

3지 교차로에서 자전거 신호운영방안에 관한 연구

A Study on Bike Signal Operation Methods at Three-Legged Intersections

허 희 범

(동해종합기술공사 교통계획부 사원)

김 응 철

(인천대학교 도시환경공학부 건설환경공학과 부교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 내용 및 방법
- II. 관련문헌 및 선행연구 고찰
 - 1. 자전거 관련이론 고찰
 - 2. 선행연구의 고찰
- III. 시뮬레이션 구현
 - 1. 신호설정
 - 2. 시나리오 설정
- IV. 결과분석
- V. 결론 및 향후연구과제
- 참고문헌

Key Words : 자전거신호, 3지 신호교차로, 직접좌회전, 간접좌회전, VISSIM
Bike Signal, Three-Legged Intersection, Direct Left Turn, Indirect Left Turn, VISSIM

요 약

현재 우리나라에서 자전거가 교차로를 횡단할 때 차량, 보행자와의 상충위험 그리고 긴 대기시간 등 많은 문제가 발생하고 있으며, 이는 최근 녹색교통정책에서 관심 받고 있는 자전거 이용의 활성화를 저해하고 있다. 이에 본 연구에서는 3지 신호교차로를 대상으로 자전거교통류가 연속성, 편의성을 유지하면서 안전하게 횡단할 수 있는 적절한 신호운영방안에 대해 분석하였다. 먼저 자전거의 좌회전 통행방법에 따라 간접좌회전 방법(통행방법1), 전용차로에서 직접좌회전 하는 방법(통행방법2), Bike Box에서 직접좌회전 하는 방법(통행방법3)으로 크게 3가지로 나누고 여기에 차량교통량, 자전거교통량에 변화를 주어 54개의 시나리오를 작성하였으며, 이를 바탕으로 가정된 네트워크를 구축한 후 VISSIM을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다.

효과측도는 신호교차로 접근로에서의 차량과 자전거의 지체시간과 정지횟수를 적용하였다. 3지 신호교차로의 지체시간 및 정지횟수를 분석한 결과 차량교통량이 많고 자전거통행량이 적은 곳에서는 간접좌회전 방법(통행방법1), 차량교통량과 자전거통행량이 많은 곳에서는 전용차로에서 직접좌회전 방법(통행방법2), 차량교통량과 자전거통행량이 적은 곳에서는 Bike Box 방법(통행방법3)이 적합한 것으로 분석되었다.

Many problems, such as unexpected delay and collision with pedestrians or vehicles, occur generally at signalized intersections where bicycle users are frequently involved. These problems have hindered bicycle users from riding bicycles on urban highways. The aim of this study is to suggest proper traffic signal operation methods for safe and convenient highway crossing of bicycles. Three types of crossing methods at signalized intersections are proposed and analyzed: (1) indirect left turn, (2) direct left turn on an exclusive bicycle lane, and (3) direct left turn on a bicycle box. The VISSIM simulation tests were conducted based on fifty-four operation scenarios prepared by varying vehicle and bicycle traffic volumes.

Both delay and the number of stops are used as the measures of effectiveness in the analysis. The results from the three-legged signalized intersections suggested that (1) the indirect left turn is appropriate when vehicle demand is high while bicycle demand is not, (2) direct left turn on an exclusive bicycle lane is appropriate when both vehicle and bicycle demands are high, and (3) direct left turn on a bicycle box is appropriate when both vehicle and bicycle demands are light.

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NO. 2011-0004232).

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

최근 '저탄소 녹색성장'의 정책으로 친환경에 대한 관심이 높아지게 되면서 각 부문에서 이를 실행하기 위한 많은 노력이 이루어지고 있다. 교통부문에서는 과거 도로·자동차 위주의 정책이 보행자·녹색교통정책으로 방향이 전환되고 있으며, 최근 보행자·녹색교통정책에서 가장 크게 주목을 받고 있는 것이 비동력 교통수단인 자전거이다. 따라서 정부 및 지방자치단체에서는 현재 가장 크게 주목받고 있는 자전거의 이용률 및 교통수단분담률 높이기 위해 많은 노력을 하고 있으며, 그 내용은 자전거 관련 법률 및 제도를 정비하는 등의 법적, 제도적인 측면과 많은 자본을 투입하여 자전거 도로와 자전거 주차장등의 자전거 관련 시설을 설치하는 시설적인 측면에서의 노력이다.

그러나 이러한 노력에도 불구하고 우리나라의 자전거 이용률 및 교통수단분담률은 좀처럼 높아지지 않고 있으며, 2009년 우리나라의 자전거 교통수단분담률은 1.2%로 이웃나라 일본이 14%, 자전거의 천국이라고 불리는 네덜란드가 27%인 것에 비하면 실적이 많이 저조한 편이다.

그 이유는 여러 가지가 있겠으나, 일부 자전거 이용자가 사고에 대한 두려움으로 자전거를 이용하지 않고 있기 때문이다. 실제로 도로교통공단의 교통사고 통계연보에 의하면 2004년부터 2008년까지 최근 5년간 전체 교통사고는 0.6%가 줄었으나, 자전거 교통사고는 연평균 12.7%가 늘어났으며, 이러한 사실은 자전거 이용자가 자전거를 이용하는데 있어 안전의 문제가 걸림돌이 되고 있다는 것을 증명해 주기도 한다. 또한 도로교통공단의 2008년 교통사고 통계연보에 의하면 전국 자전거 교통사고는 총 2,130건이 발생하였고, 이 중 교차로에서는 총 422건(19.8%)의 교통사고가 발생하였다. 이는 교차로가 교통시스템 중에서 가장 복잡한 곳으로 많은 상충이 발생하기 때문이며, 교차로 설계 시 자전거의 통행이 전혀 고려되지 않아 교차로에서 자전거가 통행 시 많은 문제가 일어난다는 의미이기도 하다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 신호교차로에서 자전거 신호운영 등 자전거 교통에 대한 운영적 측면의 연구가 필요하나, 현재 우리나라에서는 이러한 연구나 자

전거 교통류에 관한 연구는 아직 많이 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 우리나라에서 많이 미흡한 자전거 교통류의 운영적 측면에서 연구의 필요성을 느끼고, 사고의 위험이 항상 존재하고 있는 도심지 3지 신호교차로를 대상으로 차량 및 자전거의 교통량에 따라 자전거 교통류가 연속성, 편의성을 유지하며 안전하게 교차로를 횡단할 수 있는 적절한 신호운영방안의 연구를 하는데 목적이 있다.

