

■ 論 文 ■

신호교차로에서 곡선반경에 따른 좌회전의 직진환산계수 산정

Estimation of the Through Car Equivalent for Left-Turn Movement According to the Left-Turn Curve Radius in the Signalized Intersection

오 영 태

(아주대학교 환경·도시공학부
교통공학전공 부교수)

김 기 형

(아주대학교 교통공학과 석사과정)

목 차

- I. 서론
 - II. 분석방법론
 - 1. 연구수행절차
 - 2. 포화대기위치 선정 및 포화교통류율 산정
 - III. 자료의 조사 및 정리
 - 1. 조사방법
 - 2. 조사지점 선정기준
 - 3. 조사지점
 - IV. 조사 결과 분석
 - 1. 포화차두시간산정
 - 2. 회귀식 도출
 - 3. 곡선반경 영향분석
 - V. 좌회전의 직진환산계수 산출
 - 1. 산출방법
 - 2. 산출결과
 - VI. 결론 및 향후 과제
- 참고문헌

Key Words : Highway capacity(도로용량), Left turn(좌회전), Through car equivalent(직진환산계수)

요 약

본 연구는 다양한 좌회전 곡선반경을 갖고 있는 교차로에서의 좌회전 포화교통류율의 분석을 통하여 좌회전의 직진환산계수를 산정하는 것이다. 한국 도로 용량편람에서는 곡선반경이 약 20m 이상인 곳에서는 좌회전 전용차로에 대하여 직진과 같은 포화교통류율을 보이는 것으로 조사되어 좌회전 보정계수는 없는 것으로 제안하고 있다. 하지만 KHCM은 간선도로 위주로 조사 분석되어 곡선반경이 20m 이하인 교차로가 제외되어 있다. 이에 본 연구에서는 좌회전 전용차로 1개를 갖고 곡선반경이 20m 이하인 교차로 포함하여 다양한 곡선반경 가진 교차로를 대상으로 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 포화교통류율을 산출하는데 있어서 분산분석의 후속단계인 다중비교(Multiple comparison)방법중 던컨검정(Duncan's Test)을 이용하였다. 본 연구에서 산정된 좌회전의 직진환산계수는 도로용량편람에서 교차로 분석시 교차로 곡선반경을 반영한 정확한 포화교통류율을 산정 할 수 있다. 본 연구의 결과는 좌회전 곡선반경 20m 미만 교차로에서의 좌회전 S는 직진포화교통류율 보다 낮게 결과가 나타났다. 이를 직진환산계수화 시키면 좌회전 곡선반경에 따라서 1.05에서 1.14사이다.

1. 서론

현재 우리나라 대부분의 도시는 급격한 교통 수요의 증가로 신호교차로에서 각 방향별 교통류의 상충이 일어나 교통 소통에 막대한 피해를 주고 있다. 특히, 좌회전은 신호교차로의 용량을 떨어뜨리는 주요 원인 이므로 정확한 좌회전 보정계수를 산출하는 것이 필요하다. 도로시설을 계획하고 설계하는 경우 용량을 정확하게 파악하고 또한 장래의 교통량 증가를 고려하여 계획과 설계기준을 마련해야 한다. 이러한 신호 교차로 용량의 결정은 포화교통류율의 개념에서 시작 하게 되며, 이러한 포화교통류율은 교차로의 도로조건과 교통조건 등의 영향을 받는다. 그러나 한국 도로용량편람(92)에는 간선도로 위주로 조사 분석되어 곡선반경이 20m 이하인 교차로가 제외되어 있다. 본 연구의 범위는 다양한 좌회전 곡선반경을 가진 전용 1개 차로 보호좌회전을 가진 교차로를 대상으로 하고, 본 연구의 목적은 구시가지, 신시가지, 집산 도로 등의 다양한 곡선반경의 교차로에서 곡선반경에 따른 좌회전 교통류율의 영향도를 분석하여 보다 정확한 보호좌회전의 직진환산계수를 제시하는데 있다.

