

4지 신호교차로에서 효율적 자전거 교통류 처리방안 연구

A Study on Efficient Management of Bicycle Traffic Flow at Four-Legged Intersections

목 승 준 Mok, Sueng Joon
김 응 철 Kim, Eung Cheol
허 희 범 Heo, Hee Bum

한국철도기술연구원 녹색교통물류시스템공학연구소 연구원 (E-mail: msjpkpk@nate.com)
정회원 · 인천대학교 건설환경공학전공 부교수 · 교신저자 (E-mail: eckim@incheon.ac.kr)
한국도로공사 교통팀 대리 (E-mail: gmlqja83@ex.co.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study aims to suggest a proper left-turn treatment method for the bicycle traffic flow at four-legged intersections.

METHODS : Four types of crossing methods are proposed and analyzed : (1) indirect left turn, (2) direct left turn, (3) direct left turn on a Bike Box, and (4) direct left turn on bike left turn lane. The VISSIM simulation tests were conducted based on forty-eight operation scenarios prepared by varying vehicle and bicycle traffic volumes.

RESULTS : The results from the four-legged signalized intersections suggest that (1) the indirect left turn is appropriate when vehicle demand is high, (2) the direct left turn is efficient on most traffic situation but the safety is a concern, (3) the direct left turn on a Bike Box is appropriate when bicycle demand is high while vehicle demand is not, and (4) the direct left turn on a bike left turn lane is appropriate when both vehicle and bicycle demand are low.

CONCLUSIONS : The direct left turn of bicycle provides more efficiency than the indirect left turn at the four-legged intersections but to apply the methods and to study more, advanced evaluation methods, related law, and insurance programs are needed.

Keywords

bicycle signal, four-legged intersection, direct left turn, indirect left turn, VISSIM

Corresponding Author : Kim, Eungcheol, Associate Professor
Department of Civil & Environmental Engineering, Incheon National University,
(Songdo-dong)119, Academy-ro, Yeonsu-gu, Incheon, 406-772, Korea
Tel : +82.32.835.4755 Fax : +82.32.835.0775
E-mail : eckim@incheon.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ijhe.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

고유가, 환경오염 등의 이유로 국내 교통관련 정책은 녹색교통에 관심을 두고 도로의 이산화탄소 배출량을 감소시키기 위해 노력해 왔다. 그리고 그 중 가장 주안점을 두었던 정책 중 하나가 자전거 이용 활성화이다.

자전거 이용 활성화를 위해 자전거 도로 설치를 비롯하여 자전거 보관 시설 등 시설확충, 공공자전거 정책(창원시 누비자, 고양시 피프틴, 대전시 타슈 등), 10대

자전거 거점도시 구축사업 등 정부 및 지자체는 막대한 자원을 투입하였다. 그러나 당초 자전거 수송 분담률을 4.4%까지 끌어올리겠다는 목표와는 달리 2010년 현재 전국의 자전거 수송분담률은 2.58%이다.

이러한 결과는 기존의 자전거 이용활성화 정책이 자전거 이용자의 실질적인 요구사항을 반영하지 못한 채 시설확충에만 의존한 결과라고 판단된다.

실제 자전거 이용 시 가장 불편하다고 느끼는 문제점에 대해 조사한 연구에 따르면 이용자들이 통행상 가장

불편함을 느끼는 이유는 차량과 보행자와의 충돌위험(안전성), 교차로나 도로 횡단 시 불편, 방해물에 의한 주행방해 순인 것으로 나타났다(건설교통부, 2006).

그럼에도 불구하고 여전히 도로에 설치되어 있는 노상자전거 도로는 불법 주차되어 있는 차량으로 이용이 자유롭지 못한 실정이다. 또한 교차로가 잦은 도시부 도로에서는 자전거에서 내렸다 타기를 반복해야 한다. 뿐만 아니라 차량, 보행자와의 충돌사고에 항상 주의를 기울여야 하는 것도 자전거 이용자이다.

정부의 목표대로 도시부의 통근, 통학 등의 통행을 자전거로 수단 전환시켜 2016년까지 목표치인 5%로 만들기 위해서는 위와 같은 문제를 해결하는데 주력해야 할 것이다.

본 연구에서는 자전거 이용에 불편을 느끼는 이유 중 한가지인 교차로 횡단 시 불편을 개선하기 위한 대안을 제시하기 위하여 교차로에서의 자전거 좌회전 처리방안에 대해 연구하였다.

현재 국내에서 허용하고 있는 간접좌회전 방안과 국외에서 운영되고 있는 직접좌회전 3가지 방안(국내에서는 허용하고 있지 않는)을 시뮬레이션을 통해 구현하여 분석함으로써 자전거 이용자의 편의를 고려한 신호교차로의 효율적인 운영방안을 제시하고자 한다.

1.2. 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 도심부에 주를 이루고 있는 4지 신호교차로를 대상으로 차량 및 자전거 각각의 교통량에 따라 자전거 교통류가 연속성, 안전성을 유지하며 교차로를 횡단할 수 있는 최적의 처리방안을 연구하고자 한다.

4지 신호교차로 내 자전거 처리방안에 대한 관련 선행 연구 및 사례를 바탕으로 국내 4지 신호교차로 설계 및 운영의 기본방향을 도출하여 각각의 상황에 맞는 네트워크 및 시나리오를 구성하여 교차로 내 자전거 횡단방안을 구현한다. 시나리오 분석을 위하여 교통 분야에서 사용되고 있는 미시적 시뮬레이션 프로그램으로 교통의 흐름을 시각적으로 표현하여 설계 및 운영 대안을 도출한다. 분석에는 운전자의 행태를 교통특성, 수단별 특성 등 여러 형태로 모의실험이 가능한 VISSIM (Verkehr In Städten - SIMulationsmodell)을 이용한다.

4지 신호교차로에서 자전거 이용자가 차량교통량 및 자전거교통량에 따라 적합한 통행방법 및 신호운영방법을 판단하기 위한 효과적도로는 평균지체시간, 평균정

지횡수를 사용하고자 한다.

2. 관련 문헌 및 선행연구고찰

2.1. 교차로내 자전거관련 지침 고찰

2.1.1. 자전거 횡단도 설치

현재 국내에서 자전거 횡단도의 설치는 횡단보도와 인접하여 설치하도록 명시되어 있다. 교차로를 중심으로 횡단보도 외측에 설치되는 자전거 횡단도는 횡단보도를 횡단하는 보행자와의 상충이 존재하므로 보행자가 많은 교차로에서는 교차로를 중심으로 횡단보도 내측으로, 즉 설치 교차로 다음에 자전거 횡단도, 보행자 횡단도 순으로 설치할 수 있으며, 자전거 이용시설 설치 및 관리지침(2010)에서 제시한 자전거 횡단도의 설치기준은 Fig. 1과 같다.

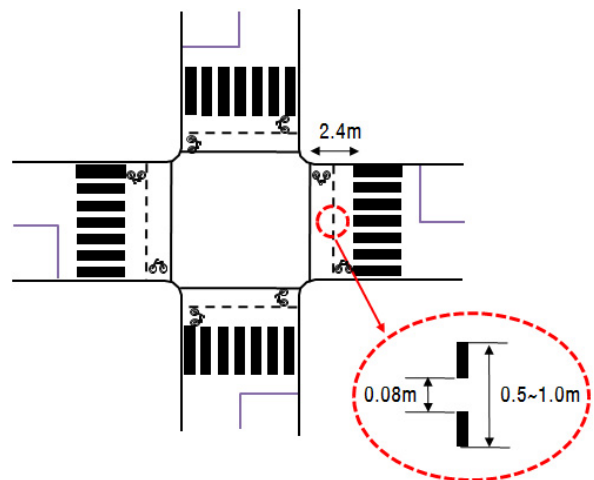


Fig. 1 The Standard of Bicycle Crossroad

2.1.2. 자전거의 통행방법(좌회전)

자전거도로 시설기준 및 관리지침(2009)에서는 좌회전, 우회전하는 자전거의 정의 및 적용기준에 대해서도 언급하고 있으며, 그 내용은 다음과 같다.

