

국내 자전거전용신호 적용방안

Method for Bicycle Signal Operation in Korea

변 은 아
(도로교통안전관리공단
교통신호팀장)

김 영 찬
(서울시립대학교
교통공학과 교수)

고 광 덕
(도로교통안전관리공단
교통신호팀 차장)

안 소 영
(도로교통안전관리공단
교통신호팀)

조 헤 림
(서울시립대학교
교통공학과 박사과정)

목 차

-
- | | |
|-------------------|---------------|
| I. 서론 | VI. 걸어 및 향후과제 |
| II. 자전거전용신호 운영 고찰 | 참고문헌 |
| III. 국내 신호구현 모색 | |
-

I. 서론

우리나라는 지금 한창 친환경적인 교통정책의 일환으로 자전거에 대한 관심이 많아지고 있으며, 각 지자체에서도 녹색교통의 대안으로 자전거전용도로의 확대 및 자전거이용자에 대한 배려가 증가하고 있다. 우리나라의 자전거수송분담율은 3%정도 수준으로, 자전거가 아직 대중속으로 접어들기에는 부족한 측면이 있으나, 일부 상주시나 창원시의 경우 자전거에 대한 인프라가 많이 구축되었으며, 서울도 한강변이나 신호 없는 이면도로에 주로 설치 운영되던 자전거도로가 간선도로나 보조간선도로의 수면으로 올라오는 중이다.

현재 서울에서 성산, 마포 주변이나 잠실교차로 상의 자전거전용도로를 계획하고 있는바, 기존연구¹⁾를 토대로, 도로상의 자전거도로가 만나는 신호교차로에서 자전거전용신호구현 국내적용 모색을 통해 운영을

위한 발판을 만들고, 자전거이용자의 안전과 편의를 도모하는 데 본 연구의 목적을 두었다.

자전거전용신호 운영의 장점은 상층 이동류를 분리하고, 교차로 자전거이용자에게 이동우선권 부여하며, 상층위험이 높은 곳에서 교차로 내의 자전거 이용자를 보호하며, 교차로를 통과하는 교통흐름을 향상시키고, 다른 길을 이용하는 이용자들 사이에 선행권을 교체할 수 있는 반면, 단점으로는 차량지체와 scramble 신호적용 시 차량용량 손실이 있으며, 자전거신호가 안전을 보장해 줄 것이라는 믿음으로 자전거이용자 안전 불감증이 우려되며, 낮선 운전자는 신호가 의도하는 목적에 혼동, 의심할 수 있는 운영상의 특성이 있으므로 자전거이용 활성화를 위한 통행권확보 방안을 모색해야 한다.

II. 자전거전용신호 운영 고찰

1. 자전거이용시설 구조·시설기준

1) 자전거전용신호운영방안연구, 2007.5.18 대한교통학회 학술발표

우리나라 자전거이용시설 구조·시설기준에 관한 규칙(2006.5.30 건설교통부령 제329호)에

의하면 자전거도로의 통행용량은 자전거 주행 속도 및 자전거 통행장애 요소 등을 감안하여 산정한다. 자전거도로 설계속도는 도로구분에 따라 다음 <표 1>의 속도이상으로 하며, 부득이한 경우에는 10Km를 뺀 속도이상을 설계속도로 할 수 있다.

<표 1> 자전거도로 설계속도

구분	설계속도(Km/h)
자전거전용도로	30
자전거보행자겸용도로	20
자전거자동차겸용도로	20

자전거도로의 폭은 1.1m 이상으로 하며, 다만, 연장 100m 미만의 터널·교량 등의 경우에는 0.9m 이상으로 할 수 있다. 또한 일반도로와 별도로 설치하는 자전거도로에 양측 0.2m 이상의 갓길을 설치해야하며, 다만 다른 시설물과 접속되어 갓길 설치가 불필요한 경우는 제외한다.

정지시거의 경우 자전거도로의 설계속도에 정지시거가 확보되도록 하여야 한다. 정지시거는 자전거도로의 중심선상 1미터 높이에서 당해 자전거도로의 중심선상에 있는 높이 0.15m 물체정점을 볼 수 있는 거리를 말한다.