II. 분석방법론

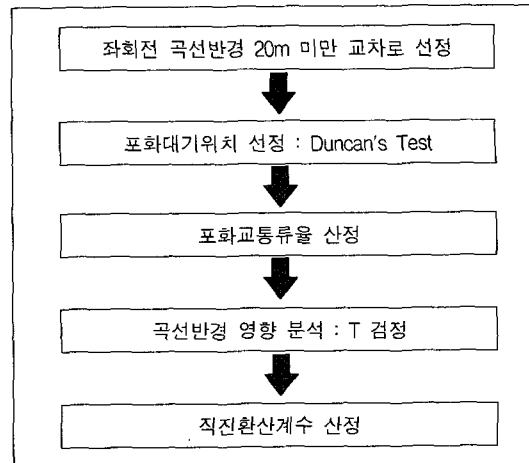
1. 연구수행절차

본 연구의 연구수행절차는 <그림 1>과 같다. 먼저 좌회전 곡선반경이 20m 미만인 교차로와 그이상의 대형 교차로를 선정하여 자료를 수집하며, 이 자료를 토대로 각 지점에서 던컨검정을 이용하여 포화대기위치를 선정하게 되며, 선정된 포화대기위치로부터 포화차두시간 및 포화교통류율을 산정할 수 있다. 산정된 포화교통류율로 좌회전의 곡선반경의 영향이 반영되는 곡선반경을 알아내기 위해 T검정을 실시한 후 좌회전의 직진환산계수를 산정 한다.

2. 포화대기위치 선정 및 포화교통류율 산정

1) 포화대기위치 결정

포화교통류율의 산정을 위해서는 포화차두시간에 대한 분석이 선행되어야 한다. 즉, 출발순실시간을 겪지 않고 포화된 상태에서 교차로를 통과하는 차량들의



<그림 1> 연구수행절차

포화차두시간으로부터 포화교통류율은 계산된다. 이러한 포화차두시간의 산정은 조사된 차량들의 차두시간 자료로부터 포화차두시간으로 통과하기 시작하는 차량의 대기위치를 분석하고 포화대기위치 이후의 대기차량들의 차두시간 분석을 통하여 산정 된다. 포화차두시간 및 포화대기위치 결정을 위한 방법은 아래와 같이 크게 3가지로 구분 지을 수 있다.

- 평균 분석 방법
- 분산분석의 후속단계인 다중비교(Multiple comparison)방법 : 던컨 검정(Duncan's test), 투키 검정(Tukey's procedure)
- 회귀분석 방법 : 선형회귀분석, 비선형회귀분석

평균분석방법은 포화구간을 결정함에 있어서 통계적으로 합리적인 절차에 의한 것이 아니라 주관적인 판단에 의해 좌우되는 단점이 있다. 회귀분석의 경우 출발순실시간을 겪는 차량들의 차두시간과 포화구간 내의 차두시간은 특성이 다르기 때문에, 동일한 회귀식을 이용하는 것은 회귀분석모형의 기본적인 가정에 위배된다. 그러므로 이 모형을 이용해서 포화구간을 산정하는 것은 바람직하지 않다.

본 연구에서는 분산분석의 후속단계인 다중비교 방법 중에서 던컨검정법을 이용하여 포화차두시간 및 포화대기위치를 결정하였다.

던컨 검정은 스튜던트화 범위의 일반적인 개념에 근거하고 있다. p개 평균의 어느 것도 다르다고 판정 되기 전에 p개 표본평균의 모든 부분집합의 범위가

어떤 값보다 커야한다. 이 값을 p 평균에 대한 최소유의 범위(least significant range)라고 하고 R_p 로 표기하며 아래의 식(1)과 같다.

$$R_p = r_p \sqrt{\frac{s^2}{n}} \quad (1)$$

여기서,

R_p : 최소유의범위

r_p : 스튜던트화 최소유의범위(least significant studentized range)

s^2 : 분산

n : 처리 당 관찰수

위의 식에서 스튜던트화 최소유의범위라고 부르는 r_p 값은 유의수준과 오차제곱평균의 자유도에 따라 달라진다.

