

비보호좌회전 신호체계운영에 따른 좌회전 대기행렬분석에 관한 연구

A Study on Left-turn Queues Analysis using Queueing Theory under Permissive Left-turn Signal System

김갑수* · 정자영**

Kim, Kap Soo · Jung, Ja Young

Abstract

In this study, the optimal length of left-turn lane in permissive left-turn signal system at the signalized intersection which has a left-turn bay is estimated. It is a simulation analysis using the queueing theory that estimate the length of left-turn lane. Traffic density conform to the standards of operating a permissive left-turn system of the Practical Manual Traffic Safety Facilities. And each of a left-turn arrival rate, a left-turn service rate, left-turn average queueing time, for green time average queueing vehicle, for red time average queueing vehicle and average queueing vehicle cycle is calculated. As a result of this study, we would learn how much the space should be secured at the signalized intersection which has a left-turn bay. The methodology using the queueing theory to work out the optimal length of waiting lane in the permissive left-turn signal system was presented.

Keywords : *permissive left-turn, queueing theory, left-turn bay, signalized intersection*

요 지

본 연구에서는 좌회전배이가 있는 신호교차로에서 비보호좌회전 신호체계운영에 따른 적정 좌회전 대기차로 길이를 산정하였다. 대기행렬이론을 이용한 시뮬레이션 분석을 통하여 좌회전 대기차로 길이를 산정하였다. 교통량은 교통안전시설실무편람의 비보호좌회전 시행기준에 준거하였으며, 각각의 좌회전 도착률, 서비스율, 좌회전 평균 대기시간, 녹색시간동안 평균 대기차량대수, 적색시간동안 평균대기차량대수, 주기당 평균대기차량대수를 구하였다. 본 연구의 결과로 좌회전배이가 있는 신호교차로에서 비보호좌회전으로 운영될 경우 얼마나 충분한 좌회전 대기공간이 확보되어야 하는지 알아보고, 비보호좌회전 신호체계운영에 따른 좌회전 대기차로 길이 산정에 대한 방법론을 대기행렬이론을 이용하여 제시하고자 하였다.

핵심용어 : 비보호좌회전, 대기행렬이론, 좌회전 Bay, 신호교차로

1. 서 론

우리나라의 교통운영체제는 비엔나 협약 등과 같은 국제표준과는 상이한 교통운영체제를 가지고 있다. 그리고 불합리한 운영체제로 교통사고, 만성지체, 온실가스, 범규위반 등 많은 문제점을 지니고 있다. 특히 차량대수의 증가에 따른 통행량 증가에 대한 문제점은 한정된 도시도로의 통행밀도를 높여 대도시의 신호교차로는 대부분 포화상태에 이르고 있는 실정이다.

이에 국가경쟁력강화위원회에서는 ‘교통운영체계 선진화방안’의 추진방안으로, 그 중 하나인 좌회전 처리방식 개선을 통한 소통제고의 방안으로 비보호좌회전을 단계적으로 확대 시행한다는 내용이 있다. 직진우선의 신호원칙 확립 추이를 보아가며 비보호좌회전을 단계적으로 확대하고, 비보호좌회

전 정착 추이를 보아가며 녹색 신호시에 좌회전을 원칙적으로 허용한다는 내용이다.

비보호좌회전은 대향 직진 교통량과 좌회전 교통량이 적어 별도의 좌회전 신호 없이도 좌회전 교통류가 대향 직진 차량들의 차두간격을 이용해 좌회전이 가능하여 일정시간 동안에 좌회전 수요를 처리할 수 있을 경우 운영되는 데, 우리나라에서는 일부 지역에 한정적으로 사용하고 있다. 또한 우리나라 신호교차로 중 일부는 비보호좌회전 형태로 처리하면 교통소통 능력을 상당히 향상시킬 수 있는데도 불구하고 안전상의 문제와 관계자의 인식부족으로 신호교차로를 효율적으로 운영하지 못하는 곳이 많은 실정이다.

비보호좌회전의 효율성을 높이기 위해서는 좌회전 전용차로나 베이와 같은 좌회전 대기공간의 확보가 필요하다. 이는 좌회전 교통류가 대향 직진 차량들의 적정한 차두간격을 받

*정회원 · 영남대학교 도시공학과 교수 (E-mail : k4195kim@hanmail.net)

**교신저자 · 영남대학교 도시공학과 석사 (E-mail : urban85@naver.com)

전해 좌회전을 원활히 수행하기까지 동일 방향 직진 교통류에게 방해를 주지 않고 대기할 수 있는 공간을 확보하여 교차로의 교통처리용량을 증가시킬 수 있기 때문이다.