(1) 직접좌회전

자전거이용자가 좌회전을 위해 자동차도로의 좌회전 차로에 진입하거나 자전거용 좌회전 차로를 이용하는 방법으로 자전거통행자가 적색신호 시에 자동차의 정지선 앞에 전방 정지선과 대기공간이 필요하며, 직접좌회전 방식은 신호교차로를 지나가는 자동차통행이 1,200대/시이며 85% 주행속도가 50km 미만인 경우에 적용을 검토할 수 있다.

해당 통행방법은 2009년 12월 도로교통법이 개정되기 이전에 허용되었던 것으로 현재는 안전상의 이유로 직접 좌회전은 원칙적으로 불가하다.

(2) 간접좌회전

보행자 신호와 함께 2단계로 좌회전하는 방법으로 후크 턴(Hook-turn)이라고 불리며, 자전거대기를 위한 특별한 공간이 필요하며, 자동차교통량이 많은 간선도로에서 자전거 좌회전이 금지될 경우 사용한다.

2010. 01. 18 신설된 「도로교통법」 제25조에서는 교차로에서의 자전거 통행방법에 대해 “자전거의 운전자는 교차로에서 좌회전하고자 하는 때에는 미리 도로의 우측 가장자리로 붙어 서행하면서 교차로의 가장자리 부분을 이용하여 좌회전해야 한다.”라고 규정하고 있으며, 교차로 자전거 좌회전 처리는 1차 신호 시 직진 후 2차 신호 또는 보행신호 시 좌회전을 할 수 있으며, 세부적인 좌회전 통행 방식은 Fig. 2와 같다.

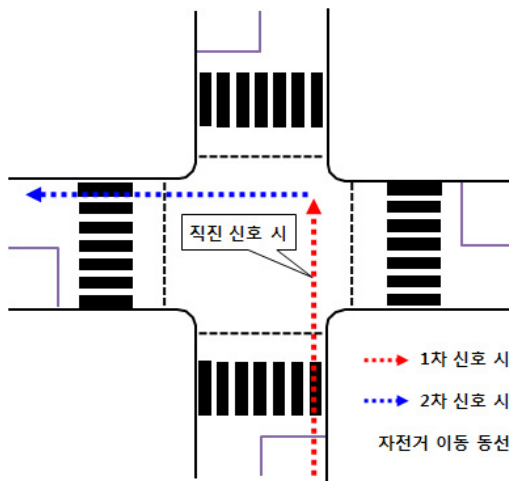


Fig. 2 Bicycle Crossing Method (Four-Legged Intersection)

2.1.3. 서비스수준

서비스수준을 판별하는 척도를 효과척도라고 하며,

Table 1. Measure of Effectiveness by the Types of Bike Lane

Classification	M.O.E
Bicycle Track	The Number of Conflict
Shared Pedestrian/ Bicycle Path	The Number of Conflict
Bicycle Lane	The Number of Conflict
Signalized Intersection	Stop Delay
Bicycle Lane on road	Average Travel Speed

도로용량편람(2013)에서는 Table 1과 같이 자전거도로의 유형에 따라 각기 다른 효과척도를 제시하고 있다.

신호교차로에서 자전거교통류의 서비스수준은 자동차교통류와 마찬가지로 지체에 의해 표현될 수 있으며, 그에 따른 서비스수준은 도로용량편람(2013)에서 Table 2와 같이 제시하고 있다.

Table 2. Level of Service of Bicycle Use at the Signalized Intersection

Level of Service	Average Control Delay(sec/veh)
A	8
B	< 12
C	< 25
D	< 40
E	< 55
F	≥ 55

2.1.4. 자전거 신호 운영

경찰청의 교통신호기 설치관리 매뉴얼(2009)에서는 자전거 신호등 운영에 관한 매뉴얼을 신설하였으며, 그 중 자전거 신호에 대한 내용은 다음과 같다.

- 자전거 주행 신호등의 경우 신호변환시간은 적색신호 점등에 앞서 정지할 필요가 있는 자전거 이용자들에게 주의를 주기 위한 적절한 시간을 제공할 수 있도록 설계되어야 한다.
- 교차로에서 황색시간의 길이는 교차로에 접근하는 자전거 이용자의 속도에 따라 가변된다. 황색시간은 최대 6초로 하며, 이를 넘는 나머지는 전적색 시간으로 한다.
- 황색 및 전적색 시간을 산출하기 위해서는 교차로의 폭, 자전거의 접근속도, 감속도, 자전거 이용자의 반응시간 등을 고려해야 한다.

또한 자전거 신호등 운영에서 딜레마존을 최소화할 수 있는 적정 신호변환시간을 구하는 공식을 다음과 같이 제시하였다.

$$y + r_{clear} \geq t_r + \frac{v}{2b} + \frac{(w+1)}{v} \quad (1)$$

여기서, y = 황색신호시간 (초)

- r_{clear} = 적색신호시간 (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)

2.2. 선행연구고찰

2.2.1. 교차로 내 자전거 횡단관련 연구

교차로 내 자전거 횡단에 관련된 연구를 살펴보면 손영태(2007)의 연구에서는 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 끌고 가는 형태(Pulling)로 횡단유형을 세분화 하여 현장조사를 통해 분석을 시도하였다. 분석결과 최소 녹색시간 산정 시 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 이용자 형태 중 Riding의 경우로 2.51m/s(15th percentile), 2.79m/s(25th percentile)를 적용할 수 있다고 하였다.

Wachtel, Forester, Pelz(1995)는 자전거를 위한 신호시간에 대한 연구를 하였다. 이를 위해 먼저 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 분리해야한다고 하였다.

Matthew(2005)의 연구에서는 미국 Davis시의 3지 신호교차로를 대상으로 자전거 신호현시를 추가하였을 경우 그 효과에 대한 연구를 하였다. 효과를 측정하기 위한 항목으로는 교통사고발생건수, 지체, 운영비용, 탄소배출량을 이용하였으며, 4가지 항목을 신호현시를 추가 전과 후로 비교하여 종합적으로 고려한 결과 자전거 신호현시를 추가하는 것이 자전거 신호현시를 추가하지 않는 것보다 이점이 더 크다는 결론을 내렸다.

최광현(2009)은 자전거 교통량 증가에 따른 필요 신호시간이 보행자 횡단 신호시간보다 클 경우 간접좌회

전 방식에 따른 신호운영을 그렇지 않을 경우에는 보행자 횡단시간을 이용한 신호운영이 효율적임을 밝혔다.

허희범(2011)의 연구에서는 3지교차로의 지체시간 및 정지횟수를 분석한 결과 차량교통량이 많고 자전거통행량이 적은 곳에서는 간접좌회전방법, 차량교통량과 자전거통행량이 많은 곳에서는 직접좌회전 방법, 그리고 차량교통량과 자전거통행량이 적은 곳에서는 Bike Box 방법이 적합한 것으로 나타났다.

Alan Wachtel et al.(1995)에서는 Bike Box의 설치하는 자전거가 자동차 교통류 전방에 위치하여 회전하는 자동차와의 상충을 감소시키는 것으로 분석하였고, Monsere & Dill(2010)은 77%의 자전거 운전자가 Bike Box가 설치되어 있는 교차로를 통과할 때 더 안전함을 느낀다고 밝혔다.

