교통량에 의한 영향을

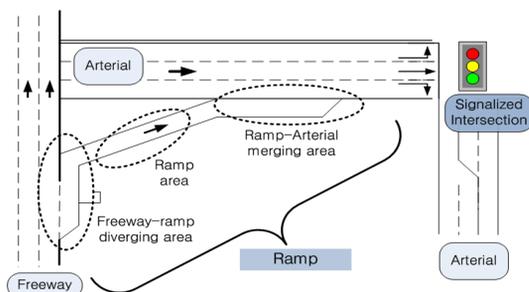


Figure 1. Spatial scope of the study

반영하지 못하는 한계가 존재한다.

한편, 미국의 경우 연결로-일반도로 합류부 시설에 대하여 Messer et al.(1997), Elefteriadou et al.(2005) 등의 연구를 통해 해당 시설에 대한 용량분석 기준을 개발하여 적용하고 있다.

이러한 배경으로 본 연구에서는 연결로-일반도로 합류부를 통해 유입된 교통류가 인접한 신호교차로의 통행 특성 및 운영에 어떠한 영향을 미치는지 조사하고, 특히 차로이용률의 변화를 분석하여 그 영향을 계수 형태로 산출함으로써 연결로-일반도로 합류부와 인접한 신호교차로 용량분석 및 운영분석에 적용하고자 하였다.

2. 연구의 범위

본 연구는 연결로-일반도로 합류부에서 지정체가 상승적으로 발생하는 원인을 규명하고 해당 시설의 용량분석 방법을 개발하기 위한 기초연구로써, 연결로-일반도로 합류부에 인접하여 신호교차로가 위치하는 경우 연결로 교통류에 의한 영향을 분석하는 것이 목적이다. 이때 공간적 범위는 고속도로와 일반도로를 연결하는 연결로 시설 중 연결로-일반도로 합류부의 영향권(400m¹⁾ 이내에 신호교차로가 위치한 경우를 연구의 대상으로 설정하였다.

서울·수도권에 위치한 해당시설 28개소에 대한 현황 조사결과 우리나라의 연결로-일반도로 합류부 기하구조는 Figure 2와 같이 세 가지의 유형으로 구분된다.

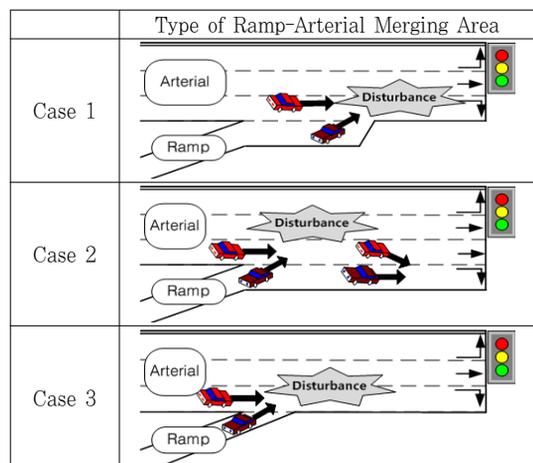


Figure 2. Type of ramp-arterial merging area

1) 고속도로-연결로 접속부의 영향권을 합류부의 경우 합류가 시작되는 지점으로부터 하류방향으로 400m까지로 정의 (도로용량편람(MLTM, 2013), 제4장 고속도로 연결로 접속부)하고 있어 본 연구에서도 연결로-일반도로 합류부의 영향권을 400m로 설정하여 이 범위 내 신호교차로가 존재하는 경우에 대하여 연구를 수행함

이 중 유형2와 같이 연결로가 하류부 신호교차로의 우회전차로로 그대로 연결되는 형태의 기하구조가 전체의 62.1%(18개소)로 가장 많은 것으로 나타났다. 이 결과를 통해 본 연구에서는 유형2를 연구의 대상으로 설정하였고, 현장자료 수집의 어려움 등의 제약으로 유형1과 유형3은 분석대상에서 제외하였다.

연결로-일반도로 합류부가 신호교차로에 미치는 영향을 분석하는 방법으로는 모형개발을 통한 방법이 가장 이상적이다. 그러나 모형개발을 위해서는 충분한 자료가 필요한데 반하여 본 연구에서는 영상촬영을 통하여 자료를 수집하였기 때문에 자료를 수집할 수 있는 조사지점의 한계로 인하여 충분한 자료 수집을 할 수 없었다. 따라서 본 연구는 연결로-일반도로 합류부가 신호교차로에 미치는 영향으로 차로이용률의 변화와 그로인한 계수를 산출하는 것에 초점을 맞추어 수행되었다.