특히 비보호좌회전 방식의 적용을 판단할 때 대향 직진 및 좌회전교통량의 규모를 이용하는데, 좌회전차로의 형태가 베이인 경우 교통용량을 초과하게 되면 좌회전 대기행렬로 인해 직진차량의 소통 및 안전에 영향을 미치게 된다.

이에 본 연구에서는 좌회전베이가 있는 신호교차로에서 비보호좌회전으로 운영될 경우, 대기행렬이론을 이용한 시뮬레이션 분석을 통하여 적정 좌회전 대기차로 길이를 구하고자 하였다. 대기행렬이론을 이용한 시뮬레이션 분석을 통하여 좌회전 도착률, 좌회전 서비스율, 좌회전 평균대기시간, 주기당 평균대기차량대수를 구하고 좌회전베이가 있는 신호교차로 상에서 비보호좌회전을 하기 위해 얼마나 충분한 좌회전 대기공간이 확보되어야 하는지를 알아보하고자 하는 데 목적을 두고 연구를 진행하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 교차로 운영 통제방식

신호교차로에서 회전 통제방법은 보호좌회전, 비보호좌회전, 보호/비보호좌회전, 좌회전 금지 통제방식 등이 있다. 이와 같은 회전 통제방법은 교차로에서 차량과 차량, 차량과 보행자 간의 상충 감소, 사고 위험성을 감소, 차량 지체 감소, 교차로 용량 증대, 차량의 원활한 소통 증대 등의 목적을 갖고 있다. 우리나라의 경우 보호좌회전 통제방식이 주종을 이루고 있으며 최근 신호교차로의 운영 효율화를 위해 비보호좌회전 도입을 적극 추진하고 있다.

2.1.1 보호좌회전의 통제방식

보호좌회전은 좌회전 현시가 있는 통제방식으로 좌회전 현시와 동시신호 현시로 구분되며, 전용좌회전 현시는 선행/후행 좌회전으로 분류된다. 선행 좌회전(Lead Left)은 좌회전 신호 다음에 직진 신호가 오는 경우이고, 후행 좌회전(Lag Left)은 직진현시 다음에 동시신호가 올 경우 사용이 된다.

보호좌회전에 대한 통일된 기준은 아직 없으나, 미국의 여러 도시에서는 교통량, 지체 및 교통사고를 기준으로 하여 다음과 같은 기준을 사용하고 있다.

① 교통량 기준

- 좌회전교통량 × 상충하는 직진 교통량 ≥ 100,000대/시간 (침두시간)
- 침두시간 좌회전교통량 ≥ 100대/시간
- 비보호시에 좌회전 못한 차량이 한 접근로에서 한 주기당 2대 이상 남아있을 경우
- 직진차량 속도가 70kph 이상이고, 침두시간 좌회전교통량이 50vph 이상

② 지체 기준

- 좌회전 차량의 지체가 2주기 이상일 때
- 1시간 동안 1주기 이상 지체하는 차량이 1대 이상일 때

③ 교통사고 기준

- 연간 좌회전 관련 교통사고 5건 이상

2.1.2 비보호좌회전의 통제방식

비보호좌회전은 직진교통량과 좌회전교통량이 비교적 적은 교차로에서 사용되는 방법으로 주기가 짧고 지체가 적어 효과적으로 사용되는 통제방식이다. 신호교차로는 방향이 다른 두 개 이상의 도로가 만나는 곳으로서 교통시스템 중에서 가장 복잡한 지점이다. 따라서 여러 방향의 이동류가 한 지점을 안전하고 효율적으로 통과하기 위해서는 통행권을 순차적으로 할당하는 교통신호가 있어야 한다. 이러한 교통신호를 배분할 때 좌회전 신호를 별도로 주게 되면 신호주기가 늘어나게 되므로 신호주기를 줄이기 위해 비보호좌회전을 실시한다. 예를 들어 신호교차로에서 4개 현시일 경우의 주기는 대부분 120~180초 범위로 되어 있으나, 비보호좌회전 교차로의 경우 2~3가지 신호로 주기가 대략 50~120초 범위가 축소된다.

비보호좌회전은 적당한 교통량이 통과하는 교차로의 경우 지체를 해소할 수 있다는 장점이 있는 것이다. 또한 비보호좌회전이 허용되는 교차로는 적은 교차로이므로 대부분 U-turn이 허용되지 않으며, 녹색신호와 할지라도 정지선에 일단 정지한 후 수락간격이 나타나면 신속히 좌회전하므로 앞 차량 때문에 차두시간에 영향을 받거나 곡선반경에 영향을 받지 않는다.