2. 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 자전거 교통류가 차량 및 자전거의 교통량에 따라 연속성, 편의성을 유지하며, 안전하게 교차로를 횡단할 수 있도록 적절한 신호운영방안에 대해 연구를 하기 위해 먼저 자전거 이론과 국내외의 자전거 신호에 관한 참고문헌을 통하여 이론적 배경을 정리하였다. 또한 국내 및 해외의 사례를 살펴보고 이를 토대로 자전거 통행방법 및 신호운영방안에 대해 모색하였다.

이렇게 구축된 통행방법, 신호운영방안을 가지고 차량 및 자전거 교통량의 변화에 따른 시나리오를 작성한 후 이 시나리오를 가지고 미시적 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 이용하여 각 시나리오의 결과를 분석한다.

3지 신호교차로에서 차량 및 자전거의 교통량에 따른 적절한 통행방법 및 신호운영방법을 판단하기 위한 효과적도로는 평균제어지체 및 평균정지횟수를 사용하고자 한다.

II. 관련문헌 및 선행연구 고찰

1. 자전거 관련이론 고찰

1) 자전거도로의 유형

2010년 행정안전부와 국토해양부에서 발간한 '자전거 이용시설 설치 및 관리 지침'에 의하면 자전거도로는 안전표지, 위험방지용 울타리나 그와 비슷한 공작물로 경계를 표시하여 보행자, 차량과 함께 또는 독립적으로 자전거의 통행을 위해 설치하는 도로를 말한다고 정의되어 있으며, 자전거도로의 구분은 <표 1>과 같다.

〈표 1〉 자전거도로의 구분

구분	정의
자전거 전용도로	자전거만이 통행할 수 있도록 분리대·연석 기타 이와 유사한 시설물에 의하여 차도 및 보도와 구분하여 설치된 자전거도로
자전거보행자겸용도로	자전거 외에 보행자도 통행할 수 있도록 분리대·연석기타 이와 유사한 시설물에 의하여 차도와 구분하거나 별도로 설치된 자전거도로
자전거 전용차로	다른 차와 도로를 공유하면서 안전표지나 노면표지등으로 자전거통행구간을 구분한 차로

2) 서비스수준

서비스수준을 판별하는 척도를 효과척도라고 하며, 도로용량편람(2001)에서는 〈표 2〉와 같이 자전거도로의 유형에 따라 각기 다른 효과척도를 제시하고 있으며, 효과척도를 구하는 방법도 제시하고 있다.

신호교차로에서 자전거교통류의 서비스수준은 자동차교통류와 마찬가지로 지체에 의해 표현 될 수 있으며, 그에 따른 서비스수준은 도로용량편람(2001)에서 〈표 3〉과 같이 제시하고 있다.

〈표 2〉 자전거도로 유형에 따른 효과척도

구분	효과척도
자전거전용도로	상충횟수
자전거보행자겸용도로	상충횟수
노상자전거도로	상충횟수
신호교차로	정지지체
도시가로상의 자전거도로	평균통행속도

〈표 3〉 신호교차로에서의 자전거 이용자의 서비스수준

서비스수준	Control delay(sec/veh)
A	< 8
B	< 12
C	< 25
D	< 40
E	< 55
F	≥ 55

〈표 4〉 좌회전 방법의 정의

구분	정의
직접 좌회전	자전거이용자가 좌회전을 위해 자동차도로의 좌회전 차로에 진입하거나 자전거용 좌회전 차로를 이용하는 방법으로 자전거통행자가 적신호시에 자동차의 정지선 앞에 전방 정지선과 대기공간이 필요하다.
간접 좌회전	보행자 신호와 함께 2단계로 좌회전하는 방법으로 후크 턴이라고 불리며, 자전거대기를 위한 특별한 공간이 필요하다.

3) 좌회전 방법

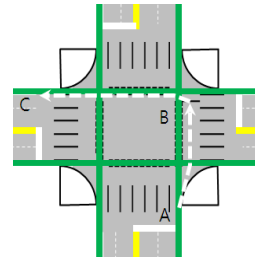
신호교차로에서 자전거가 좌회전 하는 방법은 두 가지로 정의 할 수 있으며, 이는 자전거도로 시설기준 및 관리지침(2009)에서 직접좌회전, 간접좌회전으로 제시하고 있다. 그 내용은 〈표 4〉와 같다.

4) 운영사례

신호교차로에서 자전거가 좌회전하는 방법은 직접좌회전, 간접좌회전이 있으며, 우리나라에서는 주로 간접좌회전 방법이 외국의 경우는 직접좌회전과 간접좌회전 두 가지 방법이 모두 사용되고 있다. 그 운영사례 및 운영방법을 〈표 5〉와 〈그림 1〉, 〈그림 2〉, 〈그림 3〉, 〈그림 4〉에 나타내었다.

〈표 5〉 자전거 좌회전 방법의 운영사례

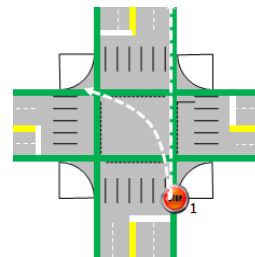
	직접좌회전	간접좌회전
운영 방법	Bike Box 방법 검지기를 이용한 방법	Hook Turn 방법
사용 국가	미국 -포틀랜드(Bike Box) -애리조나(검지기)	한국 -대전광역시 (2009년 전국 최초로 운영) 독일, 네덜란드, 미국 등