II. 문헌 검토

신호교차로 분석에서 접근로의 차로이용률은 차로 간 교통량 분포를 의미하며, 도로용량편람 연구조사(KICT, 1992)에 따르면 직진 차로군의 경우 교통량이 적을수록 차로별 차로이용률 차이가 커지고, 교통량이 용량상태에 가까울수록 차이가 줄어드는 것으로 조사되었다. 본 연구에서는 신호교차로 차로이용률에 대하여 도로용량편람(MLTM, 2013)과 HCM(TRB, 2010) 사례를 비교분석하여 해석 및 산출방법을 검토하였다.

1. 차로이용률 보정방법 검토

1) 도로용량편람의 차로이용률

신호교차로의 용량분석 시 접근로 교통량은 차로이용률 계수를 적용하여 보정하게 되는데 이는 동일한 차로군 내에서도 차로별로 교통량이 다르기 때문이다.

도로용량편람(MLTM, 2013)에서는 신호교차로의 용량 분석에 적용하는 차로이용률 계수 F_L 를 제시하고 있는데, Table 1과 같이 차로이용률 계수는 차로수가 증가할수록, 교통량이 적을수록 큰 값을 나타낸다.

도로용량편람(MLTM, 2013)에서 제시하고 있는 차로이용률 계수 F_L 는 도로용량편람 연구조사(KICT, 1992)에서 최초로 산출되었고 현재까지 그대로 적용되고 있다. 당시 연구에서는 신호교차로 직진 차로군에 대

Table 1. Lane utilization adjustment factor in KHCM 2013

No. of Through Lanes in Lane Group	Volume(vphpl)		Level of Service	
	≤ 800	> 800	C, D	E
1	1.00	1.00	1.00	1.00
2	1.02	1.00	1.02	1.00
3	1.10	1.05	1.10	1.05
≤ 4	1.15	1.08	1.15	1.08

* 출처 : 도로용량편람(MLTM, 2013) p.225

하여 차로수가 2, 3, 4차로인 경우로 구분하여 서울시 내에 위치한 신호교차로 중 각 유형에 해당하는 교차로 1-4개소를 선정하여 현장자료를 수집하였고, 최대 이용률을 나타내는 차로의 이용률과 평균 이용률의 비율을 이용하여 Table 1의 차로이용률 계수를 산출하였다.

2) 미국 Highway Capacity Manual의 Lane Utilization Adjustment Factor

미국의 HCM(TRB, 1985)에서도 신호교차로의 용량 산출 과정에서 교통량을 보정하는 과정에서 적용하도록 Table 2와 같이 lane utilization factor를 제시하였는데, 그 값은 도로용량편람(MLTM, 2013)에서 제시하고 있는 차로이용률 계수와 유사한 수준이다.

HCM(TRB, 2000)과 HCM(TRB, 2010)에서는 lane utilization adjustment factor로 명칭이 바뀌고, 계수도 Table 2와 같이 기본값 이외에 산정식 형태로도 식(1)과 같이 제시하였다.

$$f_{LU} = \frac{v_g}{N_e \cdot v_{g1}} \tag{1}$$

여기서 f_{LU} 는 lane utilization adjustment factor를 의미하고, v_g 는 차로군 교통량(veh/h), v_{g1} 은 차로군 내 가장 교통량이 많은 차로의 교통량(veh/h), N_e 는 차로군 내 차로수를 의미한다. 식(1)을 통해 산출되는 계수는 직진 차로군 내의 모든 차로가 차로군 내 가장 교통량이 많은 차로의 교통량으로 이용되는 경우의 차로군

Table 2. Lane utilization (adjustment) factor of HCM

No. of Through Lanes in Lane Group	Traffic in Most Heavily Traveled Lane(%)	HCM 1985	HSM 2000,2010
		Lane Utilization Factor, U	Lane Utilization Adjustment Factor, f_{LU}
1	100	1.00	1.000
2	52.5	1.05	0.952
3	36.7	1.10	0.908

교통량 대비 현재 차로군 교통량의 비율을 의미하는 것으로, 포화교통류율을 보정하는데 적용된다.