2.2.2. 자전거 이용자의 요구사항 관련 연구

이용자 요구사항을 분석한 연구 중 환경 친화적 자전거문화 정착연구(2007)는 자전거 이용 시 위험요소로 보행자와의 충돌이 34.3%로 가장 많으며, 그 다음은 자전거 도로의 단절 18.2% 순인 것으로 분석하였다.

국토해양부(2006)의 자전거 이용활성화 방안 마련을 위한 연구에서 이용자들이 통행에 가장 불편함을 느끼는 이유 중 하나가 도로 횡단 시 불편함인 것으로 나타났다.

현재까지의 국내외 연구들은 통해 자전거 이용활성화의 가장 큰 저해 요소 중 하나는 교차로의 횡단 시 불편함, 도로의 연결성, 안전성인 것으로 나타난다.

Hook-Trun, Bike Box의 방법들은 위와 같은 이용활성화 저해 요소를 해소시킬 수 있는 방법 중 하나이나, 개별 통행 방법은 교통상황에 따라 상이한 효과를 보인다. 따라서 다양한 교통환경에 적용하여 각각의 통행방법이 가장 효율적으로 운영될 수 있도록 한다면 신호운영의 효율성과 자전거 도로의 연속성을 충분히 보장해 줄 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 현재까지 교차로 내 자전거 횡단방안에 대한 연구는 충분히 이루어지지 않고 있음은 물론이고 자전거 교통류와 자전거 신호운영방안에 대한 연구도 매우 취약한 상태이다.

이에 본 연구에서는 도시부에서 가장 많이 이용되는 형태인 4지 신호교차로를 대상으로 기존의 교차로 내 통행 방법 시 운영 효율과 현재 미국 데이비스 등에서 적극 적용되고 있는 자전거 전용 좌회전 차로를 적용한 자전거 교통류 처리 방법을 비교분석 하고자한다.

3. 시뮬레이션 구현

3.1. 신호교차로 및 Data 구축

3.1.1. 신호교차로 구축

본 연구에서는 도시부 4지 신호교차로를 대상으로 하였으며, 4개의 접근로 모두 좌회전 전용차로를 가진 양방향 4차로로 가상의 교차로를 구축하였다.

각 접근로의 링크 길이는 입력된 교통량이 생성되어 링크를 충분히 통행할 수 있도록 500m로 설정하였으며, 이때의 중차량비는 2%로 설정하였다.

현재와 달리 2009년 12월 도로교통법이 개정되기 전까지 신호교차로에서 자전거의 직접 좌회전이 허용되었다. 단, 자동차 통행이 시간당 1,200대 이며 85% 주행속도가 50km 미만인 경우에 적용을 적극 검토할 수 있도록 자전거도로 시설기준 및 관리지침(2009)에 명시하고 있다.

이에 시뮬레이션 구현 시 차량의 속도는 50km/h로 규정하였으며, 자전거 속도는 13km/h를 적용하였다.

자전거의 속도는 VISSIM의 자전거 수단의 기본 값이며, 그밖에 분석 교차로에 반영된 임계 감속도와 자동차와 자전거의 길이도 기본 값을 적용하였다. 그 밖의 시뮬레이션 구현 사항은 Table 3과 같다.

Table 3. Details of the Simulated Intersection

Classification	Vehicle	Bicycle
Lane Width(m)	3.5	1.5
Desired Speed Distribution (km/h)	50(50~55)	13(10~15)
Critical Deceleration(m/sec ²)	4.5	2.5
Whole Length(m)	5	1.9

자전거 직접 좌회전을 위하여 Bike Box와 자전거 전용좌회전 차로를 구현하였으며, 이때 Bike Box는 최대 자전거 10대를 수용할 수 있는 용량으로 구현하였다.

3.1.2. 통행방법 설정

4지교차로에서 최적의 자전거 신호운영방안을 도출하기 위하여 국내외의 연구 및 운영사례 분석을 통해 교차로 내 자전거의 통행방법을 4가지로 분류하였다. 4가지 통행방법은 1) 간접좌회전 방법, 2) 차로 외측에 위치한 자전거 전용 도로 및 차로에서 직접 좌회전하는 방법, 3) 차량 정지선 전방에 위치한 별도의 공간(Bike Box)을 이용하여 좌회전하는 방법, 그리고 4) 교차로 내 좌회전 전용차로 우측에 위치한 자전거 전용 좌회전 차로

를 이용하여 좌회전하는 방법이다. 그 운영 방법은 Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5, 그리고 Fig. 6에 표현하였다.

