

신호교차로의 진출입로 보정계수 개발에 관한 연구

김 영 찬 · 최 태 섭

(서울시립대학교 도시공학과 교수 · LG전자 SI사업 신사업Gr)

Development of Adjustment Factor for Driveway Traffic near Signalized Intersections

Kim, Youngchan · Choi, Taeseob

ABSTRACT

A driveway adjacent to an signalized intersection effects the operation of the signalized intersection. To investigate in detail, the vehicle making a right turn into and out of the driveway on the signalized intersection approach may reduce saturation flow rates on the approach by interfering with the normal queue discharge in the curb lane. The exiting guidelines for evaluating the signalized intersection such as 'Highway Capacity Manual' does not consider the effect of driveway on the intersection.

The objective of this paper is to develop an adjustment factor for the driveway traffic near the signalized intersections. In study, the effect of driveways on the signalized intersections was analyzed and, a method of producing the adjustment factor for driveway through field studies was conducted.

The achievements of this study are as follows; i) to investigate the effect of driveway traffic on saturation flow rates ii) to develop the methodology of determining the adjustment factor for the driveway traffic and, iii) to calculating the adjustment factor for the driveways through the field studies at the signalized intersections.

Key Words : Driveway, Adjustment Factor for Driveway, Signalized Intersections, Saturation Flow Rate

I. 서론

신호교차로의 용량분석과정은 교차로의 기하구조, 교통조건, 신호조건에 따라 교차로의 소통상태를 계량화하고, 서비스수준을 결정하는 것이다. 이 과정에서 다양한 요소들이 접근로의 포화교통류율에 영향을 준다. 교차로에 인접하여 진출입로가 존재할 경우 진출입로로부터 진입하거나 진출하는 교통은 교차로의 포화교통류율을 저하시키는데 직접적인 요인이 된다. 하지만, 기존의 도로용량편람¹⁾이나 미국의 도로용량편람²⁾은 이러한 요인을 반영하지 못하고 있다. 참고로, 기존의 도로용량편람에서는 진출입로 영향권을 신호교차로로부터 75m 이내로 규정하고 있지만, 75m 이내에 진출입로가 존재할 경우에 대한 분석방법을 언급하고 있지 않다.

진출입로가 교차로에 영향을 주는 경우는 적색신호에서 녹색신호로 바뀌어서 차량이 진행하기 시작할 때, 진출입로로부터 차량이 발생되면 이로 인해 본선 차량은 진행에 방해를 받게 되며, 결과적으로 본선의 포화교통류율을 감소시킨다. 따라서, 교차로에 대한 진출입로의 영향정도를 반영하는 방법으로 포화교통류율을 보정하는 방법을 사용하는 것이 합리적이다. 건설교통부에서 지원하는 ‘도로용량편람 개선연구-제2단계’³⁾에서는 교차로 인근 진출입로가 포화교통류율에 미치는 영향요소를 ‘진출입로 보정계수’라 명명하였다.

본 연구에서는 신호교차로에 대한 진출입로의 영향정도를 분석하고, 이를 반영할 수 있는 방법인 진출입로 보정계수 개발에 관한 연구를 수행하였다.

II. 분석방법론

본 연구에서는 McCoy, P. T. and Heimann, J. E., ‘Effect of Driveway Traffic on

Saturation Flow Rates at Signalized Intersection’⁴⁾ 논문을 참고로 진출입로가 신호교차로에 미치는 영향을 직접 현장조사를 통해 관측하여, 이를 적용하여 진출입로 보정계수를 산출하였다.

2.1 조사 지점 선정

포화교통류율에 대한 진출입로의 영향은 진출입로의 차량 대수, 진출입로의 차로 폭, 진출입로와 인접교차로간의 거리, 진출입로와 본선의 가각부 시거, 지역성(주거지, 상업지역, 업무지역) 등에 따라 달라질 수 있다. 이들 영향요소 중에서 가장 민감하고, 계량화가 용이한 요소로 진출입로의 차량 대수와 진출입로와 인접교차로간의 거리를 영향 요소로 선정하였다.