2.1.3 보호/비보호좌회전의 통제방식

보호/비보호좌회전은 보호좌회전과 비보호좌회전을 혼합하여 사용하는 통제방식으로 보호좌회전 현시가 있고, 양방향 직진신호 시에는 비보호좌회전을 할 수 있는 형태이다. 비보호좌회전 통제방식에 비해 보호좌회전 현시를 따로 부여해야 한다는 단점이 있으나 교통량의 변동이 심한 교차로에서는 효율적으로 운영할 수 있다는 장점이 있다.

2.1.4 회전금지의 통제방식

회전 금지는 좌회전, 우회전 금지가 있으며, 우회전 금지에는 적색 신호 시 우회전을 허용하는 RTOR(Right Turn On Red)과 적색 신호 시 우회전을 금지하는 NTOR(No Turn On Red)로 분류된다.

좌회전 금지는 교통량이 많은 교차로에 많이 사용되는 통제방식으로 신호현시수가 줄어 해당 교차로의 용량을 증가시켜 혼잡을 완화시킬 수 있다.

2.2 비보호좌회전에 관한 기존연구고찰

우리나라의 교통안전시설실무편람에서는 교차하는 도로의 기하구조와 교통량은 언급하지 않고 해당도로의 대향 직진 교통량과 비보호좌회전을 시행하는 교통량과의 관계를 현장에서 여러 차례 반복 조사하여 표 1과 같은 비보호좌회전 시행기준을 제시하고 있다. Cottrell은 교통량에 따른 좌회전 통제방식의 시행기준으로 식 (1)에 의한 교통량의 곱으로 제시하고 있다.

$$\frac{LTOV}{NL} = LT \times \left(\frac{OV}{NL} \right) \quad (1)$$

$LTOV/NL$: 교통량의 곱

LT : 좌회전교통량

OV/NL : 차로당 대향교통량

표 1. 비보호좌회전 기준표

대향직진 교통량 (pcu/h)	좌회전 교통량(pcu/h)		
	2차선도로	3차선도로	4차선도로
400	260	300	320
500	210	250	270
600	160	210	230
700	120	180	200
800	90	150	170
900		120	140
1,000		110	120
1,100		90	110
1,200		70	100
1,300		60	80
1,400		50	70
1,500			60
1,600			50
1,700			50
1,800			40

자료 : 경찰청, 교통안전시설실무편람 2000.

그 결과로 차로당 교통량의 곱이 200,000대/시 이상이면 보호좌회전 현시를 사용할 것을 제안하였고, 50,000대/시 이하이면 비보호좌회전 현시의 사용을 제안하였다.

Kentucky주에서 실시된 좌회전 시행기준안의 설정을 위해 Nikiforos Stamatiadis는 주에 있는 408개 접근로에서 발생한 사고 자료와 교통량을 바탕으로 여러 개소의 교차로를 시뮬레이션 하여 좌회전 시행기준을 제시하였다.

그 중에서 교통량의 곱과 지체에 의한 기준을 살펴보면 「비보호좌회전 < 보호/비보호좌회전 < 보호좌회전」의 순으로 지체가 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

그 외에도 국내에서 노회철(1988)의 교차로에서의 좌회전 현시방법 결정에 관한 연구, 도철용(1994)의 비보호좌회전의 간격수락과 용량 및 보정계수에 관한 연구, 박정순(2000)의 보호비보호 혼용좌회전 신호체계의 적용기준에 관한 연구, 조원범(2002)의 도로용량편람에 근거한 비보호좌회전 준거에 관한 연구, 최종윤(2003)의 교차도로 교통량을 고려한 비보호좌회전 신호체계의 적용기준, 국외에서는 Agent, Cottrell, Upchurch 등의 연구에서 비보호좌회전의 시행기준을 제시하였다. 지금까지 국내외에서 비보호좌회전에 관한 많은 연구가 있었으나 좌회전차로의 형태가 베이인 경우에 대하여 비보호좌회전에 따른 대기행렬이론을 이용한 적정 좌회전 대기차로 길이를 산정에 따른 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 좌회전베이 형태의 신호교차로 상에서 교통안전시설실무편람에 나와 있는 비보호좌회전에 준거하여 비보호좌회전 신호운영시 나타나는 주도로의 교통량 도착률, 좌회전 평균대기시간, 좌회전 서비스율, 좌회전 도착률, 녹색시간, 적색시간 동안의 평균 대기차량대수를 대기행렬이론을 이용한 시뮬레이션 분석을 통하여 알아보고 이를 통하여 적정 좌회전 대기차로 길이를 산정하고자 하였다.