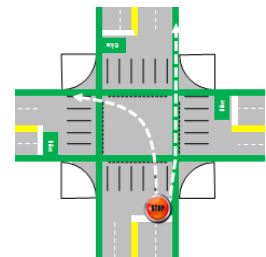
〈그림 1〉 간접좌회전 통행방법



〈그림 2〉 간접좌회전 교차로



〈그림 3〉 전용차로에서 통행방법



〈그림 4〉 Bike Box에서 통행방법

2. 선행연구의 고찰

손영태(2002)는 자전거 교통시설의 설계 및 운영을 적절하게 수행하기 위해서는 자전거 교통류의 기본 특성을 분석하는 것이 중요하다고 하면서 이에 대한 연구를 진행하였다. 연구는 교통류의 기본이 되는 연속류와 단속류 두 부분으로 나누어 실시하였으며, 연속류 상태에서는 속도-밀도-교통량의 관계를 그리고 단속류 상태에서는 포화교통류율에 대한 결과 값과 방법론을 제시하였다. 그 결과 속도와 밀도의 관계에서는 속도가 증가함에 따라 밀도가 감소하는 것으로 나타났으며, 교통량과 속도의 관계에서는 교통량이 증가함에 따라 속도가 증가하는 경향을 보였고, 교통량과 밀도의 관계에서는 밀도가 증가할수록 교통량이 감소하는 경향이 나타남을 보여주었다. 그러나 여기서 교통량과 속도, 교통량과 밀도의 관계는 일반적인 차량교통류의 관계와 다른 경향을 보여주었는데, 이는 실험조건에 의해 자전거 교통류가 자유로운 주행이 제약된 상태에서 주행하였기 때문이라고 하였다.

Wachtel, Forester, Pelz(1995)는 자전거를 위한 신호시간 연구에서 이용자의 속도특성이 녹색시간이나 황색시간에 진입하여 횡단하는 Rolling Start, 적색시간에 천천히 진입하여 녹색시간으로 변경되어 완전하게 정지하지 않고 횡단하는 Semi-rolling Start, 적색시간에 진입하여 정지를 한 후에 횡단하는 Standing Start에 따라 다르므로 3가지 유형으로 분리해야 한다고 주장하였다. 손영태(2007)도 자전거 신호시간에 대한 연구에서 자전거 이용자의 특성에 따른 횡단시간을 고려한 신호운영이 필요하다고 하였으며, 특히 교차로의 경우 자전거 횡단시간을 고려한 최소녹색시간 및 소거손실시간 계획이 이루어져야 한다고 하였다. 이에 정지한 상태에서 출발하는 형태(Stopping), 주행 중인 속도로 횡단하는 형태(Riding), 자전거를 끌고가는 형태(Pulling)로 횡단 유형을 세분화 하여 현장조사를 통해 분석을 시도하였다. 분석결과 최소 녹색시간 산정시 고려될 수 있는 횡단유형별 속도는 Stopping의 경우 1.36m/s(15th percentile), 1.60m/s(25th percentile), Pulling의 경우에는 0.75m/s(15th percentile), 0.87m/s(25th percentile) 소거손실시간의 경우에는 자전거 이용자의 형태 중 Riding의 경우로 2.51m/s(15th percentile), 2.79m/s(25th percentile)를 적용할 수 있다고 하였다.

최광현(2009)은 자전거 교통의 운영적 측면에 대한 연구의 필요성을 느끼고 신호교차로에서 적절한 자전거 신호운영방안에 대한 연구를 하였다. 교차로통행방법에 따라 Hook-Turn 방식에 따른 신호운영, 자전거 전용현시 추가에 따른 신호운영, 보행자 횡단시간을 이용한 신호운영 3가지 신호제어전략을 제시한 후 PARAMICS 라는 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 모의평가를 시행하였다. 그 결과 전반적으로 자전거 교통량 증가에 따른 필요 신호시간이 보행자 횡단 신호시간보다 클 경우 Hook-Turn 방식에 따른 신호운영을 그렇지 않을 경우에는 보행자 횡단시간을 이용한 신호운영이 효율적인 것으로 분석되었다.

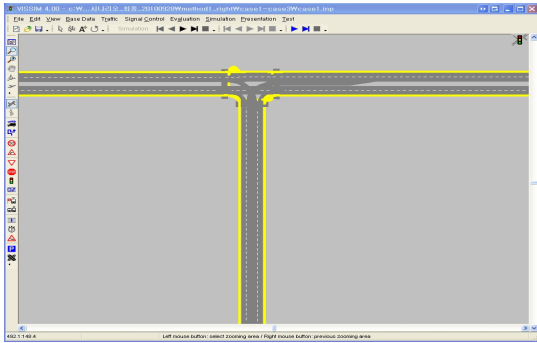
Korve and Niemeier(2002)는 미국 Davis시의 3지 신호교차로를 대상으로 자전거 신호현시를 추가하였을 경우 그 효과에 대해서 연구를 하였다. 효과는 교통사고 발생건수, 지체, 운영비용, 탄소배출량 등을 토대로 자전거 신호현시를 추가하기 전과 추가한 후를 비교하였다. 교통사고 발생건수는 자전거 신호현시를 추가하기 전 자전거와 관련된 사고가 10건이었으나, 신호현시를 추가한 후에는 0건으로 감소하였고, 자전거와 차량 간의 상충횟수가 줄어 자전거 이용자의 안전성은 높아진 것으로 나타났다. 반면 차량의 지체는 자전거 신호현시를 추가하기 전보다 오히려 좀 더 높아졌으며, 이로 인해 탄소배출량도 증가하였다. 또한 자전거 현시를 추가하기 위한 초기 건설비용은 일정금액이상 들었으나, 운영비용은 추가하기 전과 그렇게 큰 차이를 보이지는 않았다. Korve and Niemeier는 이러한 요소들의 비용-편익을 분석한 결과 자전거 신호현시를 추가하는 것이 추가하기 전 보다 이점이 더 크다고 결론을 내렸다.

III. 시뮬레이션 구현

1. 신호교차로 설정

1) 기하구조

3지 신호교차로는 <그림 5>와 같이 편도 2차로로, 동쪽에서 접근하는 접근로에만 좌회전 전용차로를 설치하였다. 링크의 길이는 500m로 구축하였으며, 차량의 분포는 승용차 98%, 중차량 2%를 적용하였고, 차량의 속도는 50km/h로 설정하였으며, 보행자 속도는 일반적인 성인 보행자 속도인 4km/h를 기준으로 설정하였다.