던컨검정으로 포화대기위치를 알 수 있으며, 포화대기위치가 결정되면 포화차두시간을 산정 할 수 있다. 포화차두시간으로 포화교통류율을 산정하고 이러한 포화교통류율 값을로서 회귀식으로 모형화 할 수 있다.

회귀식의 모형과 그래프형태는 결과분석에서 자세히 다루었다.

III. 자료의 조사 및 정리

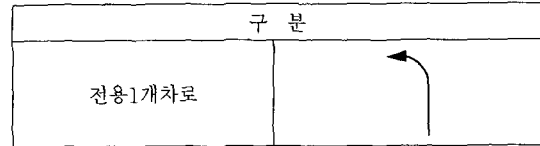
1. 조사방법

자료수집은 조사원이 직접 현장에서 stop watch 를 이용하여 직접 조사한다. 곡선반경에 따른 정확한 포화 차두시간 및 포화구간을 산출하기 위해서는 대기차량의 개별 차두시간을 정확하게 측정하여야 한다. 본 연구에서는, 녹색시간이 켜지고 차량이 출발하면 각 차종별로 차량의 뒷범퍼를 기준으로 차량이 정지선을 통과하는 시점을 관측하여 차량간의 차두시간으로 한다. 단, 중차량이 포함된 신호주기와 앞막힘 현상이 있는 주기는 제외하기로 한다.

본 연구에서 좌회전이 전용 1개 차로인 경우에 한하여 수행한다. 그 예는 <표 1>에 나타내었다.

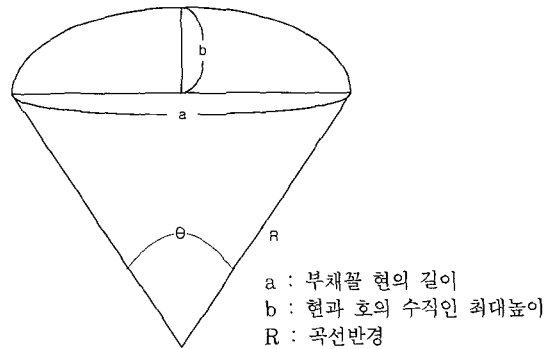
선정된 신호교차로에 대해서는 반드시 정확한 곡선반경의 측정이 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 다

<표 1> 연구대상 좌회전 차로



양한 곡선반경을 가지는 신호교차로의 선정을 위해서 먼저 문헌조사를 통해서 일차로 분석대상 신호교차로를 선정한 후 분석대상 교차로에 대한 정확한 곡선반경의 측정을 한 후 최종선정 하기로 한다.

분석대상 교차로의 곡선반경은 아래의 방법에 따라 실측한다.



여기에서 $\frac{(\frac{a}{2})}{R} = \sin \frac{\theta}{2}$, $\frac{(R-b)}{R} = \cos \frac{\theta}{2}$

이므로 $(\sin \theta)^2 + (\cos \theta)^2 = 1$ 에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$R = \frac{(a^2 + 4b^2)}{8b}$$

따라서 a와 b를 측정하여 곡선반경 R을 측정한다.

2. 조사지점 선정기준

본 연구에서는 곡선반경에 따른 포화 차두시간을 산출하기 위해서는, 다음의 선정기준에 따라 표본 신호교차로를 선정하기로 한다.

첫째, 곡선반경이 약 8m에서 26m이내의 다양한 신호교차로

둘째, 좌회전 전용 1개차로를 갖는 신호교차로

셋째, 이상적인 조건을 갖는 신호교차로(단, 이상적인

조건이 아닌 곳은 보정계수 사용) 이어야하며 신호교차로에서의 이상적인 조건은 아래 표와 같다.