3. 분석방법론

3.1 신호교차로에서 대기행렬분석방법론

신호교차로에서의 대기행렬분석방법론을 살펴보면, 그림 1 과 같이 도착률 λ 는 시간의 변화와 상관없이 일정하며, 서비스율 μ 는 신호등이 녹색일 때는 포화교통류율이 s 이고 신호등이 적색일 때는 0인 두 개의 상태로 존재하고 있다.

여기서, 서비스율 μ 가 포화교통류율일 상태는 신호정지선 후방으로 충분한 대기행렬이 존재할 때만 가능하다. 만약, 녹색신호 시간이 길어져 대기하고 있던 차량들이 신호등을 모두 빠져나간 후에는 서비스율이 다시 도착률 λ 로 감소하게 된다.

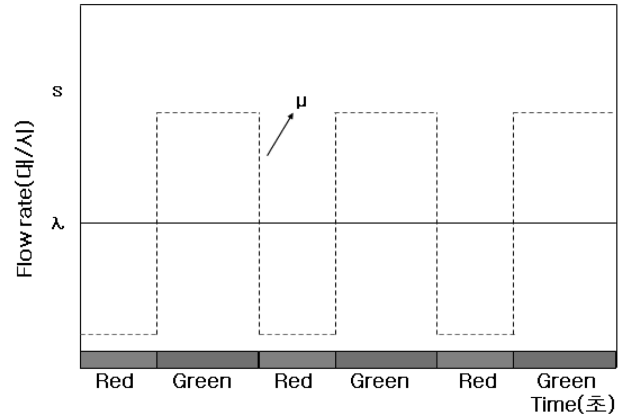


그림 1. 신호교차로에서 대기행렬의 형성과정

본 연구에서는 신호교차로에서 비보호좌회전으로 운영될 경우 녹색시간동안 대향 직진 교통량의 수락간격을 이용하여 비보호좌회전할 경우와 적색시간동안 정지선에서부터 대기행렬이 발생될 경우를 고려하여 대기행렬이론을 이용한 시뮬레이션 분석을 통하여 비보호좌회전을 하기위한 적정 좌회전 대기차로길이를 산정하였다.

3.2 비신호교차로에서 대기행렬분석방법론

비신호교차로에서 대기행렬분석방법론을 살펴보면 그림 2 와 같이 대향 직진 교통량의 수락간격을 이용하여 비보호좌

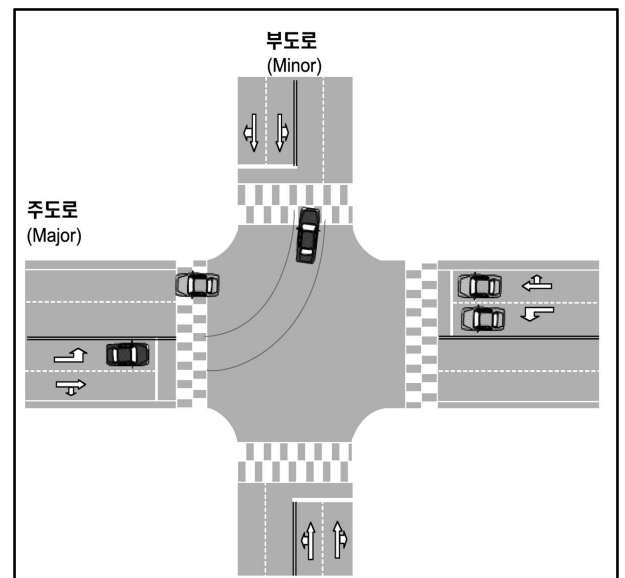


그림 2. 수락간격을 이용한 비보호좌회전 차량개념도

회전을 한다. 여기서, 비보호좌회전을 하기 위한 평균대기시간을 산정할 수 있는데, 이것은 교차로에 도착하여 기다리지 않고 바로 비보호좌회전하는 차량과 기다렸다가 비보호좌회전하는 차량에 대한 평균값을 나타낸다. 식을 살펴보면 다음과 같다.

$$T_D = \frac{1}{qe^{-q\tau}} - \left(\frac{1}{q} + \tau\right) \quad (2)$$

q = 도착률(대/시)
 τ = 임계간격(초)

본 연구에서는 비신호교차로에서 대향 직진 교통량의 수락간격을 이용한 대기행렬분석방법론을 신호교차로에서 녹색시간동안 비보호좌회전 할 경우와 같은 맥락으로 보고 적용하였다.