〈그림 5〉 3지 신호교차로의 VISSIM 구축

〈표 6〉교차로에 반영된 세부 데이터

구분	차량	자전거
도로폭원(m)	3.5	1.5
속도(km/h)	50	13
임계감속도(m/sec ²)	4.5	2.5
전장(m)	5	1.9

그 밖에 도로폭원, 속도, 임계감속도, 전장 등에 관한 값은 국토해양부 및 AASHTO의 값을 기준으로 사용하였으며, 그 값은 〈표 6〉과 같다.

2) 교통량 배분

신호교차로에 접근하는 차량과 자전거의 교통량 배분 비율은 〈표 7〉, 〈표 8〉, 〈표 9〉에 제시하였다. 차량 교통량은 직진 교통량과 좌회전 교통량은 각각 6:4의 비율이 되게 배분하였고, 자전거 교통량은 직진과 좌회전 교

〈표 7〉 각 접근로별 차량 교통량 배분 비율

접근로 방향	총교통량	직진	좌회전	우회전
동 쪽	0.45	0.6	0.4	-
서 쪽	0.3	0.6	-	0.4
남 쪽	0.25	-	0.6	0.4

〈표 8〉 각 접근로별 자전거 교통량 배분 비율

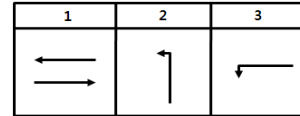
접근로 방향	총교통량	직진	좌회전	우회전
동 쪽	0.33	0.5	0.5	-
서 쪽	0.33	0.5	-	0.5
남 쪽	0.33	-	0.5	0.5

〈표 9〉 각 접근로별 자전거 교통량 배분 비율

접근로 방향	총교통량	직진	좌회전	우회전
동 쪽	0.33	0.7	0.3	-
서 쪽	0.33	0.7	-	0.3
남 쪽	0.33	-	0.5	0.5

〈표 10〉포화도에 따른 신호시간 및 주기

포화도	신호시간(초)			주기(초)
	1	2	3	
0.80	29	29	22	80
0.90	32	33	25	90
0.95	43	44	33	120



〈그림 6〉 현시순서

통량이 같은 경우(5:5)와 직진 교통량이 좌회전 교통량 보다 많은 경우(7:3)를 가정하여 총 2가지 상황에 대해 고려를 하였다.

3) 신호

VISSIM을 수행하기 위해서는 신호교차로의 신호 현시와 주기를 결정하고 적용해야 한다. 본 연구에서는 모든 통행방법의 신호현시는 〈그림 6〉과 같이 설정하였으며, 신호시간은 신호교차로에서 신호시간을 최적화 시켜 주는 프로그램인 T7F를 사용하여 계산하였다. 그 결과는 〈표 10〉에 제시하였다.

4) 효과분석을 위한 평가척도

본 연구에서는 각각의 차량교통량 및 자전거통행량에 따라 어떠한 통행방법과 신호운영방안이 적절한지 연구를 수행하는데, 이를 위해서는 비교의 기준이 되는 척도를 가지고 평가를 실시해야 한다.

도로용량편람(2001)에서는 신호교차로에서의 서비스 수준 평가기준으로 차량 당 평균제어지체를 사용할 것을 제시하고 있으므로 VISSIM을 통해 얻어지는 차량 및 자전거의 직진, 좌회전의 평균지체와 시나리오별로 교차로의 전체 지체를 통해 평가를 실시하고자 한다. 또한 차량 및 자전거가 직진, 좌회전, 모든 접근로에서 교차로를 통과하는데 정지하는 횟수도 산정하여 지체와 함께 어떠한 신호운영방안이 적절한지 평가할 것이다.

2. 시나리오 설정

본 연구에서 시나리오는 차량교통량, 자전거교통량, 통행방법, 자전거교통량의 배분비율 4가지로 구분하여 총 54개의 시나리오를 설정하였다. 차량교통량은 교차

〈표 11〉각 시나리오의 구성

자전거교통량 직진:좌회전 교통량 배분비율 5:5				자전거교통량 직진:좌회전 교통량 배분비율 7:3			
시나리오	차량교통량	자전거교통량	통행방법	시나리오	차량교통량	자전거교통량	통행방법
S1	1,600vph	S-1-1	300vph	S10	1,600vph	S-10-1	300vph
		S-1-2	600vph			S-10-2	600vph
		S-1-3	900vph			S-10-3	900vph
S2	1,800vph	S-2-1	300vph	S11	1,800vph	S-11-1	300vph
		S-2-2	600vph			S-11-2	600vph
		S-2-3	900vph			S-11-3	900vph
S3	2,000vph	S-3-1	300vph	S12	2,000vph	S-12-1	300vph
		S-3-2	600vph			S-12-2	600vph
		S-3-3	900vph			S-12-3	900vph
S4	1,600vph	S-4-1	300vph	S13	1,600vph	S-13-1	300vph
		S-4-2	600vph			S-13-2	600vph
		S-4-3	900vph			S-13-3	900vph
S5	1,800vph	S-5-1	300vph	S14	1,800vph	S-14-1	300vph
		S-5-2	600vph			S-14-2	600vph
		S-5-3	900vph			S-14-3	900vph
S6	2,000vph	S-6-1	300vph	S15	2,000vph	S-15-1	300vph
		S-6-2	600vph			S-15-2	600vph
		S-6-3	900vph			S-15-3	900vph
S7	1,600vph	S-7-1	300vph	S16	1,600vph	S-16-1	300vph
		S-7-2	600vph			S-16-2	600vph
		S-7-3	900vph			S-16-3	900vph
S8	1,800vph	S-8-1	300vph	S17	1,800vph	S-17-1	300vph
		S-8-2	600vph			S-17-2	600vph
		S-8-3	900vph			S-17-3	900vph
S9	2,000vph	S-9-1	300vph	S18	2,000vph	S-18-1	300vph
		S-9-2	600vph			S-18-2	600vph
		S-9-3	900vph			S-18-3	900vph

로에 접근하는 포화도 0.80, 0.90, 0.95로 가정하여 이때의 접근 교통량 1,600vph, 1,800vph, 2,000vph를 적용하였고, 자전거교통량은 시간당 접근로별로 300vph, 600vph, 900vph를 가정하여 적용하였다. 통행방법은 통행방법1(간접좌회전), 통행방법2(전용차로를 이용한 횡단방법), 통행방법3(Bike Box를 이용한 횡단방법) 3가지를 적용하였으며, 자전거교통량의 배분은 직진과 좌회전비율을 5:5와 7:3 두 가지로 적용하였다. 통행방법에 대한 설명은 다음과 같으며, 〈표 11〉에 설정된 시나리오를 제시하였다.