<표 2> 자전거도로 정지시거

설계속도(Km/h)	정지시거(m)
30 이상	30 이상
20 이상	15 이상
20 이상	10 이상

자전거도로의 곡선반경은 설계속도에 따라 다음 표의 거리이상으로 하여야 한다.

<표 3> 자전거도로 곡선반경

설계속도(Km/h)	곡선반경(m)
30 이상	24
20 이상	17
10 이상	10

자전거도로의 곡선부에는 설계속도·적설 등

을 참작하여 편구배를 두어야 한다. 다만, 곡선반경의 길이 또는 지형상황 등으로 인하여 부득이 하다고 인정하는 경우에는 그러하지 아니하며 자전거도로의 종단구배에 따른 제한길이는 다음 표와 같다.

<표 4> 종단구배에 따른 제한길이

종단구배(%)	제한길이(m)
7 이상	90 이하
6 이상	120 이하
5 이상	160 이하
4 이상	220 이하
3 이상	제한 없음

노상자전거도로는 설치된 지역에 따라 자전거교통의 특성이 다르다. 노상자전거도로가 교통신호등이 없는 도로구간에 설치된 경우는 자전거전용도로와 유사한 특성을 갖는 반면, 신호교차로가 있는 지점이나, 신호교차로를 연속적으로 만나는 도로구간에 설치된 경우는 외부의 교통통제에 영향을 받게 된다. 따라서, 노상자전거도로는 교통신호등이 없는 구간, 신호교차로, 그리고 신호교차로를 연속적으로 만나는 도시가로상의 자전거도로의 세 가지 유형 별로 교통특성이 다르며, 분석방법 또한 유형별로 달리한다.

2. 자전거도로 효과측도

자전거도로 이용자에게 자전거도로가 제공할 수 있는 서비스수준은 도로용량편람에 의하면 다음과 같은 효과측도를 이용한다.

- 자전거 전용도로 : 상충횟수
- 자전거·보행자 겸용도로 : 상충횟수
- 노상 자전거도로 신호교차로 : 정지지체
- 도시가로상 자전거도로 : 평균통행속도

자전거이용자들은 자전거주행 중 겪는 주행의 방해 정도에 따라 느끼는 서비스수준이 다르다. 방해의 주 요인으로 타 자전거나 보행자와의 상충을 들 수 있는데 상충횟수의 많고 적음에 따라 이 세 가지 자전거도로를 주행하는 이용자의 서비스수준이 결정될 수 있다. 상충은 동일 주행방향의 타 자전거 및 보행자를 앞지르는 추월행위와 양방향의 도

로인 경우 반대방향으로 주행하는 자전거 또는 보행자를 대면하는 것이 있다. 자전거의 서비스수준은 이 두 가지 상충의 횡수를 단위 시간당 상충횡수로 하여 서비스수준을 나타내는 척도로 표시할 수 있다. 단위상충횡수를 기준으로 할 때 서비스수준 F는 15초당 1회 이상의 상충을 경험하는 것으로 이는 1분에 4회 이상을 추월 또는 대면을 경험하는 것이다. 추월에 소요되는 시간이 10초 정도임을 감안하면 서비스수준 F는 전체 주행시간 중 3분의 2 가량을 상충에 할당해야 하는 경우로 F의 서비스수준을 적절히 표현한다고 볼 수 있을 것이다. 또한 서비스수준 A의 경우는 1회의 상충을 겪기까지의 시간이 평균적으로 2.5분을 초과하는 것으로 나타난다.

1) 자전거 전용도로
(1) 일방통행의 경우

자전거전용도로가 일방통행인 경우는 상충이 추월로만 구성되게 된다. 자전거의 속도가 정규분포를 따른다고 가정하고, 자전거가 추월시 서로의 속도에 영향을 미치지 않는다고 가정하면 일방통행 자전거전용도로의 추월횡수는 다음과 같다.

$$F_{pass} = \frac{2 Q_{bike} \sigma}{U_{bike} \sqrt{\pi}}$$

F_{pass} = 추월횡수 (회/h)

Q_{bike} = 자전거 교통류율 (vph)

U_{bike} = 평균 자전거 속도 (kph)

σ = 자전거 속도의 표준편차

(2) 양방향통행의 경우

자전거 전용도로가 양방향통행인 경우는 상충이 추월, 대면 두 가지로 구성된다.