차로폭	3.0m/차로 이상
구배	0%
교통류구성	모두 승용차로 구성 될 것

넷째, 충분한 좌회전 대기차량(10대 이상)이 있는 신호교차로

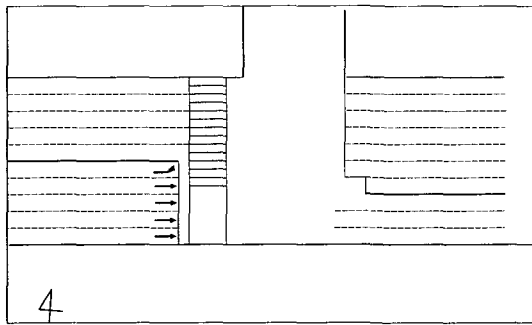
위와 같은 조사지점 선정기준에 따라 교차로를 분석한다.

3. 조사지점

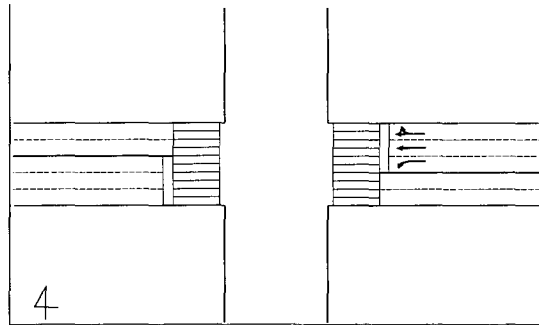
조사지점은 다양한 곡선반경이 있는 교차로를 대상으로 선정하였으며, 도로의 기하구조에 관한 자료는 아래 <표 2>와 같은 현황으로 이루어져있다. 교차로의 곡선반경의 영향에 의한 좌회전 보정계수의 산정을 위해 조사지점의 곡선반경을 아래 표와 같이 고루 분포된 지점을 대상으로 조사를 실시하였다. 지점의 곡선반경을 아래 표와 같이 다양하게 조사지점선정조건에 따라 아래와 같은 각각의 조사지점을 선정하였다. 조사지점의 기하조건은 <표 2>, <그림 2>, <그림 3>, <그림 4>, <그림 5>.

<표 2> 좌회전 전용차로 조사지점

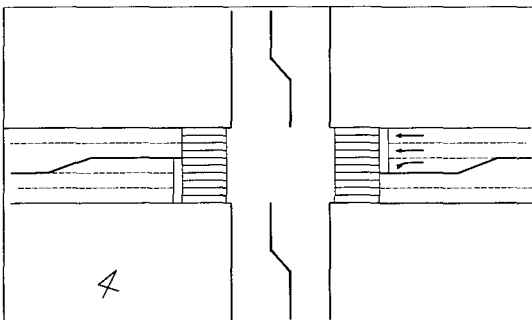
번호	지점	수집주기	교통량	곡선반경	차로폭	조사이동류 방향	접근 차로수	좌회전차로 구분
1	용인영일중 입구	20	350	26	3.0	W → N	편도 5차로	전용1차로
2	동수원 사거리	20	344	24	3.1	S → W	편도 4차로	전용1차로
3	수원 농협사거리	20	350	22	3.0	S → W	편도 4차로	전용1차로
4	수원정자 사거리	24	340	20	3.0	E → S	편도 3차로	전용1차로
5	석촌 호수 서측 교차로	18	340	18	3.0	E → S	편도 3차로	전용1차로
6	수지교회 앞 사거리	20	156	15	3.3	N → E	편도 3차로	전용1차로
7	안양시 선경아파트 사거리	20	56	12	3.5	E → S	편도 3차로	전용1차로
8	부평 롯데 백화점 입구	20	292	9.5	3.0	E → S	편도 3차로	전용1차로