1) 자전거 횡단보도를 이용한 횡단방법(통행방법1)

자전거가 3지 신호교차로를 횡단할 때 보행자 횡단

보도 옆에 설치된 자전거 횡단보도를 이용하여 자전거가 교차로를 횡단하는 방법이다. 3지 신호교차로에서는 4지 신호교차로와는 달리 모든 접근로에서 1번의 횡단을 통해 좌회전 및 직진이 가능하므로 4지 신호교차로에서 언급한 Hook Turn 방법이 3지 신호교차로에서는 적용되지 않는다. 자전거를 위한 신호시간은 경우에 따라 주어지는 경우와 주어지지 않는 경우가 있으나 본 연구에서는 자전거 신호시간을 따로 부여하였다. 자전거의 신호시간은 황색시간과 횡단보도를 건너는데 걸리는 시간을 합산하여 산출하였으며, 황색시간은 미국의 "Guide for the Development of Bicycle Facilities(1999)"에서 제시한 다음과 같은 공식에 의하여 구하였다.

$$y + r_{daer} \geq t_r + \frac{v}{2b} + \frac{(w+l)}{v}$$

- 여기서, y : 황색신호시간 (초)
- r_{clear} : 전적색신호시간 (초)
- t_r : 자전거 이용자의 인지반응시간 (1초)
- v : 자전거 이용자의 속도 (m/s)
- b : 자전거 이용자의 감속도 (1.2~2.5m/s²)
- w : 횡단거리 (m)
- l : 자전거 길이 (1.8m)

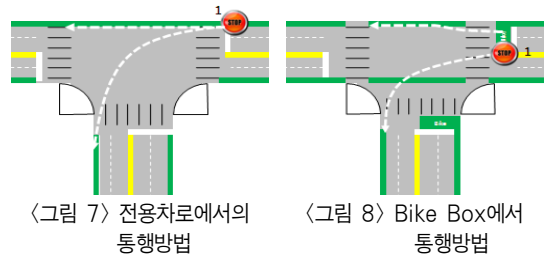
2) 전용차로를 이용한 횡단방법(통행방법2)

전용차로에서 직접좌회전 하는 방법은 자전거가 우측 및 중앙에 위치한 자전거전용도로 혹은 자전거전용차로에서 주행을 하다가 좌회전 및 직진을 위한 대기공간에서 신호를 받고 직진 및 직접 좌회전을 하는 방법으로 동시 및 직진·좌회전 분리 신호운영이 모두 가능하다. 동시신호 운영은 차로 중간에 자전거 전용차로를 설치하여 운영해야 하며 직진, 좌회전 분리 신호운영은 우측에 위치한 자전거도로에서 차량현시와 동시에 운영한다. 본 연구에서는 현시구성 시 VISSIM 시뮬레이션 구축이 용이한 직진·좌회전 신호를 분리하여 구성하였고, 차량과 좌회전하는 자전거의 신호를 동시에 주는 운영방법을 선택하였다.

자전거의 횡단시간은 자전거가 이동하는 원호의 궤적을 계산하여 이동속도로 나눈 후 산정하였으며, 직접좌회전 하는 자전거 이용자의 안전을 고려하여 차량의 신호보다 2초 먼저 자전거 녹색신호를 주었다.

3) Bike Box를 이용한 횡단방법(통행방법3)

Bike Box를 이용한 교차로 횡단방법은 우측 자전거 전용도로 혹은 자전거 전용차로에서 주행을 하던 자전거가 Bike Box에 진입한 후 Bike Box내에서 좌회전 또는 직진신호를 부여 받고 가고자 하는 방향으로 좌회전 또는 직진을 하는 방식이다. Bike Box는 상황에 따라서 한 차로에만 설치하는 경우에서부터 모든 차로에 걸쳐 설치할 수 있으며, 설치정도에 따라 다양한 신호운영이 가능하다. 모든 차로에 Bike Box를 설치하는 경우 직진과 좌회전의 동시신호 운영이 가능하며, 모든 차로에 설치하지 않을 경우 직진·좌회전 신호 분리운영만이 가능하다. 본 연구에서는 Bike Box를 직진 차로에만 설치하



여, 직진·좌회전 분리 신호운영을 적용하였고, 자전거 이용자의 안전을 위해 좌회전 시 차량의 신호보다 2초를 먼저 주었다. 자전거 횡단시간은 Bike Box로부터 자전거가 좌회전 할 때의 원호의 궤적을 계산하여 적용하였으며, 또한 자전거가 Bike Box에 진입할 때 차량으로부터 자전거 이용자의 안전을 위해 Bike Box 진입여부를 알려주는 신호등을 설치하였다.

IV. 결과분석

시뮬레이션 분석결과를 <표 12>와 <표 13>에 나타내었다. 전반적으로 살펴보면 차량교통량이 과포화에 다다른 교통량인 2,000vph에(시나리오 3, 6, 9, 12, 15, 18)에 도달할 때 자전거의 좌회전지체시간은 시나리오3에서 최대 48% 전체지체시간은 시나리오12에서 최대 46.3% 증가하였고, 1,800vph에(시나리오 2, 5, 8, 11, 14, 17) 도달할 때의 자전거의 좌회전지체시간은 시나리오17에서 최대 28.3%, 전체지체시간 역시 시나리오17에서 최대 19% 증가하여 과포화에 다다를수록 자전거의 지체시간은 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 또한 자전거교통량 증가에 따른 자전거의 좌회전지체시간은 시나리오12에서 최대 18.2% 전체지체시간은 시나리오2에서 최대 9%로 변화하여 차량교통량의 변화에 따른 지체시간의 변화보다는 크지 않았다. 그 이유는 차량교통량이 증가할수록 신호주기가 길게 산출되어 이것이 같은 신호주기에서의 자전거교통량만 증가하는 것보다 큰 영향을 미쳤기 때문인 것으로 판단된다. 자전거교통량 배분비율에 따른 결과는 자전거의 직진교통량이 증가할수록 직진의 지체시간이 증가하였으나, 그 차이는 좌회전 지체시간의 증가 폭 보다는 작았다. 이는 자전거의 좌회전이 직진보다 신호운영에 더 많은 영향을 끼친 것으로 판단된다.

