



자전거 이용자 행태 반영을 위한 신호교차로에서의 자전거 횡단시간 연구

Analysis of Bicycle Crossing Times at Signalized Intersections for Providing Safer Right of Bicycle Users

손 영 태* 이 진 각** 이 상 화*** 김 홍 상****
 Son, Young Tae Lee, Jin Kak Lee, Sang Hwa Kim, Hong Sang

Abstract

When allocating traffic signal at the signalized intersection, minimum green time and clearance time for bicyclists should be significantly considered in order to enhance safety aspects to bicyclists when crossing intersections, especially where intersections with exclusive bicycle paths that are physically separated from pedestrians. In this study, field measurements related to bicycle crossing time, including minimum green time and clearance time, were collected and analyzed according to bicycles crossing types at the signalized intersections where high rate of bicyclists exists. Three types of bicycle crossing are defined as follows 1) stopping: completely stop before crossing (at least one foot on ground) 2) riding: crossing with riding bicycle 3) pulling: crossing without riding bicycles. Minimum green time based on pedestrian speeds should be used as crossing time in this case. For bicyclists, speed of bicycle that is applicable to estimate the minimum green time is in the 1.36m/sec(15th percentile) to 1.60m/sec(25th percentile) range in case of its stopping. Also it is in the 0.75(15th percentile) to 0.87(25th percentile) range for pulling at crosswalk. In addition, speed of bicycle to consider for calculating the clearance time is in the 2.51m/sec(15th percentile) to 2.79m/sec(25th percentile). These values also resulted from 15th percentile or 25th percentile speeds of riding. The results of this study are expected to be supported in traffic signal allocation process, reflecting bicyclists' characteristics.

Keywords : bicycle crossing time, signalized intersections, minimum green time, clearance time

요 지

보다 안전하고 효율적인 교차로 신호운행을 위해서는 보행자의 횡단시간뿐만 아니라 자전거 이용자 특성에 따른 횡단시간을 고려한 신호운영이 필요하며, 특히 보행자와 물리적으로 분리 운영되는 교차로의 경우에는 자전거 횡단시간을 고려한 최소녹색시간 및 소거손실시간 계획이 이루어져야 할 것이다. 본 연구에서는 보행자와 마찬가지로 자전거 이용자가 교차로를 안전하게 횡단할 수 있는 시간(최소녹색시간, 소거손실시간 등)을 자전거 이용수요가 많은 현장에서 자전거 이용자의 횡단특성에 따라 조사 분석하였으며, 횡단유형은 크게 3가지로 정지한 상태에서 출발하는 형태(Stopping), 주행중인 속도로 횡단하는 형태(Riding), 자전거를 끌고 가는 형태(Pulling) 등으로 구분하였다. 조사 분석결과, 최소 녹색시간 산정시 고려될 수 있는 횡단유형별 속도는 Stopping의 경우 1.36(15th percentile), 1.60m/sec(25th percentile), Pulling의 경우에는 0.75(15th percentile), 0.87m/sec(25th percentile) 라 할 수 있겠으며, 소거손실시간의 경우에는 자전거 이용자 형태 중 Riding의 경우로 2.51(15th percentile), 2.79m/sec(25th percentile)를 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 자전거 횡단시간, 신호 교차로, 최소녹색시간, 소거손실시간

- * 정회원 · 명지대학교 교통공학과 교수
- ** 정회원 · 명지대학교 교통공학과 박사과정
- *** 비회원 · 명지대학교 교통공학과 박사과정
- **** 정회원 · 명지대학교 교통공학과 교수



1. 연구의 배경 및 목적

교차로를 통과하는 자전거 주행환경에 있어, 이용자 측면에서 크게 고려되어야 할 항목이 몇 가지 있는데, 이는 안전성, 이동성, 쾌적성 등이 이에 해당된다고 할 수 있다.