3.3 비보호좌회전에 따른 대기행렬분석방법론

신호교차로와 비신호교차로에서의 대기행렬분석방법론을 토대로 본 연구에서는 좌회전배이 형태의 도시부 신호교차로에서 비보호좌회전으로 운영될 경우, 대기행렬이론을 이용한 시뮬레이션 분석을 통하여 적정 좌회전 대기차로 길이를 산정하고자 하였다. 먼저 대기행렬이론을 교통상황에 적용시킬 때, 신호교차로와 비신호교차로는 해석방법에서 큰 차이가 있다. 대기행렬에 가장 큰 영향을 받는 것이 도착특성과 서비스 특성인데 도착특성은 일정하지만, 서비스 특성의 차이 때문이다. 비신호교차로의 경우 신호가 없기 때문에 대향 직진 교통량의 수락간격만을 이용하여 비보호좌회전이 가능하지만, 신호교차로의 경우에는 녹색시간과 적색시간 모두 고려하여야 한다.

이에 본 연구에서는 비신호교차로에서 수락간격을 이용하여 비보호좌회전을 할 경우와 신호교차로에서 녹색시간동안 비보호좌회전을 할 경우를 같은 맥락으로 보고 비신호교차로에서 수락간격을 이용한 대기행렬분석방법론을 신호교차로

에서의 녹색시간동안 비보호좌회전 할 경우에 접목시켜 적색시간까지 함께 고려하여 대기행렬이론을 이용한 시뮬레이션 분석을 하였다.

교통안전시설실무편람에 준거한 대향 직진 교통량과 좌회전 교통량은 현장자료를 바탕으로 경험적인 연구 결과를 기초로 한 것이므로 본 연구에 적용하여 분석하는 것은 의미 있는 일이라 사료된다.

본 연구에서는 비신호교차로에서 수락간격을 이용한 비보호좌회전 운영방식을 신호교차로에서 녹색시간동안 비보호좌회전을 하는 경우에 적용시켜 분석하고 여기에서 수락간격은 도로용량편람에 준거한 4.9초로 수용하고 적용하여 분석하였다.

녹색시간과 적색시간은 신호교차로 효율성의 최대화를 위해서 KHCS 프로그램을 이용하여 최적화 된 신호주기를 적용하였다.

비신호교차로에서의 대기행렬분석방법론을 이용하여 좌회전 평균대기시간을 산정하고, 각 교통량에 따른 좌회전 서비스율, 도착률, 녹색시간과 적색시간동안의 평균대기차량대수를 구하였다. 이를 통해 도로구조시설기준에 나와 있는 평균차량길이를 이용하여 적정 좌회전 대기차로 길이를 산정하였다. 설계기준 자동차의 소형자동차 6.0m의 값을 평균차량길이를 적용하였다.

대기행렬이론을 이용한 시뮬레이션 분석과정을 살펴보면 표 2와 같다.

4. 분석결과

4.1 대기행렬 Simulation 전제조건

4.1.1 교통량 조건

표 1에서 나와 있는 교통안전시설실무편람의 비보호좌회전 기준표에 준거하여 본 연구에서는 대향 직진 교통량 400~1,800대/시, 좌회전 교통량 40~320대/시를 적용하였다.

표 2. 대기행렬 시뮬레이션 분석과정

	Input값	대기행렬 시뮬레이션 분석과정
대향직진교통량(대/시)	400(대/시)	교통안전시설실무편람 기준
좌회전 교통량(대/시)	260(대/시)	
임계간격(초)	4.9(초)	도로용량편람 기준
녹색시간(초)	45(초)	신호교차로 효율성 최대화 → 신호주기 최적화(KHCS)
적색시간(초)	45(초)	
↓		
	Output값	
좌회전 평균대기시간(초/대)	1.613(초/대)	비신호교차로에서의 대기행렬분석방법론 $T_D = \frac{1}{qe^{-q\tau}} - \left(\frac{1}{q} + \tau\right)$
좌회전 도착률(대/초)	0.072(대/초)	좌회전 교통량/3600
좌회전 서비스율(대/초)	0.620(대/초)	1/좌회전 평균대기시간
시스템 내 평균대기차량대수(대)	0.132(대)	$\rho/(1-\rho)$ → 대기행렬의 존재여부 파악
녹색시간동안 평균대기차량대수(대)	0.1(대)	시스템 내 평균대기차량대수
적색시간동안 평균대기차량대수(대)	3.3(대)	좌회전 도착률 × 적색시간
주기당 평균대기차량대수(대)	4(대)	녹색시간+적색시간동안 평균대기차량대수

4.1.2 도로 조건

본 연구에서는 비보호좌회전으로 운영되는 경우의 4지 교차로로 모두 가정하였다.

각 방향의 접근로가 2차로도로일 경우, 1차로는 좌회전 전용차로로, 2차로는 직진과 우회전의 공용차로로, 접근로가 3차로도로일 경우, 1차로는 좌회전 전용차로로, 2차로는 직진차로, 3차로는 직진과 우회전의 공용차로로, 접근로가 4차로도로일 경우는 1차로는 좌회전 전용차로, 2차로는 직진, 3차로는 직진과 우회전의 공용차로로 지정하였다. 또한 좌회전베이가 있는 전용차로 교차로를 대상으로 하였다.