① 추월횡수 산정

추월횡수의 경우는 일방통행의 경우와 같은 식에 의해 계산되나 자전거 교통량은 분석 대상으로 하는 방향과 동일

한 방향으로 주행하는 자전거 교통량을 적용하여야 한다.

$$F_{pass} = \frac{2 Q_{bike-sm} \sigma}{U_{bike} \sqrt{\pi}}$$

F_{pass} = 진행방향 자전거추월횡수(회/h)

$Q_{bike-sm}$ = 동일방향자전거교통류율(vph)

② 대면횡수 산정

대면횡수는 주행방향과 대향하여 주행하는 자전거 교통량에 비례하며 양방향 자전거 교통류가 동일한 속도분포를 가진다면 단위시간당 대면횡수는 대향방향의 자전거 교통류율의 2배가 된다.

③ 전체 상충횡수 산정

전체 상충횡수는 추월횡수와 대면횡수의 합으로 구성된다. 그러나 일반적으로 추월과 대면의 주행방해 정도는 차이가 있으며, 추월의 방해정도를 1로 볼 때 대면은 방해정도 반이라고 가정하면 전체 상충횡수는 다음같이 구할 수 있다.

$$F_{total} = 0.5 F_{meet} + F_{pass}$$

F_{total} = 전체상충횡수(회/h)

2) 자전거·보행자 겸용도로

자전거 도로가 도로의 차량 교통류로부터 물리적으로 완전히 분리되어 자전거와 보행자, 스케이트보드 이용자, 휠체어 이용자 등과 공용으로 이용하는 자전거·보행자 겸용도로인 경우는 주행방해가 보행자간의 상충, 자전거에 의한 보행자의 상충, 보행자에 의한 자전거의 상충, 자전거간의 상충으로 나타난다. 상충은 자전거·보행자 겸용도로의 경우에도 역시 추월과 대면의 두 가지로 구분되는 데 자전거 보행자도로의 경우 추월과 대면에서 자전거뿐만 아니라 보행자와의 상충이 발생하게 된다.

3) 노상 자전거도로 신호교차로

자전거 도로에서 신호교차로는 노상 자전거 도로가 신호교차로에 의해 제어되는 곳을 의미한다. 신호 교차로에서의 서비스수준은 차량교통류와 마찬가지로 지체에 의해 표현될 수 있다. 신호교차로에서의 서비스수준의 척도는 제어지체인데 자전거 도로의 제어지체는 신호교차로의 제어지체와 유사한 방법으로 구한다. 차량교통류의 평균 제어지체는 다음과 같다.

$$d = d_1PF + d_2 + d_3$$

d = control delay (sec/veh)

d_1 = 균일지체(uniform delay)

d_2 = 임의지체(Incremental delay)

d_3 = 잔류지체(residual delay)

PF = progression factor

제어지체를 구성하는 세 가지 지체 중에서 자전거도로의 신호 교차로의 지체는 균일지체만으로 산정하는데 이는 자전거 도로의 경우 과포화상태인 경우는 극히 제한적이기 때문이다. 또한 자전거 도로의 경우 Progression Factor는 지체에 큰 영향이 없다고 간주하여 1로 가정하기로 한다. 따라서 자전거이용자를 위한 신호 교차로에서의 효과적도는 균일지체만으로 구성된 정지지체로 하며 다음의 식에 의해 구할 수 있다.

$$d = \frac{0.5C(1 - \frac{g}{C})^2}{1 - [\frac{g}{C} \text{Min}(\frac{V_{bike}}{C_{bike}}, 1)]}$$

g = 유효녹색시간

C = 주기

V_{bike} = 자전거 교통류율(vph)

C_{bike} = 자전거 도로용량(vph)