자전거의 경우에는 자동차 교통류와의 혼재성, 보행자와의 혼재성 등 차량과 보행의 양면성을 지니고 있는 특수한 교통수단으로 교차로를 횡단하거나 주행할 때 이용특성에 맞는 환경조성이 요구된다. 이 중, 교차로 횡단에 따른 자전거의 안전을 확보하기 위해서는 자전거 이용특성에 맞는 횡단시간을 고려하여 신호시간 계획이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

특히, 보행자와 분리되어(예 : 보행육교, 지하차도 등) 있어 횡단보도가 없는 곳) 운영중인 교차로 등에서는 자전거 교통류가 자동차와 혼합되어 운영될 여지가 크며 이에 따라 자전거 횡단시간을 고려한 최소녹색시간 및 소거손실시간 계획이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

현재 교차로 신호운영의 경우, 보행자의 보행속도를 기준으로 한 최소녹색시간 또는 소거손실시간을 적용하여 설계하고 있다. 그러나 보다 안전한 교차로 신호운영을 위해서는 보행자뿐만 아니라 자전거 이용자 특성에 따른 교차로 횡단시간을 포함한 신호운영이 필요하다.

이에 본 연구에서는 자전거 이용자가 교차로를 안전하게 횡단할 수 있는 시간을 자전거 이용수요가 많은 현장에서 이용자 횡단특성에 따라 조사 분석하여, 산출된 속도값을 활용하여 교차로 신호운영(최소녹색시간(minimum green time) 및 소거손실시간(clearance time) 등)의 기초자료로 사용함을 목적으로 하고 있다.

2. 기존 연구 고찰

교차로의 신호설계시 한 접근로상에 진입우선권이

부여되는 현시(phase) 산정에 사용되는 파라미터에는 출발손실시간(start-up lost time), 최소녹색시간(minimum green time), 소거손실시간(clearance time) 등이 있다.

여기서 최소녹색시간의 경우에는 주로 보행자 횡단시간을 활용하여 산정하게 되어 있으며, 소거손실시간의 경우에는 교차로의 안전을 위해서 교차로 정리시간이 필요한 충분한 시간을 의미하고, 이때는 어떠한 차량도 교차로를 사용해서는 안된다.

이에 자전거 횡단시간 등을 고려한 보다 효율적이고 안전한 교차로 신호설계를 위해서 AASHTO "Guide for the Development of Bicycle Facilities, 1999"에서는 숙련된 자전거 이용자(advanced bicyclist)는 5.28m/sec, 일반 운전자(basic bicyclist)의 경우는 3.6m/sec, 어린이(children)의 경우에는 2.73m/sec 속도를 보이는 것으로 조사 분석되었다.

또한 Talor(1993) 와 Pein(1997)의 연구에서는 교차로의 최소녹색시간과 소거손실시간을 고려한 신호운영을 할 경우, 자전거의 적정하고 안정된 감가속속도를 포함한 횡단시간 요소를 고려해야 한다고 제안하고 있다.

이에 현재 자전거를 고려한 신호운영 설계시 실제 지역에 따라 자전거 이용자의 수요 및 특성 파악이 어려운 경우에는 안전한 신호운영을 위해, AASHTO의 기준을 따르고 있는 것으로 되어 있으나 실제 현장조사결과를 가지고 있다면 이를 고려하여 최소녹색시간 및 소거손실시간 등을 우선하여 설계토록 권장하고 있다.

"Highway Capacity Manual, 2000", "Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways, 2003"에서도 신호시간 설계시 자동차와 동등하게 자전거 교통의 장애 등을 포함할 것으로 하고 있다.

이에 본 연구에서는 자전거 횡단시간을 고려하여 보다 안전한 교차로 신호운영이 되도록 현장을 기초로 한 조사결과값을 제시하고자 한다.



3. 자료수집

본 연구에서 자전거 이용특성 및 교차로 횡단시간에 대한 자료를 수집하기 위하여 선정된 지점은 상주시와 부천시로 이곳은 자전거 이용률이 상대적으로 높은 곳으로 특히, 통행목적이 등하교 및 출퇴근시간 수요가 많은 곳이다.