그 결과 신호교차로 용량산출 과정에서 기존 계수가 교통량을 보정하던 것에서 포화교통류율을 보정해주는 것으로 계수의 개념이 바뀌었고, 계수값 역시 역수로 바뀌게 되었다.

3) 차로이용률 보정계수 산출방법

HCM(TRB, 2010)의 신호교차로 분석편에서 차로이용률 계수 f_{LU} 는 신호교차로의 포화교통류율 보정에 적용되고 있다.

$$S = S_0 N f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb} \quad (2)$$

이때, S 는 보정된 포화교통류율(pc/h/ln), S_0 는 포화교통류율(veh/h/ln), f_w 는 차로폭 보정계수, f_{HV} 는 중차량 보정계수, f_g 는 구배 보정계수, f_p 는 노면주차 보정계수, f_{bb} 는 버스정류장 보정계수, f_a 는 토지이용 보정계수, f_{LT} , f_{RT} 는 좌회전과 우회전 보정계수, f_{Rpb} , f_{Lpb} 는 좌회전과 우회전 보행자 및 자전거 통행 보정계수를 의미한다.

HCM(TRB, 2010)에서 f_{LU} 를 적용하는 기본적인 취지는 신호교차로에서의 차로이용 불균형이 포화 교통류율을 감소시키고 차로수가 증가할수록 그 감소폭이 커지기 때문에 이를 보정하기 위해서이다. 따라서 f_{LU} 는 포화 교통류율을 산출하는 단계에서 적용되고 있다.

HCM(TRB, 2010)에서 제시하고 있는 f_{LU} 는 앞선 식(1)과 Table 2에서 검토한 것과 같이 차로군 전체 교통량을 차로군 내 최대 교통량 차로의 교통량에 차로수를 곱한 값으로 나누어 산출한다.

반면, 도로용량편람(MLTM, 2013)에서 제시하는 차로이용률 계수 F_U 는 별도의 산출식 없이 계수값만을 Table 1과 같이 제시하고 있다.

도로용량편람(MLTM, 2013)에서 차로이용률 계수를 적용하는 기본 개념은 신호교차로에서 차로이용 불균형이 발생되면 녹색시간 동안 실제 통과할 수 있는 교통량보다 적은 교통량이 통과하게 되고 이는 교통량이 적고 차로수가 많을수록 심해진다는 것이다.

결국 신호교차로 차로군의 포화도 $X_i = (V/c)_i$ 를 산출하는 과정에서 HCM(TRB, 2010)의 f_{LU} 는 차로군의 용량 c_i 를 보정해주는 것이고, 도로용량편람(MLTM,

Table 3. Comparison of lane utilization factor in USHCM 2010 and KHCM 2013

Number of Through Lanes in Lane Group	F_U in KHCM 2013	Reciprocal of f_{LU} in USHCM 2010
1	1.00	-
2	1.02	1.05
3	1.10	1.10
4	1.15	-

2013)의 F_U 는 차로군의 교통량 V_i 를 보정하는 것이라고 할 수 있다. 따라서 두 계수는 역수의 관계가 존재하는데, 실제로 HCM(TRB, 2010)에서 제시하는 f_{LU} 의 기본값을 도로용량편람에서 제시하는 조건에 맞추어 역수로 치환해보면 Table 3과 같다.

직진 차로군 차로수가 2, 3차로일 때 도로용량편람(MLTM, 2013)의 F_U 는 1.02와 1.10이고, HCM(TRB, 2010) f_{LU} 의 역수는 1.05, 1.10으로 거의 유사한 것을 알 수 있다.

이 사실을 통해 도로용량편람(MLTM, 2013)과 HCM(TRB, 2010)에서 제시하고 있는 차로이용률 보정계수는 적용단계와 형태가 다를 뿐 그 값에서는 큰 차이가 없다는 것을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 HCM(TRB, 2010)에서 제시하고 있는 식(1)을 적용하여 차로이용률 계수를 산출하였다.