자전거도로의 용량은 자전거 도로의 포화교통류율에 유효녹색시간의 주기에 대한 비율을 곱하여 산출하게 되는 데 자전거 도로 포화교통류율은 이상적인 상태서의 3000vph에 보정계수를 이용한 값을 적용하여 사용하면 된다.

$$C_{bike} = S_{bike} \cdot \frac{g}{C} = 3000 \cdot f_w \cdot \frac{g}{C}$$

S_{bike} = 자전거도로 포화 교통류율(vph)

f_w = 자전거도로 폭 보정계수

<표 5> 폭에 따른 포화교통류율보정계수(f_w)

도로폭(m) \ 차두시간	보정계수(f_w)
1.0m	0.80
1.5m	0.87
2.0m	0.92
2.5m이상	1.0

4) 도시가로상의 자전거도로

도시 가로상의 자전거도로는 도시 및 교외 간선도로편에서 정의한 간선도로상에 설치된 노상자전거도로를 의미한다. 도시가로상의 자전거 도로는 차량교통류와 마찬가지로 서비스수준 척도로 평균통행속도를 이용한다. 평균통행속도는 다음과 같다.

$$\text{평균통행속도} = \frac{L_T}{\sum \frac{L_i}{S_i} + \sum \frac{d_j}{3600}}$$

L_T = 분석구간길이(km)

L_i = 소구간 길이(km)

S_i = i 구간의 순행속도 (kph)

d_j = j 교차로의 자전거평균정지지체(s)

<표 6> 자전거전용도로 서비스수준(일방)

서비스 수준	일방통행			
	폭 2m		폭 3m	
	상충횟수	교통량*	상충횟수	교통량*
A	≤25	≤100	≤55	≤220
B	≤50	≤200	≤110	≤430
C	≤100	≤400	≤210	≤840
D	≤180	≤720	≤360	≤1430
E	≤240	≤960	≤460	≤1830
F	>240	>960	>460	>1830

<표 7> 자전거보행자 겸용도로 서비스수준

서비스 수준	폭 2m		폭 3m	
	상충횟수(회/h)	양방교통량(vph)*	상충횟수(회/h)	양방교통량(vph)*
A	≤40	≤60	≤90	≤135
B	≤60	≤90	≤140	≤210
C	≤100	≤150	≤210	≤315
D	≤150	≤225	≤300	≤450
E	≤195	≤295	≤375	≤565
F	>195	>295	>375	>565

<표 8> 노상자전거도로 신호교차로 서비스수준

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

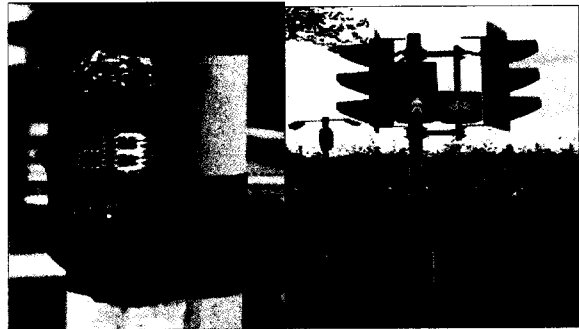
<표 9> 노상 자전거도로 서비스수준

서비스수준	평균속도(kph)
A	>12
B	>10
C	>8
D	>7
E	>6
F	≤6

3. 운영사례

유럽의 경우 대부분의 국가에서 자전거도로망이 계획적이고 체계적으로 구성되어 있으며 오래전부터 많은 도로에 설치되어 있으며, 대부

분 자전거 도로와 차도가 각기 구분되어 있으며, 자전거 전용신호가 운영되고 있어, 이용자들이 안전 통행권을 확보하여 운영하고 있다.