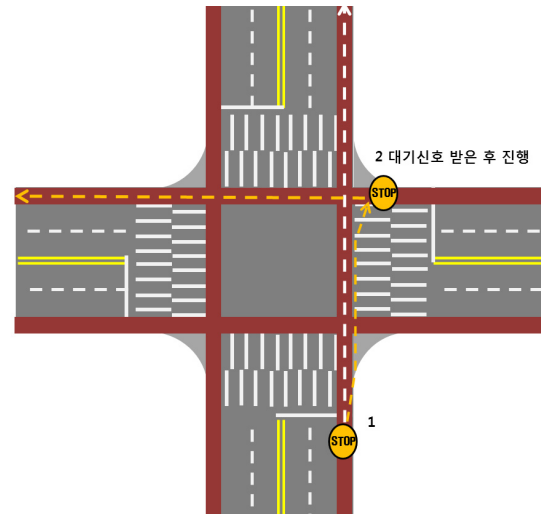


Fig. 3 Indirect Left Turn

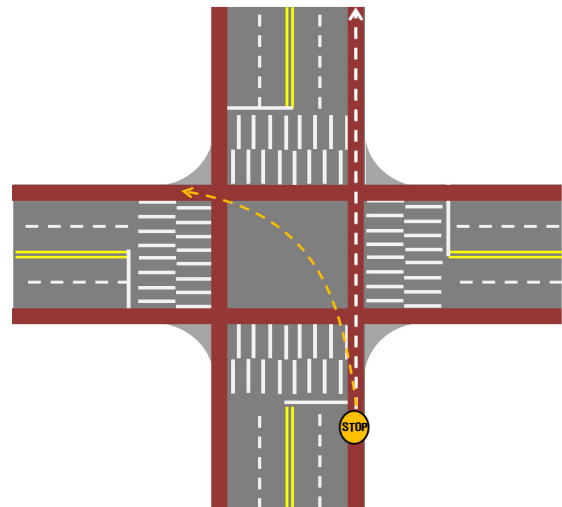


Fig. 4 Direct Left Turn

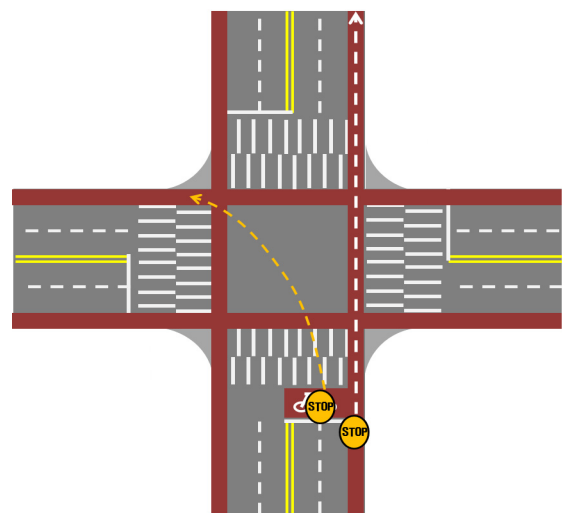


Fig. 5 Direct Left Turn at Bike Box

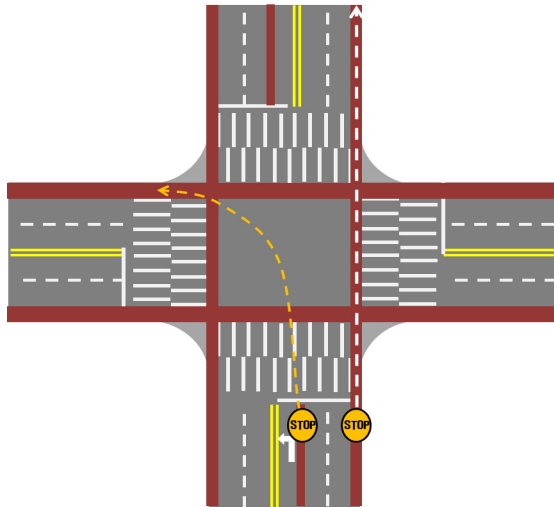


Fig. 6 Direct Left Turn at Left Turn Lane

3.1.3. 신호설정

본 연구에서 신호교차로를 구축하고 시뮬레이션을 수행하기 위하여 교차로에서 신호시간을 최적화 해주는 프로그램인 T7F(TRANSYT-7F)를 활용하였다. 그 결과 Table 5의 신호시간과 Fig. 7과 같은 현시를 적용하여 가상의 교차로를 구현하였다.

자전거 직접 좌회전 시 차량과 자전거의 속도차이를 고려하여 황색시간에 차이를 두었으며, 자전거의 좌회전 신호를 짧게 주어 차량의 직진신호 전에 자전거가 교차로를 모두 통과할 수 있도록 하였다.

Table 5. The Phases and Cycle Length according to the Saturation

Saturation	Signal Length(sec)				Cycle
	1	2	3	4	
0.35	19	27	19	27	90
0.5	19	27	19	27	90
0.7	24	27	24	27	110
0.9	24	27	24	27	110

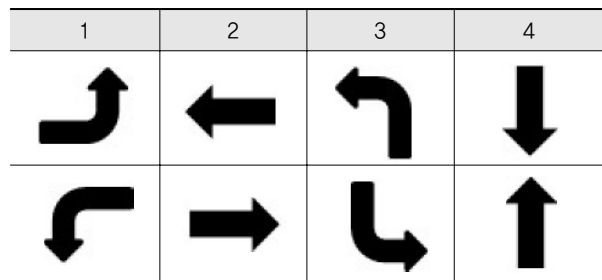


Fig. 7 Phase Sequence of the Virtual Intersection

Table 4. Scenario Compositions according to the Crossing Method, Vehicle Traffic Volume, and Bicycle Traffic Volume

Passing Method	Scenarios	Bicycle Traffic Volume	Vehicle Traffic Volume	Passing Method	Scenarios	Bicycle Traffic Volume	Vehicle Traffic Volume
Passing Method 1 (Indirect Left Turn)	S1	1	600vph	Passing Method 3 (Direct Left Turn at Bike Box)	S9	1	600vph
		2	1,200vph			2	1,200vph
		3	1,800vph			3	1,800vph
	S2	1	600vph		S10	1	600vph
		2	1,200vph			2	1,200vph
		3	1,800vph			3	1,800vph
	S3	1	600vph		S11	1	600vph
		2	1,200vph			2	1,200vph
		3	1,800vph			3	1,800vph
	S4	1	600vph		S12	1	600vph
		2	1,200vph			2	1,200vph
		3	1,800vph			3	1,800vph
Passing Method 2 (Direct Left Turn)	S5	1	600vph	Passing Method 4 (Direct Left Turn at Left Turn Lane)	S13	1	600vph
		2	1,200vph			2	1,200vph
		3	1,800vph			3	1,800vph
	S6	1	600vph		S14	1	600vph
		2	1,200vph			2	1,200vph
		3	1,800vph			3	1,800vph
	S7	1	600vph		S15	1	600vph
		2	1,200vph			2	1,200vph
		3	1,800vph			3	1,800vph
	S8	1	600vph		S16	1	600vph
		2	1,200vph			2	1,200vph
		3	1,800vph			3	1,800vph

3.2. 시나리오의 구성

본 연구의 분석에 이용된 교차로 내 자전거 통행방법은 간접좌회전 방법(통행방법 1), 차로 외측에서 직접좌회전하는 방법(통행방법 2), Bike Box에서 직접 좌회전하는 방법(통행방법 3), 그리고 교차로 내측 차량 좌회전 전용 차로 우측에서 설치된 자전거 전용 좌회전 차로를 이용하여 직접 좌회전하는 방법(통행방법 4)으로 하였다.

4지 교차로에 접근하는 차량의 교통량은 신호교차로의 포화도에 따라서 변화시켰으며, 차량 교통류의 경우 교차로의 포화도가 접근교통량 1,500vph, 2,250vph, 2,800vph, 3,800vph에 따라서 각각 0.35, 0.5, 0.7, 0.9로 나타났다. 자전거의 통행량은 시간당 600vph, 1,200vph, 1,800vph로 변화를 주었다.

자전거 이용시설 설치 및 관리지침(2010)에서는 자전거 전용도로의 용량은 일방향 1차로의 경우 3,500vph를 제시하고 있으나, 좌회전에 대한 보정계수, 회전반경에 대한 보정계수 등이 명확하게 제시되어 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 자전거의 교통량을 변화시켜 그 증감에 따른 효과를 알아보기 위하여 자전거 교통량을 직접 사용하였다. 각 접근로별 차량과 자전거의 교통량 배분율은 차량 교통량은 직진 0.6, 좌회전 0.3, 우회전 0.1로 하였으며, 자전거 교통량은 직진 0.35, 좌회전 0.35, 우회전 0.3으로 하였다. 통행방법, 차량 및 자전거 교통량에 따른 시나리오는 Table 4와 같이 구성하였다.

시뮬레이션에 사용된 프로그램은 VISSIM 4.0이며 각각의 시나리오 별로 랜덤시드 3개를 부여하여 분석된 결과를 평균함으로써 분석결과 값을 도출하였다.

4. 분석결과

4.1. 시나리오별 분석 결과

자전거 좌회전 처리의 4가지 방안에 대하여 차량과 자전거 교통량의 변화를 주어 48개의 시나리오를 구축하여 시뮬레이션 하였다. 그 결과 자전거 좌회전 처리 방법에 따른 운영효과를 평가하기 위한 평균 정지지체와 평균 정지 횟수를 Table 6(차량의 평균지체 및 정지횟수)과 Table 7(자전거의 평균 지체 및 정지횟수)에 제시하였다. 그리고 지체시간과 정지횟수는 시나리오별로 좌회전, 직진, 교차로 전체 3가지로 구분하여 나타내었다.

4.1.1. 통행방법 1

통행방법 1(M1)은 자전거가 간접 좌회전하는 방법으

로 통행방법 2(M2)와 함께 차량이 교통류에 직접적인 영향을 주지 않는 통행방법이다. 따라서 결과를 살펴보면 통행방법 1과 2 모두 차량과 자전거의 교통량 증감에 따른 평균정지지체와 정지횟수의 변화가 크지 않다. 두 통행방법에서 자전거와 차량 지체에 영향을 미치는 것은 단순히 교차로의 신호운영에 따른 영향만 있는 것으로 분석된다.

그러나 자전거 교통량과 차량 교통량이 동일한 시나리오를 통행방법 별로 살펴보면(Fig. 8), 차량의 평균지체 시간이나 정지횟수는 큰 변화가 없으나 자전거의 경우 통행방법 1(M1)이 다른 3가지 통행방법에 비하여 월등히 높은 평균 지체시간과 정지횟수를 보이는 것을 알 수 있다. 이렇듯 높은 지체시간과 정지횟수는 차량 또는 자전거의 교통량 증가에 따른 것이 아니라, 자전거 간접좌회전으로 인한 좌회전 지체시간 증가로 인한 것이다.