조사 지점은 진출입로에서 간선도로 본선으로 진입하는 차량(이후 ‘진입차량, enter’이라 명한다), 본선에서 진출입로로 진출하는 차량(이후 ‘진출차량, exit’이라 명한다), 그리고 진출입로와 인접교차로간의 거리(이후 ‘진출입로 거리, corner clearance’라 명한다)가 각각 다른 대표적인 지점을 선정하여 조사를 수행하였다.

진출입로에 의한 포화차두시간에 변화를 조사하기 위해서는 다음과 같은 교통류 조건을 만족해야 한다.

- 포화차두시간을 측정해야하므로, 적색신호 동안에 충분한 대기행렬이 발생되어야 한다.
- 진출입 차량으로 인한 포화차두시간의 변화를 측정해야하므로, 녹색신호동안에 진출입 차량이 본선의 대기행렬로 진출입해야 한다.
- 중차량에 의해 차두시간이 변화하므로, 대기차량은 승용차로만 구성되어야 한다.
- 회전 차량에 의해 차두시간이 변화하므로, 모두 직진 교통량이어야 한다.
- 차로변경에 의해 차두시간이 변화하므로,

모든 차량은 차로변경을 하지 말아야 한다.

현실에서는 이상의 조건을 완벽하게 충족하는 경우는 발견하기 어려우므로, 가능한 유사한 경우를 중심으로 조사를 수행하였다.

2.2 조사 방법

자료는 진출입로 차량에 의한 영향을 받지 않았을 때의 포화차두시간과 영향을 받았을 때의 포화차두시간의 두 가지가 수집된다. 포화교통류율을 산출하기 위해서는 포화차두시간을 측정한다. 포화차두시간을 산출하는 방식으로 적색시간동안 도착한 대기 차량이, 녹색신호가 켜진 후 어느 정도의 시간이 지난 후 일정한 차두시간으로 정지선을 통과할 때, 이때 차두시간을 측정하는 방식을 사용한다. 일반적으로, 5대 이후의 차량간 차두시간을 측정한다. 이 값들을 산술평균해서 최종 포화차두시간을 산출한다.

진입차량의 경우는 <그림 1>과 같이 적색시간동안 도착한 대기차량이 녹색시간이 되어 진행할 때, 진출입로에서 본선으로 한 차량이 이동하는 본선의 대기차량들 사이로 진입하는 경우, 이 진입차량을 기준으로 전후방 차량의 차두시간을 교차로 정지선을 통과할 때 측정한다. 그리고,

포화차두시간은 위에서 언급한 방법에 의해 측정한다. 이들 값을 다음 식에 대입하여 진입차량으로 인해 발생하는 영향정도를 산출한다.

$$T_{enter} = D_{enter} - 2 \times h_o$$

여기서,

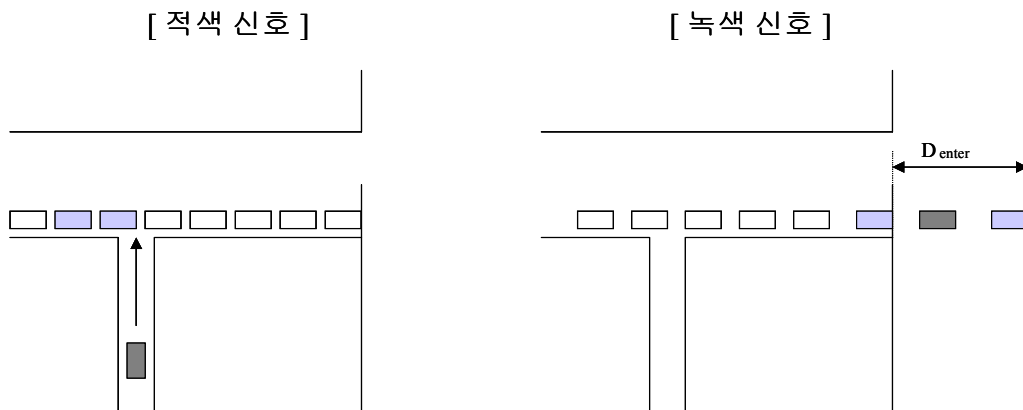
T_{enter} : 진입차량으로 인한 차두시간 증가치(초)