통행방법1은 자전거의 직진지체시간은 다른 방법들과는 크게 차이가 나지 않았으나, 좌회전지체시간은 자전

〈표 12〉 시나리오별 자전거의 평균지체시간 및 평균정지횟수 평가 결과

시나리오	평균지체시간(초)			평균정지횟수(회)			
	(좌회전)	(직진)	전체	(좌회전)	(직진)	전체	
S1	1/2/3	53.9/53.6/57.8	34.9/34.7/34.8	38.3/38.7/39.5	1.54/1.64/1.83	1.01/1.02/1.14	1.33/1.38/1.51
	평균	55.1	34.8	38.8	1.67	1.06	1.41
S2	1/2/3	62.9/65.7/67.5	37.3/40.8/45.5	43.5/45.0/47.3	1.57/1.71/1.89	1.00/1.03/1.24	1.33/1.40/1.54
	평균	65.4	41.2	45.3	1.72	1.09	1.42
S3	1/2/3	88.0/90.8/111.5	54.1/55.8/85.7	60.2/61.7/81.6	1.64/1.77/2.41	1.03/1.13/1.78	1.33/1.44/1.96
	평균	96.8	65.2	67.8	1.94	1.31	1.58
S4	1/2/3	35.0/35.1/36.5	33.1/33.6/33.4	24.7/24.8/25.2	1.06/1.10/1.12	0.89/0.92/0.96	0.85/0.86/0.89
	평균	35.5	33.4	24.9	1.09	0.92	0.87
S5	1/2/3	39.9/39.2/42.2	38.7/37.6/38.6	27.9/27.4/28.8	1.05/1.09/1.21	0.93/0.93/1.02	0.81/0.84/0.93
	평균	40.4	38.3	28.0	1.12	0.96	0.86
S6	1/2/3	54.3/56.9/59.8	53.3/55.8/55.0	37.2/39.0/41.0	1.09/1.15/1.33	0.94/1.04/1.08	0.79/0.84/0.99
	평균	57.0	54.7	39.1	1.19	1.02	0.87
S7	1/2/3	38.2/38.9/38.5	32.4/35.3/33.5	25.1/26.4/25.7	1.82/1.86/1.87	0.91/0.97/1.00	1.11/1.14/1.14
	평균	38.5	33.7	25.7	1.85	0.96	1.13
S8	1/2/3	53.8/46.9/46.8	40.3/38.8/38.0	32.8/30.0/29.7	2.01/1.97/2.01	1.00/0.96/1.00	1.16/1.12/1.16
	평균	49.2	39.0	30.8	2.00	0.99	1.15
S9	1/2/3	71.9/70.6/74.0	56.7/55.7/55.3	43.9/43.1/44.1	2.01/2.08/2.26	1.05/1.04/1.07	1.17/1.17/1.23
	평균	72.2	55.9	43.7	2.12	1.05	1.19
S10	1/2/3	47.7/47.8/53.4	35.0/34.7/34.9	34.6/34.6/38.2	1.42/1.48/1.69	0.99/1.00/1.14	1.14/1.16/1.59
	평균	49.6	34.9	35.8	1.53	1.04	1.30
S11	1/2/3	57.6/59.2/61.8	37.6/40.0/44.3	39.2/40.5/42.9	1.49/1.59/1.70	0.97/1.02/1.23	1.15/1.20/1.35
	평균	59.5	40.6	40.9	1.59	1.07	1.23
S12	1/2/3	80.3/81.5/96.3	53.3/55.3/86.1	54.4/55.5/75.7	1.53/1.67/2.06	1.02/1.10/1.78	1.16/1.24/1.75
	평균	86.0	64.9	61.9	1.75	1.30	1.38
S13	1/2/3	35.1/35.2/37.0	33.1/33.7/35.0	26.4/26.5/27.9	1.07/1.10/1.17	0.91/0.94/1.02	0.86/0.88/0.95
	평균	35.8	33.9	26.9	1.11	0.96	0.90
S14	1/2/3	40.4/38.5/43.2	38.7/38.1/40.3	30.2/29.4/32.1	1.05/1.08/1.22	0.94/1.00/1.10	0.85/0.89/1.00
	평균	40.7	39.0	30.6	1.12	1.01	0.91
S15	1/2/3	55.1/58.4/61.0	53.0/56.6/58.4	40.5/43.0/46.2	1.12/1.15/1.36	1.00/1.07/1.15	0.86/0.90/1.06
	평균	58.2	56.0	43.2	1.21	1.07	0.94
S16	1/2/3	37.0/37.9/37.2	33.2/35.0/34.0	26.8/28.0/27.2	1.79/1.81/1.79	0.93/1.00/1.02	1.05/1.08/1.09
	평균	37.4	34.1	27.3	1.80	0.98	1.07
S17	1/2/3	52.4/46.1/45.6	38.4/39.1/40.0	33.3/31.9/32.3	1.98/1.90/1.95	0.97/0.99/1.06	1.10/1.08/1.15
	평균	48.0	39.2	32.5	1.94	1.01	1.11
S18	1/2/3	70.0/68.0/71.1	55.6/55.8/59.2	45.9/45.3/48.1	1.93/1.90/2.13	1.05/1.05/1.21	1.10/1.11/1.24
	평균	69.7	56.9	46.4	1.99	1.10	1.15

거교통량 배분비율이 5:5인 경우 통행방법2와 최대 51.7 초까지 차이가 났으며, 배분비율이 7:3인 경우 통행방법2와 35.3초의 차이가 발생하여 3가지 통행방법 중 가장 높게 나타났다. 이와 반대로 차량의 전체평균지체시간은 28.4초로 3가지 통행방법 중 가장 낮은 지체