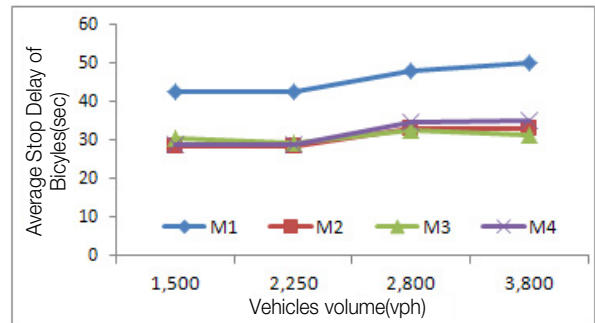


Fig. 8 Average Stop Delay of Bicycles by Passing Method and Vehicle Traffic Volume (Bicycle Volume 600vph)

Table 7의 자전거 좌회전교통류의 평균 정지지체시간과 정지횟수를 살펴보면 지체시간의 경우 최대 96초, 정지횟수는 2, 3회로 나타나나, 직진 교통류의 경우 다른 통행 방법과 큰 차이를 보이지 않는다는 것을 알 수 있다. 즉, 간접 좌회전의 특성상 최소 1번 이상의 대기가 있을 수 밖에 없으므로 좌회전시 지체시간과 정지횟수가 해당 통행방법의 자전거 전체 지체와 정지횟수를 증가시키는 것이다.

따라서 통행방법 1의 경우 자전거 이용 활성화 측면에서 고려할 때, 자전거 이용효율을 가장 저하시키는 방법인 것으로 분석된다.

4.1.2. 통행방법 2

차로 외측에 위치한 자전거 전용 도로 및 차로에서 직접 좌회전 하는 방법인 통행방법 2 역시 차량의 지체와 정지횟수가 통행방법 1과 유사한 것으로 분석되었다.

Table 6. Average Stop Delay and Average Stops of Vehicles according to Scenarios

Vehicle_Scenario			Delay(sec)			Stops(times)		
			(Left Turn)	(Through)	Total	(Left Turn)	(Through)	Total
Passing Method 1 (M1)	S1	1/2/3	35.6/35.6/35.6	29.5/29.6/29.5	31.6/31.7/31.7	0.8/0.8/0.8	0.7/0.7/0.7	0.8/0.8/0.8
			35.6	29.5	31.7	0.8	0.7	0.8
	S2	1/2/3	37.4/37.4/37.4	30.7/30.8/30.8	32.9/32.9/33.0	0.8/0.8/0.8	0.7/0.7/0.7	0.8/0.8/0.8
			37.4	30.8	32.9	0.8	0.7	0.8
	S3	1/2/3	38.0/39.1/39.1	35.0/37.1/37.2	36.2/38.0/38.0	0.8/0.8/0.8	0.8/0.8/0.8	0.8/0.8/0.8
			38.7	36.4	37.4	0.8	0.8	0.8
	S4	1/2/3	43.2/43.5/43.4	44.5/45.1/45.3	44.7/45.3/45.3	1.1/1.1/1.1	0.9/0.9/0.9	1.0/1.0/1.0
			43.4	45.0	45.1	1.1	0.9	1.0
Passing Method 2 (M2)	S5	1/2/3	35.2/35.2/35.2	29.2/29.2/29.2	30.4/30.4/30.4	0.8/0.8/0.8	0.7/0.7/0.7	0.7/0.7/0.7
			35.2	29.2	30.4	0.8	0.7	0.7
	S6	1/2/3	38.0/38.0/38.0	30.6/30.6/30.6	32.2/32.2/32.2	0.8/0.8/0.8	0.7/0.7/0.7	0.8/0.8/0.8
			38.0	30.6	32.2	0.8	0.7	0.8
	S7	1/2/3	40.4/40.4/40.4	36.9/36.9/36.9	37.3/37.3/37.3	0.8/0.8/0.8	0.8/0.8/0.8	0.8/0.8/0.8
			40.4	36.9	37.3	0.8	0.8	0.8
	S8	1/2/3	43.9/43.9/43.7	42.8/42.7/42.7	42.6/42.6/42.5	1.0/1.0/1.0	0.9/0.9/0.9	0.9/0.9/0.9
			43.8	42.7	42.6	1.1	0.9	0.9
Passing Method 3 (M3)	S9	1/2/3	37.0/37.0/37.0	29.7/29.7/29.7	30.9/30.9/30.9	0.8/0.8/0.8	0.7/0.7/0.7	0.7/0.7/0.7
			37.0	29.7	30.9	0.8	0.7	0.7
	S10	1/2/3	43.0/43.0/43.0	32.5/32.5/32.5	34.9/34.9/34.9	0.9/0.9/0.9	0.8/0.8/0.8	0.8/0.8/0.8
			43.0	32.5	34.9	0.9	0.8	0.8
	S11	1/2/3	42.2/42.3/42.2	41.6/41.6/41.6	44.2/44.2/44.2	1.1/1.1/1.1	0.9/0.9/0.9	0.9/0.9/0.9
			42.2	41.6	44.2	1.1	0.9	0.9
	S12	1/2/3	84.4/83.9/86.1	72.9/74.1/72.7	76.0/76.7/76.3	3.7/3.6/3.6	3.3/3.2/3.2	3.4/3.3/3.3
			84.8	73.2	76.3	3.6	3.2	3.3
Passing Method 4 (M4)	S13	1/2/3	35.1/35.1/35.2	29.3/29.4/29.6	30.4/30.5/30.6	0.8/0.8/0.8	0.7/0.7/0.7	0.8/0.8/0.8
			35.1	29.4	30.5	0.8	0.7	0.8
	S14	1/2/3	38.0/38.0/38.2	30.7/30.9/31.0	32.3/32.4/32.5	0.8/0.8/0.8	0.7/0.7/0.8	0.8/0.8/0.8
			38.1	30.9	32.4	0.8	0.8	0.8
	S15	1/2/3	40.7/40.5/40.7	37.5/38.3/39.3	37.8/38.3/39.0	0.8/0.8/0.9	0.8/0.9/0.9	0.8/0.9/0.9
			40.6	38.4	38.3	0.8	0.9	0.9
	S16	1/2/3	44.2/52.3/61.7	46.9/61.2/78.3	45.8/58.5/73.5	1.0/1.1/1.3	1.0/1.2/1.6	1.0/1.2/1.5
			52.7	62.1	59.2	1.2	1.3	1.3

Table 7. Average Stop Delay and Average Stops of Bicycles according to Scenarios

Bicycle_Scenario			Delay(sec)			Stops(times)		
			(Left Turn)	(Through)	Total	(Left Turn)	(Through)	Total
Passing Method 1 (M1)	S1	1/2/3	81.4/83.3/84.7	40.4/43.2/41.5	42.6/42.9/42.0	2.0/2.2/2.2	0.9/1.0/1.0	1.1/1.2/1.2
			83.1	41.7	42.5	2.1	1.0	1.2
	S2	1/2/3	81.4/83.3/84.7	40.4/43.2/41.5	42.6/42.9/42.0	2.0/2.2/2.2	0.9/1.0/1.0	1.1/1.2/1.2
			83.1	41.7	42.5	2.1	1.0	1.2
	S3	1/2/3	89.8/92.7/94.0	46.6/45.2/47.2	47.9/46.7/46.9	2.1/2.2/2.3	1.0/1.0/1.1	1.1/1.1/1.2
			92.2	46.3	47.2	2.2	1.0	1.1
	S4	1/2/3	96.0/92.7/94.0	48.2/45.2/47.2	50.2/46.7/46.9	2.1/2.2/2.3	1.0/1.0/1.1	1.1/1.1/1.2
			94.2	46.9	47.9	2.2	1.0	1.1