D_{enter} : 진입차량의 선행행차량간 차두시간(초)

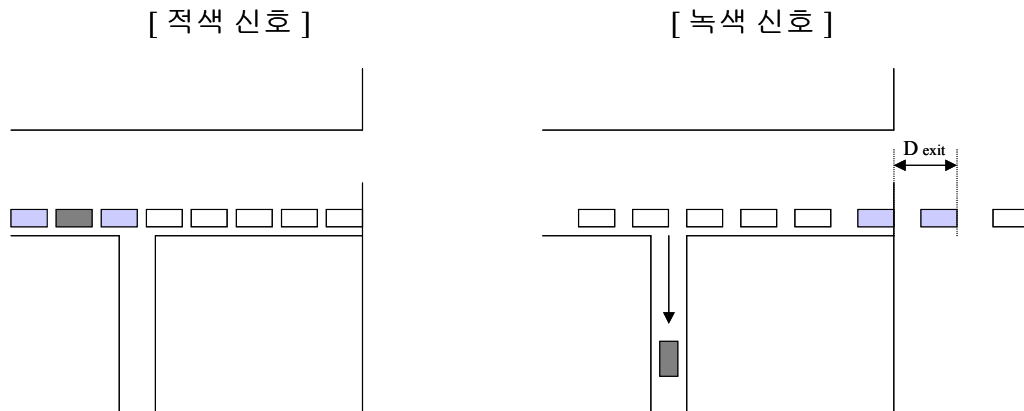
h_o : 정상상태의 포화차두시간(초)

만약, 진입차량에 의한 영향이 없으면, 차두시간의 변화가 없으므로 T_{enter} 는 0이 된다.

진출차량의 경우는 <그림 2>와 같이 녹색신호가 켜져서, 적색시간동안 도착한 대기차량이 움직일 때, 대기차량 중에서 한 차량이 본선에서 진출입로로 진출하는 경우, 이 진출차량을 기준으로 앞뒤 차량의 차두시간을 교차로 정지선을 통과할 때 측정한다. 그리고, 포화차두시간은 위에서 언급한 방법에 의해 측정한다. 이들 값을 다음 식에 대입하여 진출차량으로 인해 발생하는 영향정도(차두시간)를 산출한다.



<그림 1> 진입차량의 경우



<그림 2> 진출차량의 경우

$$T_{\text{exit}} = D_{\text{exit}} - h_o$$

여기서,

T_{exit} : 진출차량으로 인한 차두시간 증가치
(초)

D_{exit} : 진출차량의 선행행차량간 차두시간
(초)

h_o : 정상상태의 포화차두시간

만약, 진출차량에 의한 영향이 없으면, 차두시간의 변화가 없으므로 T_{exit} 값은 0이 될 것이다. 그리고, 진출입차량으로 인한 영향정도를 분석하기 위해서는 적색시간동안 대기차량이 진출입로의 위치보다 길게 발생되어야 한다.

Ⅲ. 현장조사

진출입로 보정계수를 결정하기 위해서 사용되는 T_{exit} 와 T_{enter} 은 직접 현장조사를 통해 결정한다. 본 연구에서는 예비조사를 걸쳐서 조사 방법을 검증한 후, 본조사를 실시하였다. 모든 현장조사는 서울 강남구를 대상으로 실시하였다.

3.1 예비조사

본 연구의 타당성 검증 및 현장 조사의 효율성을 높이기 위해서 예비조사를 2회에 걸쳐 실시하였다. 구체적인 조사 방법은 인접한 건물에서 조사장소를 비디오카메라를 이용하여 촬영하는 방법을 사용하였다.