4.1.3 신호운영 조건

신호교차로에서의 효과적도인 평균제어지체는 신호시간 및 현시시간에 의해서도 크게 영향을 받으므로 신호현시는 항상 최적인 상황에서 시뮬레이션을 실시하였다.

비보호좌회전현시는 2현시로 모두 동일하게 주었고, 그림 3과 같다. 신호주기는 50초에서 교차로 효율성의 최대화를 위해서 최적화 하였으며, 신호교차로에서 최적주기 산정을 위하여 KHCS 프로그램을 이용하여 나온 최적주기 90초를 본 연구에 적용하였다.



그림 3. 신호현시조건

4.2 Simulation 분석결과

4.2.1 좌회전 평균대기시간

본 연구에서는 비신호교차로에서의 대기행렬분석방법론을 이용하여 좌회전 평균대기시간을 대기행렬이론을 이용한 시뮬레이션 분석을 통하여 산정하였다. 비보호좌회전을 하기 위한 좌회전 평균대기시간의 산정 경과 2차로 도로일 경우 대향 직진 교통량이 적고 좌회전 교통량이 많을수록 좌회전 평균대기시간은 작게 나타났다. 3차로, 4차로 도로인 경우도 2차로 도로와 동일하게 나타났다.

이는 대향 직진 교통량이 적으면 차량간의 수 락간격이 커지기 때문에 비보호좌회전을 하기 위한 차량대수가 많아지기 때문에 그만큼 대기행렬도 줄어들기 때문에 좌회전 평균대기시간도 적어지는 것으로 판단된다.

4.2.2 주기당 평균대기차량대수

대향 직진 교통량과 좌회전 교통량에 대한 비보호좌회전을 하기 위한 주기당 평균대기차량대수 산정 결과, 2차로 도로일 경우 대향 직진 교통량이 적고 좌회전 교통량이 많을 경우 주기당 평균대기차량대수도 가장 많은 것으로 나타났다.

3차로 도로일 경우 또한 대향 직진 교통량이 적고 좌회전 교통량이 많을 경우가 교차로에 대기하는 주기당 평균대기 차량대수도 가장 많았으며, 4차로 도로일 경우도 2,3차로 도로와 같이 동일하게 나타났다. 여기서, 주기당 평균대기차량대수 = 녹색시간 + 적색시간동안 평균대기차량대수를 말한다.

분석에 대한 결과는 표 3과 같다.

표 3. 비보호좌회전 평균대기차량대수 산정

	대향직진 교통량 (대/시)	좌회전도착 교통량 (대/시)	좌회전평균 대기시간 (초/대)	주기당 평균대기 차량대수 (대/주기)
2 차로 도로	400	260	1.613	4
	500	210	2.120	3
	600	160	2.678	3
	700	120	3.292	2
	800	90	3.969	2
3 차로 도로	400	300	1.613	4
	500	250	2.120	4
	600	210	2.678	3
	700	180	3.292	3
	800	150	3.969	3
	900	120	4.717	2
	1,000	110	5.542	2
	1,100	90	6.454	2
	1,200	70	7.463	2
1,300	60	8.579	2	
4 차로 도로	대향직진 교통량 (대/시)	좌회전도착 교통량 (대/시)	좌회전평균 대기시간 (초/대)	주기당 평균대기 차량대수 (대/주기)
	400	320	1.613	5
	500	270	2.120	4
	600	230	2.678	4
	700	200	3.292	3
	800	170	3.969	3
	900	140	4.717	2
	1,000	120	5.542	2
	1,100	110	6.454	2
	1,200	100	7.463	2
	1,300	80	8.579	2
	1,400	70	9.817	2
	1,500	60	11.188	1
1,600	50	12.710	1	
1,700	50	14.400	1	
1,800	40	16.277	1	

4.2.3 적정 좌회전 대기차로 길이 산정 결과

본 연구에서는 대기행렬이론을 이용한 시뮬레이션을 통해 주기당 도착하는 좌회전 평균차량대수를 구하여 도로 구조 시설기준 규칙지침(2009)에 제시된 평균차량길이(6.0m)를 적용하여 테이퍼 길이를 제외한 적정 좌회전 대기차로길이를 구하였다.