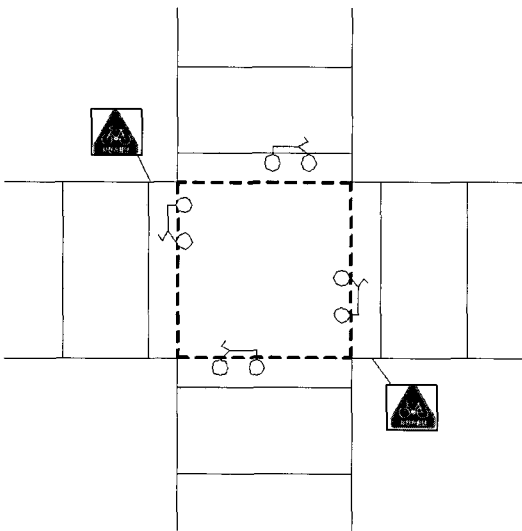


그림 1. 교차로내 자전거 횡단 조사개념도

조사지점은 상주시 4개 지점, 부천시 2개 지점 등 총 6개의 교차로 지점을 선정하였으며, 자전거 이용수요가 가장 많은 오후 침두시 16시~18시에 조사를 수행하였다.

조사 수행당시 기상조건은 양호한 상태였으며, 기타 도로상황과 교통소통사항에는 특이 사항이 없었

고, 보다 나은 자료수집을 위해서 다음의 사항들을 고려하였다.

- 자전거 이용자가 많은 장소 : 상주시(4개 교차로), 부천시(2개 교차로)
- 다양한 횡단거리 조사
- 자전거 횡단유형에 따라 구분하여 조사
- 비디오 촬영이 가능한 곳으로 선정 등

조사지점 모두 주로 하교길의 학생 수요 및 자전거 이용자가 많을 것으로 예상되는 곳이었으며, 가능하면 횡단거리의 범위를 다양하게 하여 그에 따른 횡단시간을 분석하고자 하였다.

다음의 표 1은 조사가 수행된 주요교차로의 기하구조 및 관찰대상의 특성을 요약해 놓은 것이다.

표 1. 주요교차로 특성 및 관찰 특성

교차로	기록 시간 (min)	케이스 (count)	유효 케이스 (count)	횡단거리 범위 (m)	속도범위 (m/sec)	
상주시	문화회관 사거리	60	152	139	8.8-13.5	0.74-2.25
	상주여중교 앞	60	134	118	8.8-13.5	0.85-3.02
	후천교 사거리	60	60	36	11.2-15.0	1.77-8.99
	상주시청 앞	60	75	58	11.6-24.2	0.67-4.12
부천시	부인 초등학교앞	60	82	75	12.9-15.5	1.87-2.36
	목련마을	60	56	43	9.8-13.5	1.10-3.25

조사대상이 되는 자전거 이용자 유형은 횡단유형에 따라 크게 3가지로 구분하였으며, 이는 교차로를 횡단할 때의 자전거 이용자 특성을 반영코자 함이다.

다음은 횡단유형에 따른 자전거 이용자의 출발 (starting to crossing time)시 자세를 설명한 것이다.

- ① 정지했다가 횡단(stopping) : 최소한 한 발이라도 땅에 붙혔다가 출발하는 형태
- ② 주행속도로 횡단(riding) : 어느 정도의 자전거



속도를 지니고 그대로 교차로를 횡단하는 형태

- ③ 자전거를 끌고 횡단(pulling) : 자전거에서 내려 자전거를 끌고가는 형태로서 일반적으로 횡단 보도 이용

조사결과 가장 횡단거리가 긴 거리는 상주시의 상주시청 앞의 교차로로 24.2m였으며, 짧은 거리는 상주시의 문회회관 사거리 교차로의 8.85m로 나타났다.

속도 범위의 경우에는 후천교 사거리가 8.99m/sec로 가장 높은 속도를 나타내는 자전거 이용자가 있었으며, 보행자 및 자전거 이용자가 가장 많았던 상주시청의 경우, 0.67m/sec로 가장 낮은 속도를 보이는 결과가 산출되었다.

또한 일반적으로 횡단유형 중 자전거를 끌고 가는 사람(pulling)이 많은 경우가 가장 낮은 속도로 산출되었으며, 주행 중(riding)의 경우가 높은 속도로 산출되었다.