2. 문헌검토 결과 및 본 연구의 차별성

HCM(TRB, 2010)에서 차로이용률 보정계수를 적용하는 목적은 신호교차로에서 차로이용의 불균형이 포화 교통류율의 감소를 야기하기 때문이고, 도로용량편람(MLTM, 2013)에서는 차로이용 불균형이 발생되면 녹색시간 동안 실제 통과할 수 있는 교통량보다 적은 교통량이 통과하게 되기 때문인 것으로 검토되었다.

이러한 목적에 따라 신호교차로 차로군의 포화도 $X_i = (V/c)_i$ 를 산출하는 과정에서 HCM(TRB, 2010)의 f_{LU} 는 c_i 를 보정해주는 것이고, 도로용량편람(MLTM, 2013)의 F_U 는 V_i 를 보정하는 것이라고 할 수 있다.

결국 도로용량편람(MLTM, 2013)과 HCM(TRB, 2010)에서 제시하고 있는 차로이용률 계수는 그 값이나 적용방식에서 차이가 존재하지만, 신호교차로 접근로 차로군 내에 존재하는 차로이용률의 불균형으로 인하여 교통량 또는 포화교통류율의 왜곡이 발생하고 이를 보정해 주어야 한다는 점에서 의미를 같이하고 있다.

하지만 우리나라와 미국의 용량산출 기준에서는 신호 교차로 영향권 내 연결로-일반도로 합류부와 같이 차로 이용률에 영향을 미치는 시설에 대한 영향을 반영하지 않고 있는 것으로 검토되었다. 버스정류장, 노상주차, 이면도로 진출입 등 노면마찰의 영향을 보정계수 적용을 통해 보정하고 있지만, 이면도로 진출입로도 신호교차로 정지선으로부터 60m 이내의 경우에만 그 영향을 반영하고 있는 상황이다(도로용량편람(MLTM, 2013)).

만약 신호교차로가 연결로-일반도로 합류부와 인접한 특수한 상황으로 인해 해당 접근로 차로이용률 불균형의 크기나 유형이 달라진다면 용량산정 과정에서 교통량이나 포화교통류용 왜곡의 형태와 크기 역시 달라지게 되기 때문에 이를 보정하기 위한 별도의 보정계수가 필요하다고 판단할 수 있다.

따라서 본 연구는 현재 용량산출 기준에서 반영하지 못하고 있는 연결로-일반도로 합류부인 신호교차로 차로이용률의 변화에 대한 분석을 수행하여 이를 보정하기 위한 차로이용률 계수를 산출한다는 점에서 기존 연구와 차별화된다.

III. 자료 구축

1. 현장조사 지점 선정

서울, 인천, 수도권 지역의 개방식 toll을 운영하는 고속도로 및 자동차 전용도로를 대상으로 연결로-일반도로 합류부가 설치된 지점을 조사한 결과, 일반도로와 연결로가 접속하는 합류지점으로부터 400m 이내에 신호교차로가 존재하는 시설이 총 28개소인 것으로 나타났다.

신호교차로 접근로의 차로이용률과 연결로-일반도로 합류부 연결로 교통량 사이의 상관분석을 위해서 신호교차로와 합류부의 교통류 자료가 필요하기 때문에 28개 지점 중 영상촬영을 통한 자료수집이 가능한 지점을 검토하였다.

그 결과 일산IC램프에서 백마주유소사거리, 강변북로-천호대교 접속램프에서 광장사거리, 도화IC램프에서 도화초교사거리, 양화대교북단 교차로 램프에서 합정역사거리, 잠실대교북단 교차로 램프에서 잠실대교북단사거리, 김포IC램프에서 신곡사거리까지 총 6개 지점에서 영상촬영이 가능한 것으로 조사되었고, 이 지점에서 예비조사를 수행하였다.

6개 지점에 대한 예비조사 결과, 도화 IC의 경우 교차로 기하구조 상 좌회전 방향이 주도로이고, 직진 방향

Table 4. Summary of data collection site

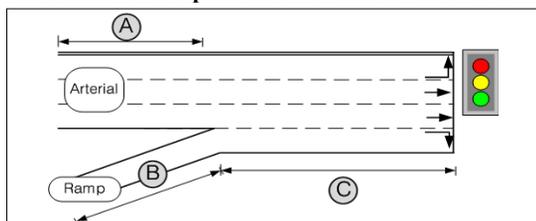
Highway	IC or Ramp	Adjacent signalized intersection	Distance of intersection from ramp (m)	Number of Arterial lanes	Number of Ramp lanes
Seoul Ring express way	Ilsan IC	Baekma gas station intersection	306	3	2
Northern riverside freeway	Cheonho bridge Ramp	Kwangiang intersection	270	3	1
Northern riverside freeway	Yanghwa bridge north Ramp	Hapijung station intersection	170	3	2
Northern riverside freeway	Jamsil bridge north Ramp	Jamsil bridge north intersection	240	3	2