좌회전 차로의 대기차량을 위한 길이는 비신호교차로의 경우 침두시간 평균 2분간 도착하는 좌회전 교통량을 기준으로 하며, 그 값이 1대 미만의 경우에도 최소 2대의 차량이 대기할 공간은 확보되어야 한다. 신호교차로의 경우에는 침

두시 신호 1주기당 도착하는 좌회전 차량수가 필요하나 교통량의 변화, 정체시의 대기차량 등을 고려하면 그 1.5배에 해당하는 길이가 되도록 하며, 이렇게 산출된 거리도 최소한 신호 1주기당 도착하는 좌회전 차량수에 두 배를 한 값보다 길어야 한다. 즉, 좌회전 대기차로 길이 산정식을 살펴보면 다음과 같다.

$$L = 1.5 \cdot N \cdot S \quad (3)$$

L : 좌회전 대기차로길이

N : 좌회전평균대기차량대수(신호1주기당 좌회전차량)

S : 차량길이(6.0m)

분석결과, 2차로 도로에서 좌회전 교통량이 260 대, 3차로 도로 250~300대 4차로 도로 230~270대일 경우는 좌회전 대기차로가 36m, 좌회전 교통량이 2차로 도로 100~210대, 3차로 도로 150~210대, 4차로 도로 170~200대일 경우는 좌회전 대기차로 길이가 20~30m, 좌회전 교통량이 2차로 도로 90~120대일 경우, 3차로 도로 70~120대 4차로 도로 70~140대일 경우는 좌회전 대기차로 길이가 18m가 적당한 것으로 나타났으며, 4차로 도로 좌회전 교통량이 40~60대/시 일 경우는 좌회전 대기차로 길이가 9m가 적당한 것으로 나타났다.

좌회전 교통량에 따른 좌회전 대기차로 길 이의 산정결과 는 표 4와 같다.

표 4. 좌회전 교통량에 따른 좌회전 대기차로 길이

대향 직진 교통량 (pcu/h)	좌회전 교통량(pcu/h)					
	2차선 도로	좌회전 대기차로 길이	3차선 도로	좌회전 대기차로 길이	4차선 도로	좌회전 대기차로 길이
400	260	36m	300	36m	320	45m
500	210	27m	250	36m	270	36m
600	160	27m	210	27m	230	36m
700	120	18m	180	27m	200	27m
800	90	18m	150	27m	170	27m
900			120	18m	140	18m
1,000			110	18m	120	18m
1,100			90	18m	110	18m
1,200			70	18m	100	18m
1,300			60	9m	80	18m
1,400			50	9m	70	18m
1,500					60	9m
1,600					50	9m
1,700					50	9m
1,800					40	9m

5. 결론 및 연구의 한계성

본 연구는 좌회전베이 형태의 교차로 상에서 비보호좌회전 으로 운영될 경우, 비보호좌회전을 하기 위한 충분한 좌회전 대기차로 공간이 필 요하다는 판단하에, 대기행렬이론을 이 용한 시뮬레이션 분석을 통해 적정 좌회전 대기차로 길이를

구하는 데 목적을 두고 연구를 진행하였다.

이에 본 연구에서는 교통안전시설실무편람의 비보호좌회전 기준에 준거하여 대향 직진 교통량과 좌회전 교통량 자료를 바탕으로 신호교차로

에서의 비보호좌회전의 대기행렬을 시뮬레이션을 통해 분석하고, 좌회전베이가 있는 교차로에서의 적정 좌회전 대기 차로 길이를 산정하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 교통안전시설실무편람의 기준을 바탕으로 대향 직진 교통량과 좌회전 교통량에 대한 비보호좌회전 평균대기차량 대수 산정 분석 결과, 2차로 도로일 경우는 대향 직진 교통 량이 적고 좌회전 교통량이 많을수록 좌회전 평균대기시간 이 가장 작게 나타났고, 이에 따른 좌회전 서비스율과 도착 률도 가장 높게 나타났다. 3차로 도로일 경우 또한 대향 직 진 교통량이 적고 좌회전 교통량이 많을수록 좌회전 평균대 기시간이 가장 작게 나타났고, 4차로 도로일 경우도 2,3차로 도로와 같이 동일하게 나타났다. 이는 대향 직진 교통량이 적을수록 좌회전교통류가 gap을 찾기가 용이해지기 때문에 그만큼 교차로에 대기행렬이 줄어들어 좌회전 평균대기시간 이 작게 나타나는 것으로 판단된다.

둘째, 반면에 대향 직진 교통량은 적고 좌회전 교통량이 많을수록 주기당 평균대기차량대수는 가장 많이 나타났다. 이는 좌회전 교통량이 많을수록 교차로에 도착하는 차량대 수도 많아지기 때문에 녹색시간동안 비보호좌회전 하는 차 량 대수와 적색시간동안 대기하는 차량들이 많아지는 것으 로 판단된다.