<그림 1> 외국의 자전거신호 운영사례

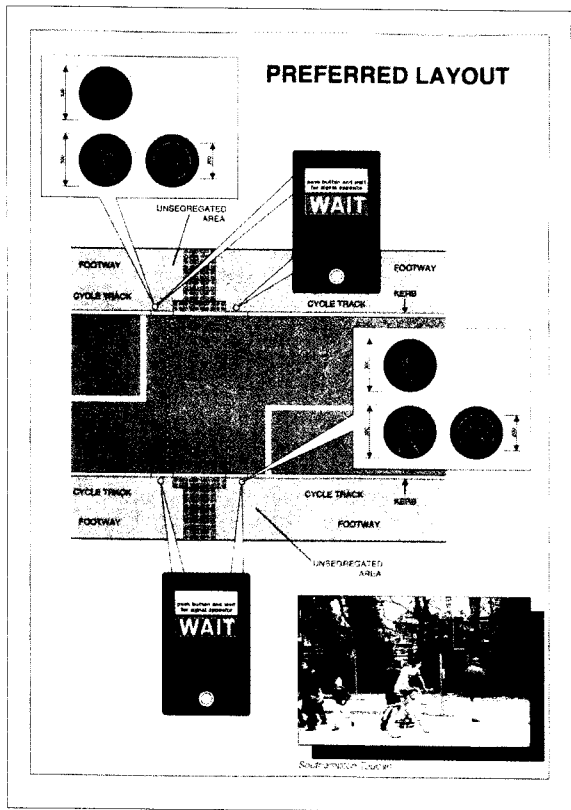
기존에 검토를 통해 미국의 경우 자전거 신호는 교차로에서 직진하는 자전거 교통에 독립적 신호를 제공하며, 기본적으로 적색과 황색, 녹색원형등과 화살표로 된 표기에 부가적으로 녹색의 자전거 신호기가 설치된다. DAVIS시에서 적용되는 자전거 신호현시는 12초의 최소 자전거 녹색시간에서 25초의 최대 녹색시간을 부여한다. 또한 현시 마지막에 2초의 All Red를 적용하였다. 또한 자전거 신호등 설치는 “앞 교차로에 자전거 신호가 사용 중이니, 적색시간에 우회전 금지”라고 명시하여 자전거 신호현시 동안 차량이 보행교통류, 자전거들과 상충을 방지하는 가변적인 경고 표지를 설치하여 운영되고 있다. 영국의 TOUCAN Crossing 즉 보행자와 자전거가 같이 건널 수 있다는 뜻에서 만들어진 신호체계로, 보행자 신호가 켜지면 별도의 자전거 신호도 같이 켜진다. 또한 보행자 횡단보도 옆에 다른 색의 별도보도가 바닥에 자전거 그림과 함께 그려져 있다. 대부분 횡단보도를 지나는 자전거 운전자는 자전거에서 내려 건너야 하지만 이 별도의 자전거 도로에서는 타고 지나가도 되는 자전거신호를 운영한다.

III. 국내신호구현 모색

외국 운영사례를 통해 우리나라에서의 시사점을 검토하고, 우리 교통현실에 맞는 신호구현 모색을 도모한다.

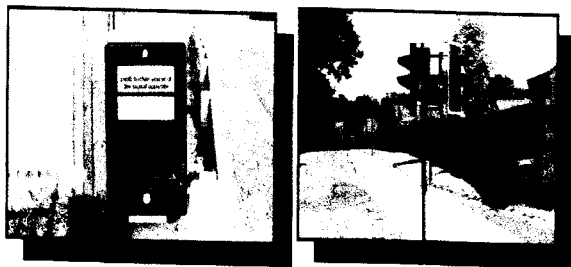
1. 횡단보도에서의 자전거신호

횡단보도 상에 자전거 전용횡단로와 전용신호 구현하는 방식과 다음 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 횡단보도의 자전거신호 구현원리