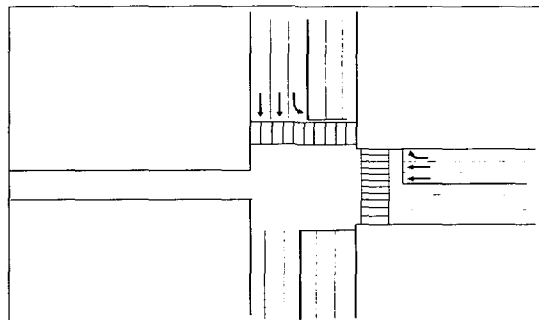
<그림 2> 용인 영일중 앞 좌회전 전용차로 조사지점



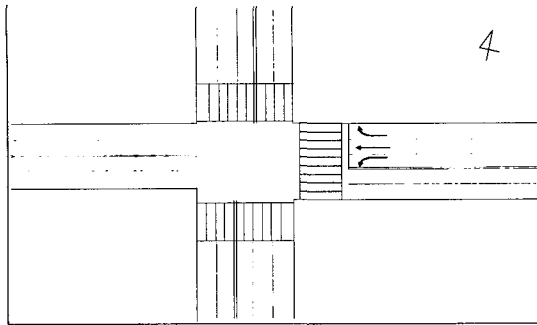
<그림 4> 석촌호수 서측 교차로 좌회전 전용차로 조사지점



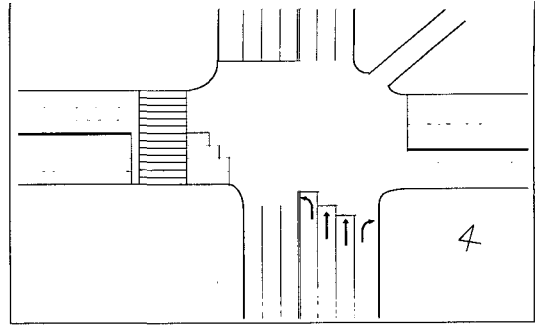
<그림 3> 수원 정자 사거리 좌회전 전용차로 조사지점



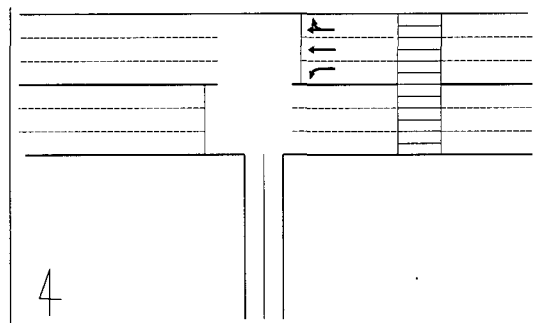
<그림 5> 수지 교회 앞 사거리 좌회전 전용차로 조사지점



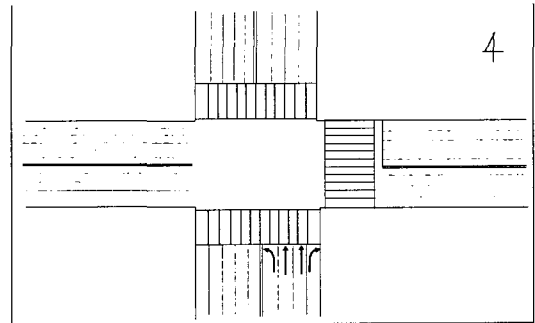
〈그림 6〉 안양 선경아파트 앞 좌회전 전용차로 조사지점



〈그림 8〉 동수원 사거리 좌회전 전용차로 조사지점



〈그림 7〉 부평 롯데 백화점 입구 좌회전 전용차로 조사지점



〈그림 9〉 수원 농협 사거리 좌회전 전용차로 조사지점

〈그림 6〉, 〈그림 7〉, 〈그림 8〉, 〈그림 9〉와 같다.