이 부도로이기 때문에 램프교통량이 증가할수록 좌회전 차로군 이용률이 증가하는 예외적인 결과가 도출되었다. 또한 김포IC의 경우에는 신호교차로 통과 후 바로 버스정류소가 설치되어 있어 상충을 피하기 위해 차량들이 중앙쪽 차로를 이용하는 예외적인 특성을 나타내었다. 이와 같이 일반적인 연결로-일반도로 합류부와 상이한 교통 특성을 보이는 도화IC와 김포IC를 제외한 4개 지점에서 본 조사를 수행하였다.

2. 자료 조사 및 정리

현장조사는 2010년 8월 9일부터 20일까지 2주 동안 수행하였고 조사 지점별로 8시간씩 영상을 촬영하였는

Table 5. Schematic presentation of data collection site



Segment	Survey Items	
	Geometry	Traffic flow characteristics
Ⓐ	<ul style="list-style-type: none"> • Number of lanes • Crosswalk • Speed limit • On-street parking, bus or taxi station 	<ul style="list-style-type: none"> • Volumes for every 15-minutes by vehicle type
Ⓑ	<ul style="list-style-type: none"> • Number of lanes • Speed limit • Type of signal control 	<ul style="list-style-type: none"> • Volumes for every 15-minutes by vehicle type
Ⓒ	<ul style="list-style-type: none"> • Link length • Number of lanes, Lane width 	<ul style="list-style-type: none"> • Volumes for every 15-minutes by vehicle type • Queues length • Signal operation

데, 비침두 시간과 침두 시간의 자료를 모두 수집하기 위하여 조사시간을 오전 6-10시, 오후 3시 30분-7시 30분으로 설정하였다.

차로수, 교차로 및 접속로 형태, 접속로와 교차로 사이의 거리 등의 기하구조 자료는 위성지도를 통하여 사전에 수집하였으며, 교차로의 신호운영 자료는 현장에서 직접 조사하였다. 나머지 분석에 필요한 자료는 촬영한 영상자료에서 추출하여 사용하였다.

Table 5와 같이 교통량은 승용차와 중차량(버스, 화물차)을 나누어 ㉠일반도로 진입교통량, ㉡연결로 진출교통량, ㉢교차로 진입교통량을 차로별로 정리하였고, 차로변경횟수는 ㉣ 구간에서 50m 간격으로 구간을 지정하여 구간별로 측정하였으며, 대기행렬길이는 교차로에 녹색신호가 시작되는 순간에 차로별 대기 차량 수를 측정하는 방식으로 조사하였다.

IV. 차로이용률 계수 산출

1. 연결로-일반도로 합류부와 신호교차로 차로이용률 상관분석

1) 상관분석 방법 및 절차

차로이용률 계수 산출을 위하여 연결로-일반도로 합류부에서 유입되는 연결로 교통류가 신호교차로 접근로의 차로이용률에 영향을 미칠 것이라는 가정을 먼저 통계적으로 검증하였다. 이를 위하여 연결로 교통량의 증감에 따른 신호교차로의 접근로 차로별 이용률 사이의 상관분석을 수행하였다.

이때 신호교차로 상류부의 일반도로 교통량을 일정한 수준으로 통제하는 것이 불가능하므로, 5분 단위로 조사한 일반도로 교통량을 유사한 수준별로 구분하였다.

통계적 검증을 위한 가정과 방법은 다음과 같다.

- i. 연결로 교통량과 신호 교차로 접근로의 차로별 이용률에 대한 상관분석을 수행한다.
- ii. 귀무가설 : $H_0: \rho_i = 0$ ($\rho_i = i$ 차로 이용률과 연결로 교통량과의 상관계수)
- iii. 대립가설 : $H_1: \rho_i \neq 0$
- iv. 검정통계량 : $p\text{-value} < \alpha$
- v. 신뢰수준 : 95%로 설정 ($\alpha = 0.05$)
- vi. ρ_i 값 분석 : 차로 i 별, 가로교통량 카테고리별 부호, 절대 값 등을 비교한다.