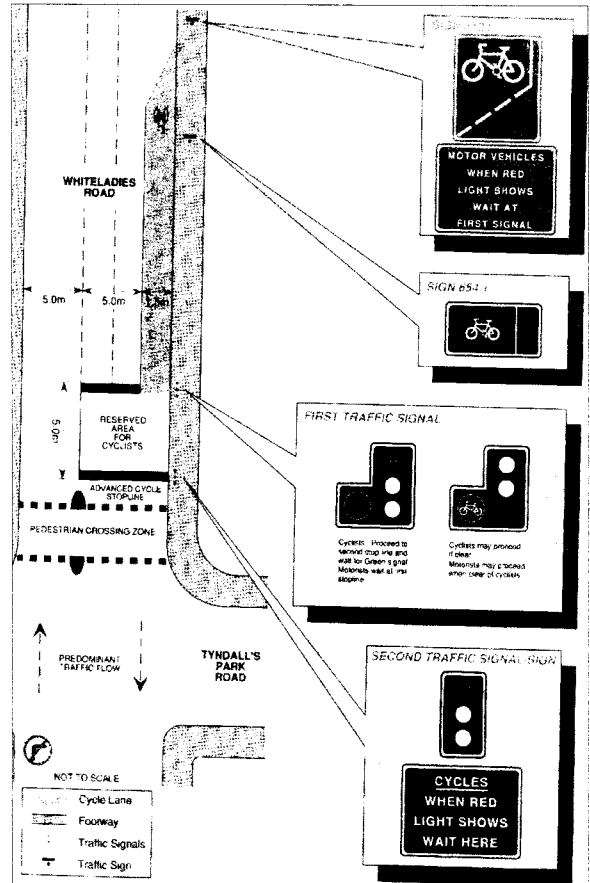
위의 운영원리는 영국의 TOUCAN Crossing 횡단보도에서 보행자와 자전거가 함께 공유하여 통행할 수 있는 자전거신호운영체계의 구현원리를 통한 적용모색으로, 횡단보도특성에 따라 구현을 달리한다.



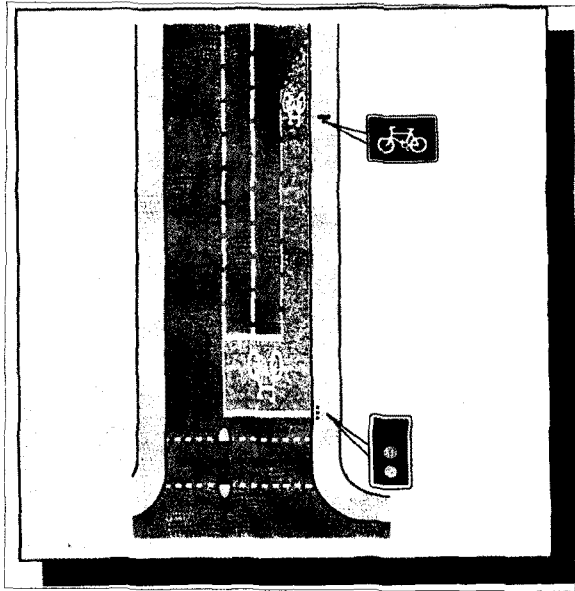
<그림 3> 횡단보도에서의 자전거신호운영

2. 교차로상의 자전거신호

교차로상 자전거신호 운영 시 교차로 전방에 자전거이용자를 위한 여유공간을 확보한 정지선과 후방의 차량용 정지선을 이용한 신호운영 모색으로 다음 <그림 4>와 같은 신호시스템 체계 모색이며, 각 이동류별 좌회전 자전거 교통류 처리의 모색이 필요하다..

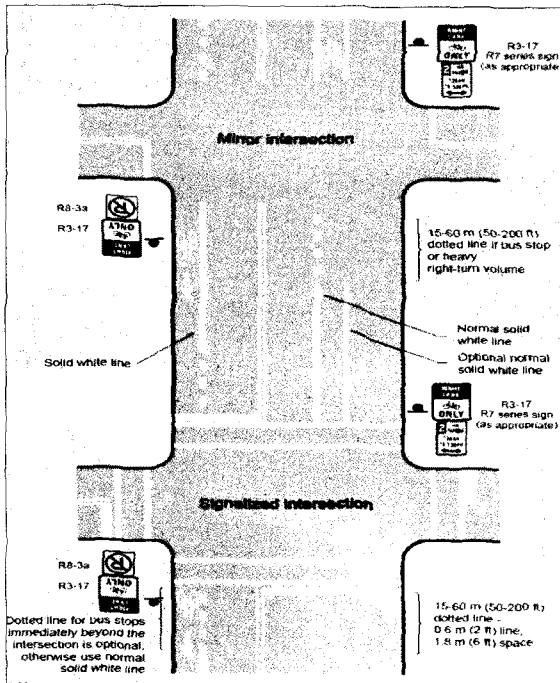


<그림 4> 교차로에서의 자전거신호(1)



<그림 5> 교차로에서의 자전거신호(2)

교차로 상 양방향구간의 자전거전용도로 운영시의 미국의 MUTCD에서 다음과 같이 자전거차로 운영이 제시되어 있다.