IV. 조사결과 분석

1. 포화차두시간산정

조사대상으로 선정된 교차로의 좌회전 교통류에 대한 포화교통류율을 분석하였다. 자료 수집시에는 대형차가 포함되지 않은 경우의 자료만을 수집하였다. 포화차두 구간의 결정을 위해서는 다중비교 방법 중 던컨 검정을 이용하였다.

분석은 통계전용 패키지인 SAS를 이용하였다. SAS를 이용한 이유는 표본수가 동일하지 않은 경우에도 분석을 수행할 수 있는 PROC GLM(General Linear Model)을 이용할 수 있기 때문이다.

선정기준에 따라 선정된 교차로에서 조사된 자료의 포화 차두시간을 갖게되는 차량의 위치는 던컨 검정을 통해 결정하며 그 결과는 〈표 3〉과 같이 나타났다.

〈표 3〉에서 알 수 있듯이 전체 자료에 대한 던컨 검정 결과, 차량의 대기 위치 4~5대 이후부터 동일한 차두시간을 나타내는 것을 알 수 있다. 이에 따라 좌

회전 포화교통류율은 5대 이후부터의 평균차두시간을 포화 차두시간으로 산정 하였다. 〈표 4〉는 SAS를 이용한 던컨 검정결과를 토대로 산정한 포화교통류율을 보여주고 있으며 표에서 알 수 있듯이 조사지점의 좌회전 포화차두시간은 1.747초로 KHCM에서 제시한 직진포화차두시간 1.63에 비해 약 0.117초 높게 나타났다.

2. 회귀식 도출

선정 기준에 따른 다양한 곡선반경을 갖는 교차로의 좌회전 전용차로를 조사하여 분석한 결과 아래와 같이 회귀식을 도출 할 수 있었다. 여러 가지 형태의 회귀식 가운데 로그형태의 회귀식이 가장 적합한 것으로 나타났다. 〈그림 10〉은 실측자료와 각 모형별 회귀식을 보여주고 있다. 도출된 회귀식은 다음과 같다.

$$Y = -0.1928 \ln(x) + 2.2976 \quad R^2 = 0.9764$$

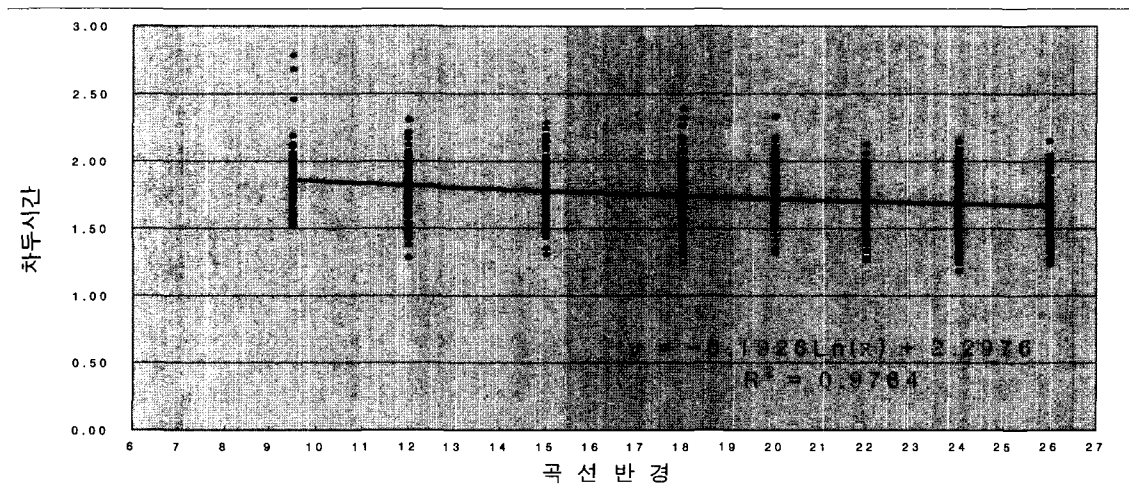
〈그림 10〉은 도출된 회귀식을 나타내는 그림이다.