2) 상관분석 결과

4곳의 현장조사 지점에서 수집된 자료를 이용하여 신호교차로 직진차로군 차로이용률과 연결로 교통량의 상관분석을 수행한 결과는 Figure 3과 같다. 분석결과, 연결로 교통량이 적을 때는 직진차로군의 차로별 이용률의 차이가 증가하고 교통량이 증가할수록 그 차이는 감소하는 것으로 나타났다.

또한 Table 6에 나타난 연결로 유입교통량과 차로이용률의 상관관계 분석결과를 보면, p-value의 값이 0.05 이하로 통계적으로 유의미한 상관관계를 갖는 경우 그 상관계수 값이 신호교차로 직진차로군의 중앙쪽 차로인 경우 음의 값을, 바깥차로인 경우 양의 값을 갖는 패턴이 일산IC, 천호대교 램프, 잠실대교북단 램프에서 나타났다. 이러한 결과는 연결로-일반도로 합류부를 통해 일반도로로 합류되는 교통량이 증가함에 따라 중앙차로 쪽 차로이용률이 감소하고 바깥차로 쪽 차로이용률이

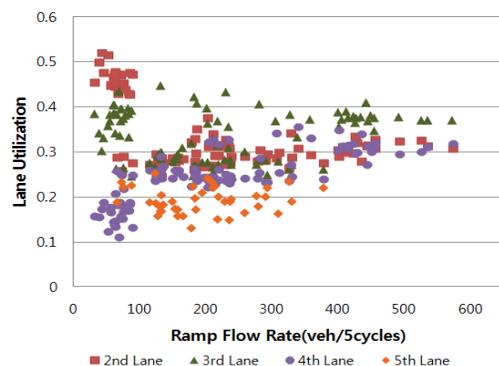


Figure 3. Lane utilization by change of ramp flow rate

Table 6. Correlation analysis between ramp flow rate and lane utilization ratio of signalized intersection

Site	Correlation Coefficient (p-value)					
	Lane 1	Lane 2	Lane 3	Lane 4	Lane 5	Lane 6
Ilsan IC	left	thru	thru	thru		
	-	-0.146 (0.425)	-0.345 (0.053)	0.367 (0.039)		
Cheonho bridge Ramp	left	left	thru	thru	thru	thru
	-	-	-0.409 (0.047)	-0.259 (0.227)	-0.313 (0.137)	0.512 (0.011)
Jamsil bridge north Ramp	left	thru	thru	thru	thru	
	-	-0.669 (0.001)	-0.714 (0.000)	0.453 (0.000)	0.584 (0.004)	
Yanghwa bridge north Ramp	thru	thru	thru	thru		
	0.090 (0.723)	-0.494 (0.037)	-0.017 (0.948)	0.283 (0.255)		

증가하기 때문에 발생한다. 이러한 현상은 합류되는 교통량이 증가하면서 차로간 균형을 이루기 위하여 필요한 차로변경 횟수가 증가하지만, 일반적으로 교통류와의 상충이 증가하여 중앙차로쪽으로 차로변경이 더 어려워지기 때문에 더 많은 차량이 바깥쪽 차로를 따라 그대로 주행하면서 나타나는 것으로 해석할 수 있다.

Figure 4와 Table 6에 나타난 상관분석 결과로부터 연결로 교통량이 인접한 신호교차로 접근로의 차로이용률에 통계적으로 유의미한 영향을 미치고 있는 것으로 판단되고, 이러한 분석결과를 토대로 연결로-일반도로 합류부와 인접한 신호교차로의 경우 그 영향을 고려한 새로운 차로 이용률 계수 산출을 시도하였다.

2. 차로이용률 계수 산출

도로용량편람(MLTM, 2013)에서 제시하고 있는 차로이용률 계수 중 차로별 평균교통량이 800vphpl 이상인 경우는 차로군의 포화도(v/c)가 0.9 이상인 경우에 해당하며 이 경우에는 차로별 이용률의 차이가 적거나 없는 것으로 나타나 실질적으로 차로이용률에 대한 보정이 필요하지 않은 경우가 대부분이다. 이러한 사실로부터 본 연구에서는 차로별 평균교통량이 800vphpl 이하인 경우에 대하여 자료수집이 이루어졌고 이 자료로부터 산출된 차로이용률 보정계수를 도로용량편람(MLTM, 2013)의 평균교통량 800vphpl 이하 차로이용률 보정계수와 비교해보았다.