셋째, 비보호좌회전 대기행렬 시뮬레이션을 이용한 분석 결 과, 좌회전 대기차로길이를 구한 결과를 살펴보면, 2차로 도 로에서 좌회전 교통량이 260대, 3차로 도로 250~300대일 경우는 좌회전 대기차로가 36m, 좌회전 교통량이 2차로도로 100~210대, 3차로 도로 150~210대, 4차로 도로 170~200대 일 경우는 좌회전 대기차로가 20~30m, 좌회전 교통량이 2 차로 도로 90~120대일 경우, 3차로 도로 70~120대, 4차로 도로 70~140대일 경우는 좌회전 대기차로가 18m가 적당한 것으로 나타났으며, 4차로 도로 좌회전교통량이 40~60대/시 일 경우는 좌회전 대기차로길이가 9m가 적당한 것으로 나타 났다. 분석결과, 교통안전시설실무편람에 준거한 적정 좌회 전 대기차로 길이를 알아볼 수 있었으며, 좌회전 교통량이 많아질수록 차로수에 관계없이 좌회전 대기차로 길이도 길 어져야 한다는 사실을 알 수 있다.

본 연구의 한계와 연구 결과의 타당성 등을 고려하여 향 후 연구 과제를 제시하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구는 교통안전시설실무편람의 비보호좌회전 준 거를 통한 제한된 범위 안에서 연구를 진행하였다. 또한 시 뮬레이션 분석에 한정되어 다양한 교통상황을 모두 분석대 상으로 삼아 시뮬레이션을 수행하는 데에 어려움이 있으므로 이상적인 조건을 전제로 삼아 보편적인 교통상황을 구축 하여 시뮬레이션 분석을 하였으므로 좀 더 다양한 전제조건 으로 시뮬레이션 분석이 이루어져야 한다.

둘째, 본 연구의 결과를 통해 교통안전시설실무편람에서 제 시한 기준에 한해서만 적정 좌회전 대기차로 길이를 구할 수 있으므로 대구시 전체 교차로를 대상으로 하여 현장 조

사를 통한 연구가 이루어진다면 향후 도시부 신호교차로에 적용할 때 좀 더 효율적인 신호교차로를 운영할 수 있을 것으로 판단된다.

셋째, 비보호좌회전에 대한 다양한 접근 방법으로 보호좌회전으로 했을 경우와 보호/비보호로 운영되었을 경우를 모두 접목시켜 연구가 이루어져야 한다.

넷째, 좌회전 대기공간이 부족한 교차로에서 직진 차량의 방해를 줄여 소통에 도움을 주는 좌회전 유도차로가 현재 대구에서도 시범적으로 운영되고 있는데 기존의 비보호좌회전 운영방식과 비교분석하는 것 또한 의미 있는 연구가 될 것으로 판단된다.

참고문헌

건설교통부(2001) 도로용량편람.
경찰청(2005) 교통신호기 설치·관리 매뉴얼.
교통안전시설실무편람 2000.
대한토목학회(2009) 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, p. 410.
도철웅(1995) 교통공학원론(上) 개정판, 청문각.
박준(2007) 신호교차로에서의 비보호좌회전 효율성 평가, 석사학위

논문, 아주대학교.
원제무(1998) 도시교통론 개정판, 박영사.
이동훈(2004) 보호/비보호 좌회전(PPLT) 설치기준에 관한 연구, 석사학위논문, 명지대학교.
조원범(2002) 도로용량편람에 근거한 비보호좌회전 준거에 관한 연구, 대한교통학회지, 대한교통학회, 제20권 제7호.
천승훈, 이영인(2006) 대기행렬이론을 이용한 중앙버스 정류소 접근구간 보행환경 평가에 관한 연구, 대한교통학회지, 대한교통학회, pp. 721~729.
최종윤(2003) 교차도로 교통량을 고려한 비보호좌회전 신호체계 적용기준, 대한교통학회지, 대한교통학회, 제21권 제4호.
한현웅(2010) 신호교차로에서 비보호좌회전 용량 증대를 위한 기하구조 연구, 석사학위논문, 단국대학교.
Cottrell, B.H. (1997) Guidelines for Left-turn phasing Treatment, TRR 1605.
Upchurch, J.E. (1986) Guidelines for selecting type of left-turn phasing, Transportation Research Record 1069.
Nikiforos Stamatiadis (1997) Guidelines for Left-turn phasing Treatment, TRR 1605.
National Committee on Uniform Traffic Laws and Ordinances, Uniform Vehicle Code and Model Traffic Ordinance, 1972. (미국의 보호좌회전 기준)

(접수일: 2011.5.3/심사일: 2011.5.27/심사완료일: 2011.8.3)