<표 3> 좌회전 전용차로의 던컨 검정 결과

구 분	Grouping	차량대기 위치	구 분	Grouping	차량대기 위치
용인 영일중 입구	A	1	안양시 선경아파트 앞	C	4~6
	B	2~4		D	5~12
	C	5~13	부평 롯데 백화점 입구	A	1~3
수원 정자 사거리	A	1~4		B	2~6, 8
	B	3~12		C	3~6, 8~10, 12~14
	C	4~13		D	4~14
석촌 호수 서측 교차로	A	1	젤리아 백화점 앞	A	1
	B	2~4		B	2~4, 6, 14
	C	4~12		C	3~6, 9, 11, 14
수지교회 앞 사거리	A	1		D	5~14
	B	2~3	부평 롯데 백화점 입구	A	1
	C	4		B	2~3
	D	5~11		C	3~4
안양시 선경아파트 앞	A	1		D	4~5, 8~9
	B	2~4	E	5~13	

<표 4> 좌회전포화교통류율

구 분	곡선반경	주기수	포화차두시간	포화교통류율	
좌회전 전용차로	수원 정자 사거리	20m	20	1.719	2.095
	석촌 호수 서측 교차로	18m	18	1.740	2.069
	수지교회 앞 사거리	15m	24	1.795	2.005
	안양시 선경아파트 앞	12m	20	1.818	1.980
	부평 롯데 백화점 입구	9.5m	20	1.857	1.938



<그림 10> 로그모형 회귀식

3. 곡선반경 영향분석

〈표 5〉와 같이 귀무가설이 직진포화교통류율과 본 연구에서 조사한 곡선반경별 좌회전 포화교통류율과의 평균이 같다는 가정 하에 실시한 t검정 결과 곡선반경에 따라 곡선반경이 20m 이하에서는 좌회전 포화교통류율이 좌회전 곡선반경에 영향을 받는 것으로 나타났다.

그러므로 곡선반경에 따른 좌회전 전용차로의 보정계수는 좌회전 곡선반경 20m 이하의 교차로에서의 보정계수를 구하기로 한다.

〈표 5〉 T 검정결과

곡선반경	T-통계량	기각역	기각여부
26M	-0.403	2.093	기각 못함
24M	1.834	2.093	기각 못함
22M	1.126	2.093	기각 못함
20M	4.792	2.093	기각
18M	3.951	2.110	기각
15M	5.553	2.069	기각
12M	10.124	2.093	기각
9.5M	15.296	2.093	기각

V. 좌회전의 직진환산계수 산출

1. 산출방법

본 연구에서는 각각의 신호교차로에서 수집한 매 주기마다의 포화교통류율을 다중평균 회귀분석하여 곡선반경에 따른 좌회전 보정계수를 산정한다. 이러한 좌회전 보정계수의 산출을 위해서는 곡선반경에 따른 좌회전 포화교통류율을 산출하고, 다음과 같이 곡선반경에 따른 좌회전 보정계수를 산정한다.

$$f_{RLT} = \frac{S_{LT}}{S_0}$$

여기서

f_{RLT} : 곡선반경에 따른 좌회전 전용 1차로 보정계수

S_{LT} : 곡선반경에 따른 좌회전 포화교통류율 (pcphgpl)

S_0 : 기본포화교통류율(2200pcphgpl)

위에서 산정된 좌회전 보정계수와 아래의 식을 이용하여 좌회전의 직진환산계수를 산출하게 된다.

$$E_L = \frac{1}{f_{RLT}}$$

여기서

f_{RLT} : 곡선반경에 따른 좌회전 전용 1차로 보정계수

E_L : 좌회전 차량의 직진환산계수

2. 산출결과

곡선반경에 따른 좌회전 전용 1차로 보정계수를 산정하기 위해서는 회전 곡선반경이 20m 이하가 되는 신호교차로의 보정계수를 보정하는 것이 바람직하다. 왜냐하면 던킨검정 결과 좌회전 곡선반경이 20m 이하와 그 이상으로 구분되어 좌회전 포화교통류율이 차가 있는 것으로 판명되었고 그 보다 큰 신호교차로에서 좌회전 포화교통류율과 직진 포화교통류율은 차가 없는 것으로 입증되었다.