시간을 보였으며, 이는 자전거 현시를 따로 부여하지 않아 차량의 지체에 영향을 미치지 않았기 때문이다. 따라서 통행방법1은 자동차에게는 가장 적합한 신호운영방법이라고 할 수 있겠다. 그러나 자전거의 높은 좌회전지체시간 및 정지횟수는 좌회전 자전거 이용자가 신호교차

〈표 13〉 시나리오별 차량의 평균지체시간 및 평균정지횟수 평가 결과

시나리오	평균지체시간(초)			평균정지횟수(회)			
	(좌회전)	(직진)	전체	(좌회전)	(직진)	전체	
S1/S10	1/2/3	26.1/26.1/26.1	21.6/21.6/21.6	21.6/21.6/21.6	0.73/0.73/0.73	0.64/0.64/0.64	0.68/0.68/0.68
	평균	26.1	21.6	21.6	0.73	0.64	0.68
S2/S11	1/2/3	29.6/29.6/29.6	24.0/24.0/24.0	24.1/24.1/24.1	0.73/0.73/0.73	0.64/0.64/0.64	0.69/0.69/0.69
	평균	29.6	24.0	24.1	0.73	0.64	0.69
S3/S12	1/2/3	31.9/31.9/31.9	32.0/32.0/32.0	39.5/39.5/39.5	0.76/0.76/0.76	0.68/0.68/0.68	0.72/0.72/0.72
	평균	31.9	32.0	39.5	0.76	0.68	0.72
S4/S13	1/2/3	28.0/28.0/28.0	23.6/23.6/23.6	23.2/23.2/23.2	0.74/0.74/0.74	0.68/0.68/0.68	0.71/0.71/0.71
	평균	28.0	23.6	23.2	0.74	0.68	0.71
S5/S14	1/2/3	30.3/30.3/30.3	26.5/26.5/26.5	25.7/25.7/25.7	0.75/0.75/0.75	0.70/0.70/0.70	0.72/0.72/0.73
	평균	30.3	26.5	25.7	0.75	0.70	0.72
S6/S15	1/2/3	38.4/38.4/38.4	34.1/34.1/34.1	33.0/33.0/33.0	0.77/0.77/0.77	0.71/0.71/0.71	0.75/0.75/0.75
	평균	38.4	34.1	33.0	0.77	0.71	0.75
S7/S16	1/2/3	27.2/27.4/27.7	24.8/24.8/24.8	26.1/26.1/26.2	0.75/0.75/0.75	0.71/0.71/0.71	0.80/0.80/0.80
	평균	27.4	24.8	26.1	0.75	0.71	0.80
S8/S17	1/2/3	30.6/30.8/31.0	27.0/27.0/27.0	28.8/28.8/28.9	0.74/0.74/0.75	0.71/0.71/0.71	0.79/0.80/0.80
	평균	30.8	27.0	28.8	0.74	0.71	0.80
S9/S18	1/2/3	40.2/40.4/40.5	34.5/34.5/34.5	37.8/37.8/37.9	0.74/0.74/0.74	0.70/0.70/0.70	0.79/0.79/0.79
	평균	40.4	34.5	37.8	0.74	0.70	0.79

로를 통과하는데 불편을 유발시키므로 좌회전 자전거 교통량이 적고, 차량교통량이 많은 신호교차로에 적용해야 할 것으로 판단된다.

통행방법2는 3가지 통행방법 중 자전거와 차량이 지체 시간과 정지횟수가 가장 낮은 값을 보였다. 자전거교통량 배분비율이 5:5인 경우 통행방법1과 자전거 전체지체시간은 최고 2배, 좌회전지체시간은 평균 62%정도 단축하였고, 통행방법3과는 자전거의 전체지체시간은 큰 차이를 보이지 않았다. 자전거교통량 배분비율이 7:3인 경우 역시 5:5인 경우와 비슷한 결과가 나타났으나, 자전거의 직진교통량이 증가하였음에도 불구하고 자전거의 좌회전지체시간이 직진지체시간보다 높게 나타났다. 이는 통행방법2에서는 자전거의 직진교통량보다는 좌회전교통량이 좀 더 우선시 되어 고려되어야 할 것으로 보인다. 차량의 지체시간은 통행방법1과 마찬가지로 자전거 현시가 따로 제공되지 않아 자전거 통행이 차량의 지체에 영향을 미치지 않았다. 따라서 통행방법2는 차량 및 자전거 모두를 위해 좋은 신호운영방법이며, 차량 및 자전거의 교통량이 많은 신호교차로에 적용해야 할 것으로 판단된다.

통행방법3의 자전거 지체시간은 자전거의 직진, 좌회전의 교통량 배분비율이 5:5인 경우와 7:3인 경우 모

두 통행방법2보다는 높고 통행방법 1보다는 많이 낮은 값을 보여 통행방법3도 직접좌회전 시행으로 인한 효과가 큰 것으로 나타났다. 그러나 좌회전지체시간이 통행방법1보다 낮음에도 불구하고 정지횟수는 통행방법3이 더 높게 나타났는데, 이는 본 연구에서 자전거가 Bike Box 안전하게 진입할 수 있도록 자전거에게 Bike Box 진입허용여부에 대한 신호를 주었으며, 이로 인하여 좌회전 시 진입 전과 Bike Box내에서 정지하면서 위와 같은 결과가 나온 것으로 생각된다. 차량의 지체시간은 전체평균지체시간이 30.9초로 큰 차이는 아니지만 3가지 통행방법 중 가장 높은 값이 나왔으며, 이는 Bike Box 설치로 인해 그만큼 차량이 점유할 수 있는 공간이 줄어들었기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 접근로가 많은 4지 신호교차로나 교통량이 매우 많은 신호교차로에서 대기시간이 더 증가하게 되면 Bike Box가 차량의 지체에 미치는 영향은 더 크게 나타날 것으로 생각된다. 따라서 통행방법3은 차량교통량이 적어 평균통행속도가 높아 자전거 이용자가 안전의 위협을 받아 보호받을 필요가 있는 신호교차로나 자전거교통량이 적고 좌회전하는 자전거교통량이 많지 않은 곳에 적용하면 유리할 것으로 판단된다.