<그림 6> 양방 자전거도로(미국 MUTCD)

서울의 경우 간선도로상 교차로로 확대 운영 예정으로 일방향과 향후 전방향에 부여하는 자전거신호구현으로 자전거이용자의 안전한 주행과 편의를 도모할 수 있도록 해야 할 것이다.



<그림 7> 서울 등촌동길

국내 자전거전용신호의 구현은 우리 교통현실에 맞는 알고리즘과 하드웨어 개발이 이루어져야 하며, 자전거의 법적인 조율과 홍보가 뒷받침 되어야 할 것이다.

IV. 결어 및 향후과제

국내 자전거전용신호 적용을 위한 시도로 선진 외국 운영사례를 검토하여, 우리 교통현장에 적용 모색하여 횡단보도와 교차로상의 신호운동을 검토하였다. 횡단보도의 경우 자전거전용횡단로와 보행자와 공유하는 횡단보도의 신호운영에 의한 신호시스템 구축이 필요하며, 교차로상의 자전거신호구축을 위한, 정지선을 이용한 운영을 모색했으며, 교차로 접근로상의 좌회전교통류를 위한 고려가 필요하다. 향후 자전거로 출퇴근하는 사람이 늘어나고, 서울시의 한강르네상스의 일환으로 수상택시 운영이 전개되고 있어, 연계수단으로서의 역할이 전망되며, 대중교통수단인 버스와 지하철, KTX와의 원활한 연계에 한 몫을 할 것으로 기대하며, 자전거전용신호 구현으로 인해 편리와 소통을 도모하여, 녹색환경에 이바지 할 수 있기를 기대한다.

참고문헌

1. 대한교통학회 학술발표회(2007.5), "자전거전용신호 운영방안연구", 변은아, 김영찬, 윤수영, 이승훈, 강민석
2. 건설교통부(2001), "도로용량편람"
3. 서울시정개발연구원(1997), "서울시 자전거 이용시설 기본구상"
4. 대한교통학회(2005), "자전거 주행환경 개선방안의 평가에 관한연구", pp.203~213.
5. 교통안전('03(7-12)), "북유럽의 자전거 정책(Ⅰ)", pp.42~45
6. 교통안전('03(7-12)), "유럽의 자전거 정책(Ⅱ)", pp.46~49
7. 교통안전('94(8-12)), "일본의21세기자전거정책", pp.42~45
8. 대한교통학회(2002), "자전거 교통류의 기본특성에 관한 실험 연구", pp.19~26
9. 교통안전('94(8-12)), "자전거 이용시설의 계획 및 정책방향(Ⅱ)", pp.14~18
10. 대구경북개발연구원 연구보고서(2003-6) "대구시 자전거도로 정비 및 이용활성화 방안(2003.12)", 정웅기
11. JOURNAL OF THE TRANSPORTATION RESEARCH BOARD "Pedestrian and Bicycle Transportation Research 2000" pp.85~92
12. Department for Transport(2005), ""Toucan"-An unsegregated crossing for pedestrians and cyclists", Traffic advisory Leaflet 10/93
13. Department for Transport(2005), "Cycling in pedestrian areas", Traffic advisory Leaflet 09/93
14. Department for Transport(1989), "The South East Cambridge Cycle Route", Traffic advisory Leaflet 9/89
15. Department for Transport(1986), "Cycle Route Project Stockton", Traffic advisory Leaflet 1/86
16. FHWA, "FHWA's Course on Bicycle & Pedestrian Transportation", Lesson 18-1~23-7
17. FHWA, "Manual on Uniform Traffic Control