Passing Method 2 (M2)	S5	1/2/3	39.7/39.7/41.9	40.3/42.7/41.0	28.4/29.2/29.0	1.0/0.9/1.0	0.9/1.0/1.0	0.7/0.7/0.7
			40.4	41.3	28.9	1.0	1.0	0.7
	S6	1/2/3	39.8/39.8/41.9	40.2/42.8/41.0	28.4/29.2/29.1	1.0/1.0/1.0	0.9/1.0/1.0	0.7/0.7/0.7
			40.5	41.3	28.9	1.0	1.0	0.7
	S7	1/2/3	45.0/45.5/47.6	47.8/44.8/46.6	33.0/32.3/33.4	0.9/1.0/1.0	0.9/1.0/1.0	0.7/0.8/0.8
			46.0	46.4	32.9	1.0	1.0	0.8
	S8	1/2/3	45.0/45.5/47.6	47.8/44.6/46.8	33.0/32.3/33.4	0.9/1.0/1.0	0.9/1.0/1.0	0.7/0.8/0.8
			46.0	46.4	32.9	1.0	1.0	0.8
Passing Method 3 (M3)	S9	1/2/3	48.2/47.0/47.6	40.2/42.3/40.1	30.4/30.5/29.3	1.5/1.5/1.6	0.9/1.0/0.9	0.9/0.9/0.9
			47.6	40.9	30.1	1.5	0.9	0.9
	S10	1/2/3	45.0/44.6/45.0	40.2/42.3/40.1	29.3/29.8/28.5	1.4/1.5/1.6	0.9/1.0/0.9	0.8/0.9/0.9
			44.9	40.9	29.2	1.5	0.9	0.9
	S11	1/2/3	47.9/53.7/49.7	47.2/45.6/46.6	32.6/33.8/32.3	1.6/1.6/1.6	1.0/1.0/1.0	0.9/0.9/0.9
			50.4	46.5	32.9	0.6	1.0	0.9
	S12	1/2/3	43.9/51.3/46.8	47.2/45.6/46.6	31.4/33.0/31.3	1.4/1.5/1.5	1.0/1.0/1.0	0.9/0.9/0.9
			47.3	46.5	31.9	1.5	1.0	0.9
Passing Method 4 (M3)	S13	1/2/3	39.8/40.1/42.9	41.6/43.3/42.1	29.1/29.8/30.1	0.9/0.9/1.0	1.0/1.0/1.0	0.7/0.7/0.8
			40.9	42.3	29.7	0.9	1.0	0.7
	S14	1/2/3	39.8/40.1/42.9	41.6/43.3/42.1	29.1/29.8/30.1	0.9/0.9/1.0	1.0/1.0/1.0	0.7/0.7/0.8
			40.9	42.3	29.7	0.9	1.0	0.7
	S15	1/2/3	48.0/48.8/49.8	48.6/45.9/47.2	34.7/33.8/34.7	1.5/1.6/1.6	1.0/1.0/1.0	0.9/1.0/1.0
			48.9	47.2	34.4	1.6	1.0	1.0
	S16	1/2/3	49.4/48.2/52.5	48.6/48.5/48.9	35.2/35.3/36.5	2.0/2.0/2.1	1.0/1.0/1.1	1.1/1.2/1.2
			50.1	48.7	35.7	2.0	1.0	1.2

다만, 통행방법 1과 달리 자전거이용자에게 교차로 내에서의 직접 좌회전을 허용함으로써 자전거 지체시간 및 정지횟수가 감소하여 자전거와 차량모두 원활하게 교차로를 통과하는 것으로 나타났다. 즉, 통행방법 2의 경우 차량과 자전거 모두 자체의 교통량과 교차로의 신호체계 이외에 지체에 영향을 미치는 요인은 없다는 사실을 알 수 있다.

4.1.3. 통행방법 3

통행방법 3(M3)은 Bike Box에서 대기하였다가 좌회전하는 방식으로 영국, 미국 등의 도시부 교차로에서 적극적으로 이용되고 있는 운영 방법 중 하나이다.

좌회전하고자 하는 자전거가 차량 정지선 앞에 위치한 Bike Box에서 대기하였다가 선행하여 이동할 수 있도록 함으로써, 차량이 좌회전하는 자전거 교통류를 보다 효과적으로 인식할 수 있는 방법이다.

해당 방법의 분석결과를 보면 먼저 차량의 정지지체 시간과 정지횟수는 자전거 교통량의 변화에 따라 큰 변화를 보이지 않는 것으로 분석되었다. 이와 마찬가지로 자전거 지체 역시 자전거 교통량 자체의 증가로

인한 지체시간과 정지횟수의 증가는 다소 있었으나, 차량의 교통량으로 인한 영향은 없는 것으로 분석되었다.

다만, Fig. 9와 같이 차량 지체의 경우 교통량이 3,800vph 이상인 경우 차량의 지체가 급증하는 것으로 분석되었다. 이는 폭 10m, 길이 4m 가량의 Bike Box의 설치로 인한 교차로 용량 감소로 인한 영향인 것으로 판단된다. 따라서 Bike Box 설치의 경우 교차로에서 차량의 용량을 감소시키므로 이에 대한 고려가 필요할 것이다.

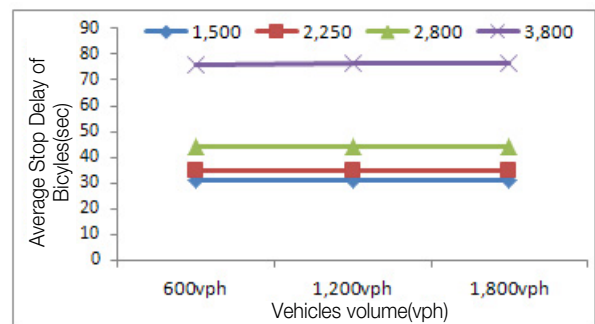


Fig. 9 Average Stop Delay of Bicycles and Vehicle Traffic Volume for Passing Method 3

4.1.4. 통행방법 4

자전거 좌회전 전용차로를 이용한 통행방법 4(M4)는 차량의 지체시간의 경우 Fig. 10 과 Table 6을 통해 알 수 있듯이, 차량 교통량 2,800 이하에서는 자전거 교통량이나 차량교통량의 증가가 차량과 자전거의 지체에 큰 영향을 미치지 못한다는 사실을 알 수 있다. 그러나 차량 교통량이 3,800vph인 시나리오의 경우 자전거 교통량 증가에 따라 차량의 평균 지체시간이 급격히 증가하는 것을 알 수 있으며, 이는 정지횟수에서도 동일한 형태를 보인다.

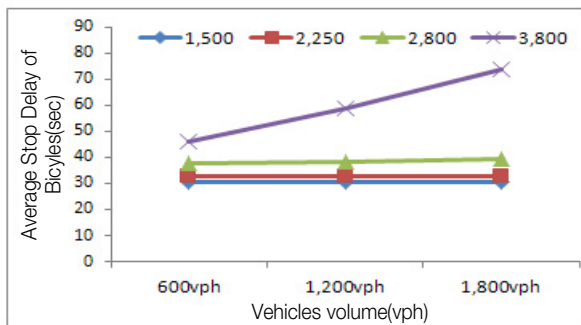


Fig. 10 Average Stop Delay of Bicycles and Vehicle Traffic Volume for Passing Method 4

자전거의 경우 Fig. 11을 통해 차량 교통량 증가에 따른 자전거의 정지 지체시간이 증가하는 것을 알 수 있다. 실제 상관분석을 통해 차량의 교통량과 자전거의 평균 정지지체 및 정지횟수가 유의수준 95%에서 각각 +0.423(.010), 0.588(.000)의 상관관계를 가짐으로써 유의한 영향이 있음을 분석하였다.