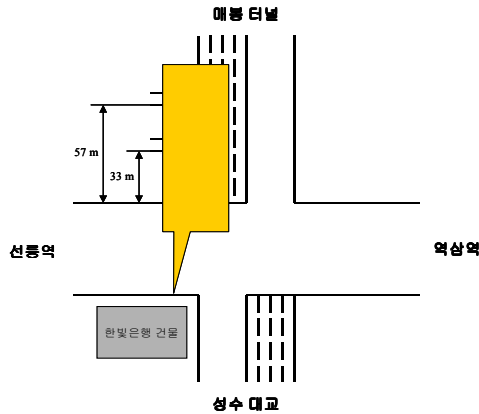
▷ 1차 예비조사(<그림 3> 참조)

- 일시 : 1999년 12월 17일 08:00 ~ 09:00
- 장소 : 서울 강남 상록회관 사거리
- 조사 : 한빛은행 건물 20층에서 조사 장소를 촬영

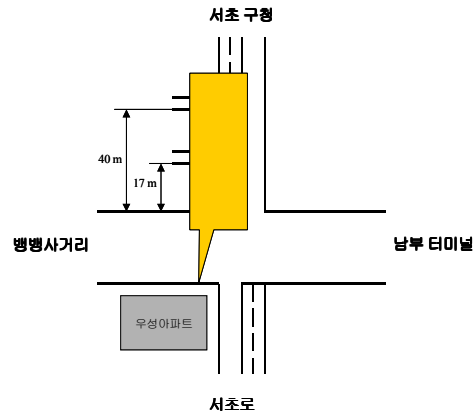
▷ 2차 예비조사(<그림 4> 참조)

- 일시 : 1999년 12월 28일 11:00 ~ 12:00
- 장소 : 서울 강남 서초소방서 앞 사거리
- 조사 : 우성아파트 옥상(13층)에서 조사 장소를 촬영

예비조사를 통한 자료의 분석 결과, 조사방법이 적절하다고 판단되었다. 그래서, 본격적으로 본조사를 수행하였다.



<그림 3> 1차 예비 조사



<그림 4> 2차 예비 조사

3.2 본조사

진출입로 보정계수 산출을 위해 사용되는 T_{exit} , T_{enter} 값을 산정하기 위한 현장조사를 실시하였다. 조사지역은 진출입로 거리가 다른 7지역을 선정해서 조사를 수행하였다. 조사 장소, 조사일시, 그리고, 기하구조(진출입로 거리)는 <표 1>과 같다. 그리고, 조사 방법은 위의 예비조사와 마찬가지로 건너편 건물에서 조사장소를 촬영하는 방법을 이용하였다.

3.3 자료 수집 및 정리

관측한 차두시간이 진출입로가 아닌 다른 요인에 의해 영향을 받는 것을 최소화하기 위하여, 가능한 한 다음과 같은 교통류 조건을 만족하는 경우에 한하여 자료를 수집하였다.

- 적색시간 동안 충분한 대기행렬이 발생되어야 한다.
- 녹색시간 동안 진출입 차량이 본선의 대기

< 표 1 > 현장조사의 장소, 일시 및 기하구조

	조사장소	조사일시	진출입로 거리(m)
1	교대앞 사거리 (교대입구거리 방향)	2000년 2월 24일 9:00 ~ 13:00	36
2	교대앞 사거리 (교대역 방향)	2000년 2월 24일 9:00 ~ 13:00	48
3	방배역 사거리 (남부순환로 방향)	2000년 2월 25일 8:00 ~ 12:00	47
4	교대역 시거리 (교대 방향)	2000년 2월 25일 15:00 ~ 19:00	35, 49
5	도곡동사무소앞 사거리 (남부순환로 방향)	2000년 2월 28일 15:00 ~ 19:00	25, 51
6	상록회관앞 사거리 (매봉터널 방향)	2000년 2월 29일 8:00 ~ 12:00	33, 57
7	서초소방서앞 사거리 (서초구청 방향)	2000년 2월 24일 15:00 ~ 19:00	17, 40

행렬로 진출입해야 한다.