포화교통류율의 분석결과에서 나온 포화교통류율의 변화를 토대로 좌회전보정계수를 산정 하였으며 회귀 모형은 분석결과로 나온 선형회귀모형을 이용하였다. 최종적으로 제시된 곡선반경에 따른 좌회전의 직진환산계수 값은 〈표 6〉에 나타나있다.

〈표 6〉 곡선반경에 따른 좌회전의 직진환산계수 제안값

곡선반경	제안 직진환산계수 값
9m	1.14
12m	1.11
15m	1.09
18m	1.06
20m	1.05
20m 이상	1.00

VI. 결론 및 향후 과제

본 연구는 20m 이하의 곡선반경이 작은 교차로에서 다양한 곡선반경하에 좌회전 전용 1개 차로에 대한 좌회전의 직진환산계수를 분석하였다. 본 연구의 결과는 앞으로 신호교차로에서의 용량분석에 있어서 곡

선반경의 크기가 신호교차로의 용량에 영향을 끼침을 알 수 있었다.

본 연구의 기대효과로는 곡선반경이 작은 오래된 교차로나 지방부의 신호교차로의 서비스 수준 분석에 있어 좌회전의 직진환산 계수를 적용함으로써, 좀더 정확한 신호교차로의 운영 분석에 기여 할 수 있다고 판단된다. 또한 신신호 시스템에서 신호시간 설계 시에도 좌회전의 수요에 못 미치는 좌회전 신호시간에 대한 새로운 한계차두시간 설정 등에 도움을 줄 수 있으며 따라서 신호교차로의 운영효율을 증대시키는 데 기여할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 건설부, 도로용량편람, 大韓交通學會, 1992.
2. 건설부, 도로용량편람 연구조사(제3단계 최종보고서), 한국건설기술연구원, 교통개발연구원, 1992.
3. 교통과학연구원, 노면표시 설치기준 및 규정 개선 연구(I), 도로교통안전관리공단, pp.19~20, 1998.
4. 김용석, 포화구간 설정 및 포화교통류를 변화에 관한 연구, 아주대학교 석사학위논문, 1994.
5. 김충련, SAS라는 통계상자 -통계분석 및 시장조사 기법을 중심으로-, 데이터 리서치, 1994.
6. 도로교통안전협회, 좌회전 교통류 관리방안에 관한 연구, 1997.
7. 이호원, 신호교차로에서 곡선반경에 따른 좌회전 보정계수의 영향 분석, 아주대학교 석사학위논문, 1995.
8. 정수일 외4인, 공업통계학, 靑文閣, 1998.
9. 이종원 최현집 공저, SAS를 이용한 통계 분석, 博英社, 1996.
10. 성내경, SAS 시스템과 SAS 언어, 自由 아카데미, 1990.
11. TRB, Highway Capacity Manual, Special Report 209, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2000.
12. Robert W. Stokes, Vergil G. Stover, and Carroll J. Messer, "Use and Effectiveness of Simple Linear Regression To Estimate Saturation Flow at Signalized Intersection," Transportation on Research Record 1091, TRB, pp.95~101. 1986.

✉ 주 작 성 자 : 오영태

✉ 논문투고일 : 2000. 12. 30

논문심사일 : 2001. 2. 15 (1차)

2001. 2. 27 (2차)

심사판정일 : 2001. 2. 27