V. 결론 및 향후연구과제

본 연구에서는 3지 신호교차로를 대상으로 자전거 교통류가 연속성, 편의성을 유지하면서 안전하게 교차로를 횡단할 수 있도록 차량교통량, 자전거교통량, 통행방법, 자전거의 직진, 좌회전 교통량 배분비율을 변수로 총 54가지의 시나리오를 구성하여 미시적 교통류 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 이용하여 적절한 신호운영방안에 대해 알아보았다.

효과적도인 지체시간 및 정지횟수를 분석한 결과 차량교통량이 많고 자전거교통량이 적은 곳에서는 간접좌회전 방법이(통행방법1) 차량교통량과 자전거교통량이 많은 곳에서는 전용차로에서 직접좌회전 방법이 (통행방법2) 차량교통량이 적고 자전거교통량이 적은 곳에서는 Bike Box에서 직접좌회전 방법이(통행방법3) 적합한 것으로 분석되었다. 국내에서는 자전거의 직접좌회전이 현재 허용되지 않고 있으나 향후 자전거 이용이 활성화됨을 전제로 하여 직접좌회전 방법을 포함하여 분석한 것에 연구의 의의가 있다.

그러나 연구의 가정과 한계도 명확히 존재한다. 2010년 행정안전부와 국토해양부에서 발간된 '자전거 이용시설 설치 및 관리 지침'에 의하면 연속류 자전거도로, 즉 자전거 전용도로의 용량은 일방향 1차로의 경우 3500대/시를 제시하고 있다. 한편, 도로용량편람의 자전거 편에서는 신호교차로에서 포화교통류율을 자전거 전용도로 폭이 2.5m 이상일 때 3,000대/시를 제시하고 있고 자전거 도로 폭이 감소함에 따라 폭 보정계수를 제시하고 있다. 그러나 본 연구에서 분석하고자 하는 3지 신호교차로에서의 자전거 직접좌회전을 위한 다양한 보정계수, 특히 좌회전 보정계수, 회전반경에 의한 보정계수 등을 아직은 제시하고 있지 않아, 연구진 임의로 3지 신호교차로 분석 시 필요한 보정계수 값을 설정할 수밖에 없었음이 그 것이다. 차선책으로 본 연구에서는 자전거의 교통량을 직접 사용하였고, 현재 우리나라의 자전거 이용현황을 문헌조사와 현장조사를 통하여 설정하였으나, 이는 추후 보완연구가 진행되어야 할 사항이다.

향후 연구 과제를 살펴보면, 첫째, 본 연구는 3지 신호교차로를 대상으로 적절한 신호운영방안에 대해 연구하였다. 향후 4지 신호교차로, 회전교차로 등 다양한 유형의 신호교차로에 대한 연구가 필요할 것이다. 둘째, 자전거 전용차로에 대해서 한 가지 유형으로

만 가정하여 연구를 하였다. 자전거 전용차로를 중앙차로 측에 설치하는 형태의 연구가 더 필요할 것으로 판단된다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제63회 학술발표회(2010.10.28)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. 건설교통부(2001), "도로용량편람".
2. 건설교통부(2006), "자전거 이용 활성화 방안 마련을 위한 연구", pp.56~59.
3. 국토해양부(2009), "자전거도로 시설기준 및 관리지침", pp.66~69.
4. 국토해양부(2010), "자전거 이용시설 설치 및 관리지침", pp.43~44.
5. 김태균(2009), "교차로 통행방식별 자전거신호 운영방안에 관한 연구", 공주대학교 석사학위논문.
6. 도철웅(2005), "교통공학원론(상)"
7. 손영태·김정현·오영태·김홍상·박우신(2002), "자전거 교통류의 기본 특성에 관한 실험 연구", 대한교통학회지, 제20권 제4호, 대한교통학회, pp.19~26.
8. 손영태·이진각·이상화·김홍상(2007), "자전거 이용자 행태 반응을 위한 신호교차로에서의 자전거 횡단시간 연구", 한국도로학회 논문집, 제9권 제3호, 한국도로학회, pp.83~89.
9. 최광현(2009), "자전거 통행을 고려한 교차로 신호 운영방안에 관한 연구", 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
10. 최은진·조한선·김응철, "신호교차로에서의 자전거 신호운영방안", 대한교통학회 제60회 학술발표회, 대한교통학회, pp.731~736.
11. 한원섭·황상호·현철승·이호원·오영태·이철기(2008), "국내 교통여건을 고려한 자전거전용신호 등 도입방안 연구", 한국ITS학회논문지, 제7권 제5호, 한국ITS학회, pp.77~89.
12. AASHTO(1999), "Guide for the Development of Bicycle Facilities".
13. Alan Wachtel and John Forester, David Pelz(1995), "Signal Clearance Timing for Bicyclists", ITE JOURNAL, pp.38~45.

14. Daniel I. Rubins(2005), "Bicycle Clearance Times: A Case Study of the City of Davis", Transportation Research Board Annual Meeting 2005.
15. Huang Ling and Jianping Wu(2004), "A Study on Cyclist Behavior at Signalized Intersections", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Vol 5, No 4, pp.293~299.
16. Matthew J. Kolve and Debbie A. Niemeir(2005), "Benefit-cost analysis of added bicycle phase at existing signalized intersection." Journal of Transportation Engineering -Asce 128 (1), pp.40~48.
17. Steven E. Shladover, ZuWhan Kim, Meng Cao, Ashkan Sharafsaleh and Jing-Quan Li(2009), "Bicyclist Intersection Crossing Times", TRB.

☞ 주 작성자 : 허희범

☞ 교신저자 : 김응철

☞ 논문투고일 : 2011. 1. 7

☞ 논문심사일 : 2011. 2. 7 (1차)

2011. 6. 16 (2차)

2011. 7. 27 (3차)

☞ 심사판정일 : 2011. 7. 27

☞ 반론접수기한 : 2012. 2. 28

☞ 3인 익명 심사필

☞ 1인 abstract 교정필