4곳의 현장에서 수집한 영상으로부터 신호교차로 접근로 직진 차로군의 교통량을 정리하여 식(1)을 통해 HCM(TRB, 2010)에서 제시하는 차로이용률 계수 f_{LU} 를 산출한 결과 잠실대교북단램프 IC는 0.89260, 일산 IC는 0.88619, 천호대교램프는 0.88649, 양화대교북단램프는 0.88247로 나타났다. 이 결과를 Table 2의 계수값과 비교해보면, 직진 3차로 이상인 차로군의 보정계수 0.908보다 조금 더 작은 값을 나타내는 것을 알 수 있다.

연결로 교통량에 의한 차로이용률 계수 산출을 위하여 조사지점 4곳의 자료를 차로수별로 분류하여 종합분석한 결과는 Table 8과 같다.

직진 차로수가 2차로인 경우의 차로이용률 계수는 1.113 이고, 3차로인 경우에는 1.124, 4차로인 경우에는 1.131로 산출되었다. 이는 차로수가 증가할수록 계수값이 커지는 점에서 도로용량편람에서 제시하고 있는 차로이용률 보정계수와 동일한 추세를 보인다고 할 수 있다.

Table 7. Lane utilization factor by data collection site

Data Collection Site	Number of Lanes	v_g (veh/h)	v_{g1} (veh/h)	f_{LU}
Jamsil bridge north Ramp	3	1,363	509	0.89260
Ilsan IC	3	1,752	659	0.88619
Cheonho bridge Ramp	4	1,968	555	0.88649
Yanghwa bridge north Ramp	4	2,185	619	0.88247

Table 8. Calculation of lane utilization factor

Number of Lanes	Reciprocal of f_{LU} (A)	KHCM (B)	Difference (A-B)
2	1.113	1.020	0.093
3	1.124	1.100	0.024
4	1.131	1.150	-0.019

이러한 결과를 통해 연결로-일반도로 합류부가 신호교차로 영향권 400m 이내에 존재하고 차로별 평균 교통량 800pcphpl 이하인 상황에서는 차로수가 증가할수록 차로 이용의 편차가 심해져 이를 보정하기 위한 차로이용률 계수값도 함께 증가해야한다는 사실을 확인할 수 있다.

하지만 직진차로수가 2차로인 경우에는 기존값에 비해 0.093이 더 큰 것으로 나타난 반면 4차로인 경우에는 오히려 0.019만큼 작은 것으로 나타났다. 즉, 산출된 차로이용률 계수값은 직진 차로수가 2차로인 경우에 기존 계수보다 더 큰 값을 나타내고, 4차로인 경우에 더 작은 값을 나타냈다.

이러한 결과는 직진차로군 내 차로수가 동일하게 2개 차로인 경우에도, 연결로 교통류가 존재하는 경우에는 바깥쪽 차로이용률이 증가하여 차로이용률 차이가 더 크게 발생하기 때문인 것으로 해석할 수 있으며, 따라서 산출된 보정계수값이 도로용량편람에서 제시하고 있는 값보다 커진 것으로 해석할 수 있다.

따라서 본 연구를 통해 4개 현장조사 지점에 수집된 자료로 부터 연결로-일반도로 합류부를 통해 유입되는 교통량이 신호교차로 차로이용률 변화에 통계적으로 유의미한 상관관계가 존재하며, 그 차로이용률 변화는 기존의 차로이용률 계수에 비해 직진 차로수가 적을수록 더 큰 값을 나타낸다는 결과를 도출할 수 있다.

VI. 결론

본 연구에서는 신호교차로 접근로의 정지선으로부터 400m 이내에 연결로-일반도로 합류부가 위치한 경우에 대하여 연결로 유입 교통류와 신호교차로 차로이용률 사이의 상관분석을 수행하고, 그 결과를 통한 새로운 차로이용률 계수를 산출하였다.