- 대기차량은 승용차로만 구성되어야 한다.
- 모두 직진 차량이어야 한다.
- 모든 차량은 차로변경을 하지 말아야 한다.

조사지역이 녹화된 테이프는 비디오 편집기를 이용해서 육안으로 차두시간 자료를 수집하였다. 조사의 오차를 최소화하기 초당 30프레임의 속도로 테이프를 재생하여 관측하였다. 자료 정리 과정은 다음과 같다.

[단계1] h_o 측정

적색신호에서 녹색신호로 바뀔 때, 5대 이후 차량들에 대한 차두시간을 측정한다. 이들 값을 산술평균해서 최종 포화차두시간을 산출한다.

[단계2] D_{enter} , D_{exit} 측정

진입차량 및 진출차량으로 인해 변화된 차두시간을 측정한다.

[단계3] T_{exit} , T_{enter} 산출

수식을 이용해서, 진입차량 및 진출차량에 대한 차두시간 증가치를 산출한다.

$$T_{enter} = D_{enter} - 2 \times h_o$$

$$T_{exit} = D_{exit} - h_o$$

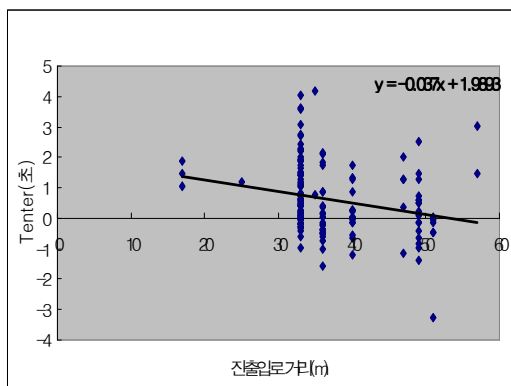
IV. 조사결과 분석

현장조사 결과, 진출입로 거리별로 평균 T_{enter} 와 T_{exit} 값을 살펴보면 <표 2>와 같다. 진출입로 거리가 작을수록 값은 증가하고, 커질수록 값은 감소하는 것을 알 수 있다.

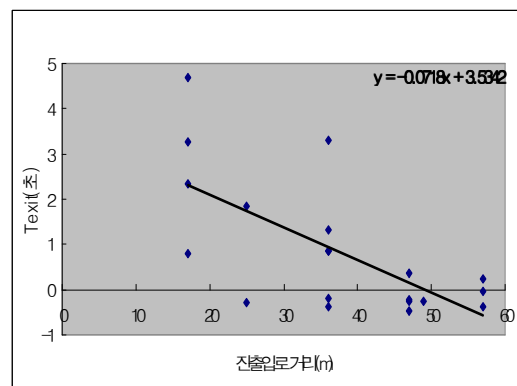
< 표 2 > 현장조사 결과

진출입로 거리(m)	T_{enter} (초)	T_{exit} (초)
17	1.47	2.78
25	1.17	0.79
33	0.93	.
35	2.47	.
36	0.12	0.96
40	0.21	.
47	0.75	-0.15
49	0.22	-0.26
51	-0.73	.
57	2.25	-0.06