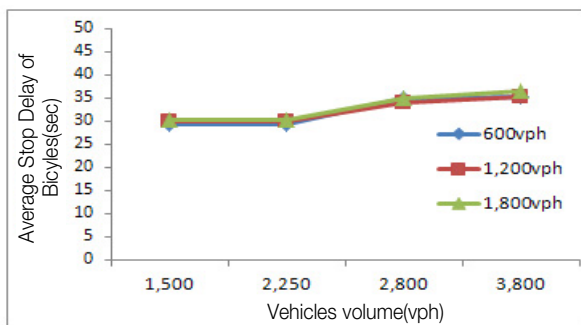


Fig. 11 Average Stop Delay of Bicycles and Vehicle Traffic Volume for Passing Method 4

통행방법 4의 경우 자전거 이용자가 우측의 자전거 전용차로에서 좌측의 자전거 좌회전 전용차로로 진입하는 과정에서 차량의 교통류에 영향을 미침으로써, 자전거와 차량의 교통량 증가에 따른 지체시간이 증가하는 것으로 분석된다.

통행방법1, 2, 3은 차량의 교통량 증가가 자전거의 지체시간이나 정지횟수에 영향을 미치지 않는 반면 통행방법 4의 경우 차량과 자전거의 교통량 증가가 상호 평균 정지 지체시간과 정지횟수에 영향을 미친다는 점이 특징적이다.

4.1.5. 통행방법 별 장단점

통행방법 별 자전거와 차량의 평균 정지 지체시간 및 정지횟수의 결과를 통해 도시부 교차로에서 자전거 좌회전의 효율적 처리방안을 찾아보고자 하였다.

현재 도로교통법상 허용하고 있는 자전거의 교차로 통행방법은 간접좌회전으로 통행방법 1의 방법이다. 해당 통행방법은 차량의 교통류에는 아무런 영향을 미치지 않으나 자전거의 정지 지체시간 증가와 정지횟수를 증가시킴으로써 교차로가 많은 도시부에서 자전거 통행에 걸림돌이 되고 있다. Table 6의 자전거 평균지체시간과 정지횟수와 통행방법의 상관관계 분석결과를 보면 통행방법 1이 자전거의 통행 지체를 상승시키는 효과가 있는 것으로 나타난다.

반면 직접 좌회전을 허용하는 통행방법 2는 자전거 전용차로에서 차량과 함께 좌회전을 하도록 하는 방법이다.

자전거와 차량의 상관관계 계수가 모두 (-)부호를 가짐으로써 통행방법 1과 마찬가지로 차량의 흐름에는 영향을 미치지 않을 뿐 아니라, 자전거 지체도 감소하는 것으로 나타난다. 그러나 도로의 맨 우측에서 좌회전하게 함으로써 좌회전길이가 길어질 뿐 아니라, 차량운전자의 사각지대에 놓일 위험이 있다.

통행방법 1과 2는 차량의 흐름에 영향을 미치지 않고 좌회전할 수 있다는 공통점이 있으나, 전자의 경우 자전거 이용자의 불편함을 초래할 가능성이 있고, 후자의 경우 자전거 이용자의 안전성이 저하된다는 단점이 있다.

반면 통행방법 3은 통행방법 2와 같이 직접 좌회전을 하도록 함으로써 자전거 이용자의 교차로 횡단 시 불편함을 해소할 뿐 아니라, 전용 좌회전 공간을 마련함으로써 안전성 측면을 향상시킬 수 있는 방안이라 할 수 있다.

자전거 좌회전 전용차로를 이용한 통행방법 4는 자전거의 좌회전 교통류에 직접 좌회전을 허용하고, 직접회전을 하기 위한 전용공간을 제공한다는 점에서 통행방법 3과 공통점을 가진다. 그러나 전용공간으로의 진입 시 차량교통류에 미치는 영향의 여부가 두 통행방법의 차이점이라 할 수 있다.

분석 결과를 통해 통행방법 3과 4를 비교하자면, 교차로 자전거와 차량의 교통량을 모두 고려하였을 때 공간적 여유가 충분한 경우 통행방법 3의 경우 4에 비하여 차량과 자전거의 상충 감소하므로 안전성이 높다고 판단할 수 있으므로 통행방법 3이 적절할 것이다.

Table 8. Correlation Analysis between Passing Methods and Delay & Stops of Bicycles and Vehicles

Passing Method	Bicycles Average Stop Delay and Stops		Vehicles Average Stop Delay and Stops	
	Delay	Stops	Delay	Stops
Passing Method 1	0.558** (.000)	0.431** (.000)	-0.161* (.053)	-0.160* (.055)
Passing Method 2	-0.225** (.007)	-0.347** (.000)	-0.179* (.032)	-0.176* (.035)
Passing Method 3	-0.169* (.042)	-0.016 (.849)	0.331** (.000)	0.431** (.000)
Passing Method 4	-0.164* (.050)	-0.068 (.419)	0.010 (.907)	-0.095 (.259)

** 95% Significant level, * 90% Significant level

그러나 특히 차량의 교통량이 3,800vph 수준으로 많은 경우(양방향 2차로 4지 교차로) 자전거 좌회전 전용차로의 설치가 차량과 자전거의 지체를 함께 감소시킬 수 있어, Bike Box의 설치보다 원활한 교통흐름을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 6의 상관관계 분석결과를 통해서 통행방법 3과 4를 비교하면, 통행방법 3과 4 모두 자전거 지체를 감소시킬 수 있으나, 통행방법 3의 경우 차량의 지체를 증가시키는 단점이 있다.

5. 결론

본 연구에서는 도시부 4지 신호교차로를 대상으로 자전거 좌회전 교통류 처리방안에 따른 교차로 운영 효율에 대하여 분석하였다.

교차로에서의 자전거 좌회전 교통류 처리방안은 국내 도로 교통법상 제시되어 있는 간접좌회전(통행방법 1)을 비롯하여 국외에서 운영되고 있는 직접좌회전 방법 3가지 형태를 차량과 자전거 교통량에 따라 시뮬레이션 하였다.

그 결과 총 48개 시나리오별로 제시된 자전거와 차량의 평균 정지 지체시간 및 평균 정지횟수를 비교분석함으로써 효율적인 자전거 좌회전 처리방안을 도출하였다.

분석결과 간접좌회전(통행방법 1)은 차량과 좌회전을 분리하여 이동시켜 자전거와 차량의 교통량에 따른 영향보다는 자전거의 이동방법에 따른 지체 증가가 큰 것으로 분석되었다. 이러한 높은 지체시간은 좌회전 지체시간으로부터 기인한 것이다.

교차로가 잦은 도시부 통행에서의 이러한 높은 지체시간은 자전거 이용자에게 기존의 교통수단에서의 수단전환에 따른 편익을 급격히 감소시키는 요인 중 하나이다.

반면 직접좌회전인 나머지 3가지 방법은 간접좌회전인 통행방법 1에 비하여 정지 지체시간이나 정지횟수가 월등히 낮게 분석됨을 알 수 있다.

그 중 맨 우측의 자전거 전용차로에서 직접 좌회전하는 방법(통행방법 2)은 기존의 차량 흐름에 영향을 미치지 않고 회전할 수 있도록 함으로써, 교통량 증감에 따른 차량과 자전거의 지체에 큰 영향이 없는 것으로 분석된다.