이를 위하여 서울, 인천, 수도권 지역에 위치하는 6개 지점에서 현장조사를 수행하였고, 수집한 자료를 이용하여 신호교차로 접근로 직진차로군의 차로이용률과 합류부 유입 교통량과의 통계적 상관관계를 분석하였는데, 그 결과 ① 합류부를 통해 유입되는 교통량이 증가할수록 신호교차로의 중앙쪽 차로 이용률은 감소하고, 바깥쪽 차로 이용률이 증가하는 통계적으로 유의한 상관관계가 분석되었고, ② 합류부를 통해 유입되는 교통량과 신호교차로 통과교통량이 적을수록 직진차로군의 차로별 이용률 차이는 커지고, 교통량이 증가할수록 차이가 줄어드는 것으로 분석되었다.

신호교차로의 차로이용률과 합류부 유입교통류와의 통계적 상관성이 존재하는 분석결과를 활용하여 이를 반영한 신호교차로 차로이용률 계수를 산출하였다.

HCM(TRB, 2010)에서 제시하고 있는 방법론을 적용하여 차로이용률 계수를 산출한 결과, 직진 차로수가 2차로인 경우의 차로이용률 계수는 1.113 이고, 3차로인 경우에는 1.124, 4차로인 경우에는 1.131로 산출되었고 이 값들은 기존의 도로용량편람(MLTM, 2013)에서 제시하고 있는 차로이용률 계수와는 차이가 존재한다.

새로 산출된 차로이용률 계수는 기존 계수에 비해 차로수가 적을수록 더 크게 증가하였고, 차로수가 많을수록 오히려 더 작은 값을 나타내었는데, 이는 연결로-일반도로 합류부의 유입 교통류로 인해 바깥쪽 차로의 이용률이 더 높아지는 불균형이 발생되고, 그 정도는 차로수가 적을수록 커지기 때문인 것으로 판단되었다.

이러한 분석결과들로부터 연결로-일반도로 합류부를 통해 유입되는 교통량이 신호교차로 차로이용률 변화에 통계적으로 유의미한 영향을 미치며, 그 차로이용률 변화는 기존의 차로이용률 계수에 비해 직진 차로수가 적을수록 더 큰 값을 나타내는 것을 확인하였다.

이와 같이 본 연구는 신호교차로 용량분석의 예외적인 경우라고 할 수 있는 신호교차로 접근로 400m 이내에 연결로-일반도로 합류부가 위치할 경우에 대하여 두 시설 사이의 상관관계와 그 영향을 반영한 차로이용률

계수를 산출한 점에서 의미가 있다. 하지만 계수산출에 이용한 자료가 4개 지점에서 수집된 제한적인 자료라는 점에서 실제 적용할 수 있는 일반적인 계수라고 하기 어려운 한계가 존재한다.

따라서 향후 연구에서는 연결로-일반도로 합류부의 기하구조, 평균속도, 합류부와 신호교차로와의 거리 등 본 연구에서 반영하지 못한 요인들을 추가적으로 반영하고 보다 많은 대상지점의 데이터를 확보해야 할 것이며 이를 통해 해당 시설과 같은 유형의 시설들에 일반적으로 적용할 수 있는 차로이용률 계수의 산출이 필요하다.

REFERENCES

- Elefteriadou L., Fang C., Roess R., Prassas E. (2005), Methodology for Evaluating the Operational Performance of Interchange Ramp Terminals, TRR, 1920, 13-24.
- Korea Institute of Construction Technology, Korea Transport Institute (1992), Final Report - Research to Improve Highway Capacity Manual, 676-690.
- Messer C. J., Bonneson J. A. (1997), Capacity Analysis of Interchange Ramp Terminals - Final Report, Texas A&M Research Foundation.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2013), Highway Capacity Manual, 56-75.
- Transportation Research Board (1985), Highway Capacity Manual, 9-10.
- Transportation Research Board (2000), Highway Capacity Manual, 24-1~24-21.
- Transportation Research Board (2010), Highway Capacity Manual, 13-1~13-35.

✉ 주 작성자 : 채찬들

✉ 교신저자 : 채찬들

✉ 논문투고일 : 2013. 5. 29

✉ 논문심사일 : 2013. 7. 17 (1차)

2013. 9. 24 (2차)

✉ 심사판정일 : 2013. 9. 24

✉ 반론접수기한 : 2014. 2. 28

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필