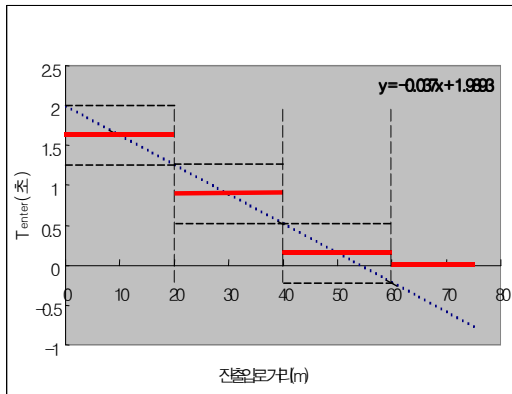
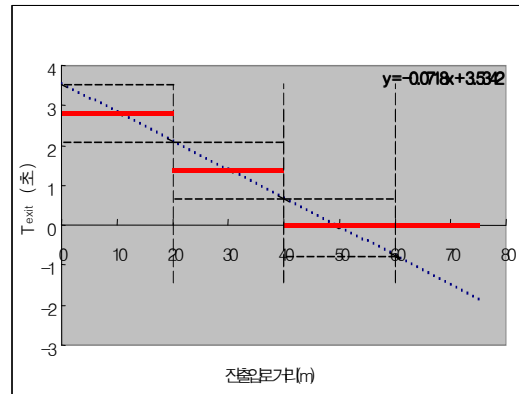
진출입로 거리와 차두시간의 증가치에 대한 관계는 <그림 5>와 <그림 6>에 나타난다. 진입차량과 진출차량에 따른 차두시간의 증가치는 진출입로 거리에 반비례하는 경향을 볼 수 있고, 직선 회귀분석식으로 경향을 표현할 수 있다.



< 그림 5 > 진출입로 거리와 T_{enter}



< 그림 6 > 진출입로 거리와 T_{exit}


<그림 7> T_{enter} 값의 산정

<그림 8> T_{exit} 값의 산정

차두시간 증가치를 반영할 때, 회귀식을 사용 하기보다는 진출입로 거리를 20m 간격으로 한 평균값을 사용하는 것이 편리할 것으로 판단되 어, <그림 7>과 <그림 8>에 제시된 바와 같이 결과치를 재조정하였다. 진출입로에서 개별 차 량의 진출입에 따른 차두시간의 증가치는 최종 적으로 <표 3>으로 정리된다. 참고로 McCoy⁴⁾ 결과와 비교하면, 본 연구 결과와 다소 차이는 있으나, 유사한 경향을 보이고 있다.

V. 진출입로 보정계수의 산출

진출입로에 대한 포화교통류에 대한 영향은 신호교차로의 최하위차로에 국한된다고 가정할 수 있다. 그러나, 최하위차로에만 영향을 주는 계수로는 진출입로 보정계수뿐만 아니라 우회전 보정계수, 주차보정계수, 버스정류장 보정계수 등이 있다. 따라서, 최하위차로에 영향을 주는 보정계수는 통합하여 산출하는 것이 바람직하 다.

현재, 개정작업이 진행중인 도로용량편람⁵⁾에 서는 우회전차로의 보정계수는 우회전차로에서 의 측면마찰 직진환산계수의 개념을 사용하여 우회전, 진출입로, 주차, 버스정류장의 영향을 통합하여 적용하도록 하였다. 본 연구에서도 동 일한 방법을 이용하여 진출입로 보정계수를 통 합 적용하였다. 따라서, 진출입로의 영향은 별도 의 보정계수를 사용하지 않고, 측면마찰 직진환 산계수에 진출입로로 인한 시간당 손실시간 (L_{dw})으로 포함된다. 예를 들어, 도류화되지 않은 공용 우회전차로의 측면마찰 직진환산계수 (E_{S1})는 다음의 식과 같다. 구체적인 개념과 방법은 참고문헌⁵⁾을 참조하기 바란다.

$$E_{S1} = 1.16 + \frac{2200}{V_R} \left\{ \frac{f_c G_p}{C} + \frac{(L_{dw} + L_{bb})}{3600} + (E_{PK} - 1) \right\}$$

<표 3> 본 연구와 McCoy의 T_{enter} 과 T_{exit} 값 비교

진출입로 거리(m)	T_{enter} (초)		T_{exit} (초)	
	본 연구	McCoy	본 연구	McCoy
20 미만	1.60	·	2.90	·
20 ~ 40	0.90	1.05	1.20	1.93
40 ~ 60	0.20	-0.08	0.00	1.17
60 이상	0.00	·	0.00	·