그러나 이러한 통행방법은 통행속도가 낮은 자전거가 차량의 우측에 위치하여 좌회전 시 차량의 사각지대에 놓일 수 있다는 우려가 있다.

통행방법 3과 4는 이러한 기존의 문제점을 보완하여 보다 안전하고 효율적으로 운영하기 위해 국외에서 도입되어 운영되고 있는 방법이다.

통행방법 3은 차량의 정지선 앞에 좌회전하고자 하는 자전거가 대기할 수 있는 Bike Box라는 공간을 제공함으로써 회전 시 차량보다 선행하여 주행함으로써 차량 운전자가 자전거를 보다 주의할 수 있는 환경을 제공한다.

통행방법 4 역시 차량의 좌회전 전용차로의 좌측에 자전거 좌회전 전용차로를 위치시킴으로써 직접좌회전을 하고자 하는 자전거에 대기공간을 제공한다. 두 통행방법은 모두 자전거의 평균 정지지체 및 정지횟수를 감소시키는 것으로 분석되어 자전거 이용자의 교차로 횡단 편익을 증진시키는 것으로 분석되었다.

두 가지 통행방법은 자전거 이용자에게 좌회전하기 위한 전용 대기공간을 제공한다는 측면에서 공통점을 가지나, 전용공간으로의 진입 시 차량교통류에 영향을 미치는지 여부가 차이점이다.

그러나 이 중 Bike Box를 이용한 방법은 자전거 전용 좌회전 차로를 설치하는 방법과 달리 차량의 지체를 증가시키는 것으로 나타났다. 자전거 전용 좌회전 차로의 설치에 비하여 차지하는 공간이 비교적 많아 교차로에서의 차량 용량을 감소시키기 때문이다.

반면, 자전거 전용좌회전 차로의 설치 시 일정량 이상의 차량 교통량이 있는 경우 자전거 교통량이 증가함에 따라 자전거 전용 좌회전 차로로의 진입으로 인한 차량과 자전거의 상충으로 인해 지체가 증가하는 것으로 분석된다. 이러한 상충의 발생은 통행방법 4의 도입에 현실적인 제약이 될 것이라 판단된다. 무엇보다도 교차로 내 자전거의 직접좌회전 방법들을 적용하기 위해서는 통행우선권 확립 등 운영 시스템상의 재고와 교육을 통하여 자전거 이용자들의 자전거 신호에 대한 인식을 재정립해야 한다.

분석 결과를 통해 간접좌회전에 비하여 직접좌회전 방법이 자전거의 이용에 보다 편의성을 제공할 수 있다는 사실을 확인하였다.

본 연구는 가상의 교차로를 시뮬레이션 프로그램을 통해 구축하여 분석하였고, 프로그램의 특성상 자전거와 차량의 효율적인 운영을 판단할 수 있는 지표는 지체 시간과 정지횟수로 한정되어 있는 한계가 있다. 따라서 실현 가능성을 검증하기 위해서는 안전성을 포함한 운영방법 평가가 필요하나, 이는 관련 법제도 및 보험제도 등이 정립된 후 연구 분석이 가능하다. 다만, 자전거 선진국에서 이미 많이 운영하고 있는 방법인 만큼 향후 국내에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2012-0001870).

References

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2010. *Roadway Geometrics & Facilities Standards*.
(국토해양부, 2010. 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설)
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2009. *Bicycle roadway facilities Standard and Management Guidelines*.
(국토해양부, 2009. 자전거도로 시설기준 및 관리지침)
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2010. *Bicycle's facilities Installation and Management Guidelines*.
(국토해양부, 2010. 자전거 이용시설 설치 및 관리 지침)
Ministry of Construction & Transportation, 2006. *A Study on How to Promote Using Bicycle*.
(건설교통부, 2006. 자전거 이용 활성화 방안 마련을 위한 연구)
Ministry of Construction & Transportation, 2001. *Korea Highway Capacity Manual, Korean Society of Transportation*.
Do, Tcheol Woong, 2005. *Traffic Engineering(I)*, CheongMoonGak

(도철웅, 2005. 교통공학(상), 청문각)
Park, Byung Ho, 1997. Development and Application of Bicycle way type, *Chunbuk Development Research*, vol.8. no.2, pp.195-219.
(박병호, 1997. 자거도로의 유형개발과 적용방안, 충북개발연구 제8권 제2호, 195-219)
Lim, Hyun Teak, 2011. Current Status and improving plan for Bicycle polices, *Korea-Netherlands Joint Seminar for Bicycle*, pp. 42-74.
(임현택, 2001. 한국 자전거 정책 현황과 발전방안, 한국-네덜란드 공동세미나, pp. 42-74.)
Korean Environment Institute, Korea Transportation Institute, 2007. *Study on Settlement of the Environmental-Friendly Bicycle Culture*.
(한국환경정책·평가연구원, 한국교통연구원, 2007. 환경친화적 자전거문화 정착 연구.)
AASHTO, 1999. *Guide for the Development of Bicycle Facilities*.
Alan Wachtel, John Forester, and David Pelz, 1995. "Signal Clearance Timing for Bicyclists", *ITE JOURNAL*, pp. 38-45.
Allen, D., S. Bygrave, and H. Harper., 2005. Behaviour at Cycle Advanced Stop Lines (Report No. PPR240). *Transport for London, London Road Safety Unit*.
Choi, Kwanghyun, 2009. *A Study on the signal control for bicycle traffic at signalized intersection*, Master's Thesis, Seoul National University.
D. Allen, S. Bygrave, and H. Harper, 2005. Behaviour at Cycle Advanced Stop Lines (Report No. PPR240). *Transport for London, London Road Safety Unit*.
Daniel I. Rubins, 2005. Bicycle Clearance Times: A Case Study of the City of Davis, *Transportation Research Board Annual Meeting 2005*.
Heo, Heebum, Kim, Eungcheol, 2011. A Study on Bike Signal Operation Methods at Three-Legged Intersections, *Journal of Korean Society of Transportation*, 29 (5), pp.157-167.
J. Dill, C. Monsere, 2010. Evaluation of Bike Boxes at Signalized Intersections, Final Draft. *Oregon Transportation Research and Education Consortium*.
J. Loskorn et al., 2010. Effects of Bicycle Boxes on Bicyclist and Motorist Behavior at Intersections, The City of Austin.
Korea Energy Economics Institute, *Korea Energy Economics Institute Statistics DB*(<http://www.kses.net>).
Matthew J. Korve 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.
Monsere, C., & Dill, J., 2010. Evaluation of Bike Boxes at Signalized Intersections. Final Draft. *Oregon Transportation Research and Education Consortium*.
PRESIDENTIAL COMMITTEE ON GREEN GROWTH,

- Presidential Commitee on Green Growth Hompage*
(<http://www.greengrowth.go.kr/>)
- PTV Planung Transport Verkehr AG, 2004. *VISSIM User Manual - Version 4.00*
- Son, Young Tae et. al., 2002. An Experimental Study on Fundamental Characteristics of Bicycle Flows, *Journal of Korean Society of Transportation*, 20 (4), pp. 19-26.
- Son, Young Tae et. al., 2007. Analysis of Bicycle Times at Signalized Intersections for Providing Safer Right of Bicycle Users, *Journal of the Korea Society of Road Engineers*, 9 (3), pp. 83-89.
- Won-Sub Han et. al., 2008, A Study on Introduction of Bike Exclusive Signal Focused on Traffic Condition, *The Journal of Korean Institute of Intelligent Transport Systems*, 7 (5), pp. 77-89.
- (접수일 : 2013. 4. 22 / 심사일 : 2013. 4. 23 / 심사완료일 : 2013. 5. 27)