여기서,

V_R : 우회전 교통량(대/시)

f_c : 우회전 차량이 이용할 수 없는 횡단보도
신호시간의 비율

G_p : 보행자 횡단시간(초)

C : 주기(초)

L_{bb} : 버스정류장으로 인한 시간당 손실시간
(초)

E_{PK} : 노상주차 영향에 따른 직진환산계수

위의 식에 포함된 진출입로로 인한 손실시간
(L_{dw})는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$L_{dw} = \sum_{i=1}^n (T_{enter,i} \times Vol_{enter,i}) + \sum_{j=1}^m (T_{exit,j} \times Vol_{exit,j})$$

여기서,

n : 진입로 수(개)

m : 진출로 수(개)

$Vol_{enter,i}$: 진입로 i 에서 본선으로 진입하는
진입차량의 교통량(대/시)

$Vol_{exit,j}$: 본선에서 진출로 j 로 진출하는 진
출차량의 교통량(대/시)

위의 식을 적용할 때, 영향권내에 복수개의 진출입로가 존재하는 것을 감안해야 한다. 양방향 통행하는 진출입로의 경우는 진입차량과 진출차량을 별도로 적용해야 한다. 진출입차량으로 인한 차두시간 증가치($T_{enter,i}$, $T_{exit,j}$)는 <표 3>의 값을 이용하면 된다. 결국, 우회전 차로 또는 최하위차로의 측면마찰의 직진환산계수를 결정하는 과정에서 진출입로로 인한 손실시간을

알고자 할 때, 본 연구에서 제시한 방법과 값을 적용하면 된다.

VI. 결론

교차로에 인접한 진출입로가 교차로의 교통 흐름에 영향을 주게 된다. 녹색시간 동안 진출입로로부터 차량이 발생되면, 본선 차량의 진행은 방해받게 된다. 이런 이유로, 기존 도로용량편람에서는 신호교차로로부터 75m 이내에 진출입로가 있지 않은 경우를 이상적인 조건으로 제시하고 있다. 그러나, 75m 이내에 진출입로가 존재할 경우에 대한 분석방법은 언급하고 있지 않다.

본 연구는 신호교차로에 대한 진출입로의 영향을 분석하여 진출입로 보정계수 산출에 대한 분석방법론을 개발하였다. 교차로에 대한 진출입로의 영향정도를 반영하는 방법으로 포화교통류율을 보정하는 방법을 선택하였으며, 이를 위해 진출입로 보정계수를 산출하는 방법론을 제시하였다. 현장조사를 통해 실제 진출입로 보정계수를 산출해서 적용해 보았다. 본 연구로부터 얻어진 성과는 다음과 같다.

첫째, 신호교차로에 대한 진출입로의 영향을 분석하였다.

둘째, 진출입로 보정계수 산출에 대한 방법론을 제시하였다.

셋째, 현장조사를 통해서 진출입로 보정계수를 산출하였다.

본 연구에서 제안한 계수치는 서울시의 일부 교차로를 중심으로 조사하여 제시된 것이다. 많은 표본을 사용하면, 더욱 현실적인 계수치를 구할 수 있을 것이다. 이 점은 향후 연구과제로 한다.

<참 고 문 헌>

1. 건설부, 도로용량편람, 1992
2. TRB, Highway Capacity Manual, 1985, 1994, 2000
3. 교통개발연구원, 한국건설기술연구원, 대한교통학회, 도로용량편람 개선연구-제2단계, 건설교통부, 2000
4. McCoy, P. T. and Heimann, J. E., Effect of Driveway Traffic on Saturation Flow Rates at Signalized Intersection, ITE Journal, Feb. 1990
3. 대한교통학회, 교통개발연구원, 한국건설기술연구원, 한국 도로용량편람 개선연구, 2000년 제2차 학술토론회, 2000