4. 자료 분석

조사결과 자전거 이용자의 총 유효대상은 469대로 나타났으며, 조사대상이 되는 자전거 이용자 유형은 횡단유형에 따라 크게 3가지로서, ① 정지했다가 출발(stopping)은 267대, ② 주행중으로 횡단(riding)은 168대, ③ 자전거를 끌고 가는 사람(pulling)은 34대로 조사되었으며, 전체 자전거 평균속도는 2.47m/sec, 15th percentile 속도는 1.42m/sec로 분석되었다.

가장 높은 속도를 보이는 경우는 riding의 형태로 8.99m/sec로 나타났으며, 가장 낮은 속도를 보이는 경우는 pulling의 형태로 0.67m/sec로 분석되었다.

또한 전체 조사자의 평균표준오차(standard error of mean)는 0.053으로 분석되었으며, 그림 2에서 히스토그램 결과에도 조사된 자료들이 정규분포에 가까운 분포형태를 보였으며, 평균속도가 중앙

값 속도보다 큰 값을 보이므로 skewness > 0의 결과를 나타내는 것으로 분석되었다.

각 횡단유형에 따른 자전거 속도를 통계적 빈도분석을 통해 살펴보면,

- ① stopping의 경우,

- 속도의 범위가 0.74-3.77m/sec로 나타났으며, 평균속도는 1.98m/sec로 분석되었다.
- 신호운영설계에 적용할 수 있는 대표값은 1.36(15th percentile), 1.60m/sec(25th percentile)로 분석되었다.

- ② riding의 경우

- 속도의 범위가 1.94-8.99m/sec로 나타났으며, 평균속도는 3.21m/sec로 분석되었다.
- 신호운영설계에 적용할 수 있는 대표값은 2.51(15th percentile), 2.79m/sec(25th percentile)로 분석되었다.

- ③ pulling의 경우

- 속도의 범위가 1.94-8.99m/sec로 나타났으며, 평균속도는 3.21m/sec로 분석되었다.
- 신호운영설계에 적용할 수 있는 대표값은 0.75(15th percentile), 0.87m/sec(25th percentile)로 분석되었다.

이 중 Pulling의 경우에는 일반 횡단보도 신호운영에 쓰이는 보행자 속도 1-1.2m/sec보다 작은 결과값을 보이는 것으로 자전거 이용자가 많은 지점의 횡단보도 신호운영에 고려할 수 있는 사항이라 판단된다.

또한 one-way ANOVA(분산분석)의 F-test를 수행하여 각 횡단유형별 평균속도에 대한 가설검증을 실시하였으며, 그 결과를 표 2에 요약하였다.

$$H_0 : \mu S = \mu R = \mu D$$

$$H_1 : \mu S \neq \mu R \neq \mu D$$

여기서, μS : stopping average speed

μR : riding average speed

μD : pulling average speed



표 2. 횡단유형별 one-way ANOVA 분석결과

구분	제곱합	자유도	평균제곱	F	p-value
집단-간	302.077	2	151.038	212.759	0.000
집단-내	330.816	466	0.710	-	-
합계	632.893	468	-	-	-

95% 신뢰수준(0.05의 유의수준)에서 one-way ANOVA를 분석한 결과, p-value(유의확률) 0.05보다 작은 결과를 보여 가설의 기각영역에 있음을 파악하였으며, 이는 각 횡단유형에 따른 평균속도가 적어도 어느 두 횡단유형간에는 차이가 있다고 볼 수 있음을 의미한다.

즉 이러한 결과는 자전거 이용 행태에 따라 속도의 평균이 달라진다는 결론을 내릴 수 있으며, 본 연구에서 분석된 이용행태별 평균속도에는 서로가 차이가 있다고 할 수 있다. 또한 본 연구 결과로 이용행태별 평균속도의 크기 순서는 riding > stopping > pulling의 순서를 보이는 것으로 나타났다.

다음의 표 3은 조사된 횡단유형에 따른 자전거 속도의 통계특성을 요약한 것이며, 표에서 보이는 표준편차(standard deviation)와 같이 어느 정도 속도

표 3. 자전거 이용자의 횡단유형에 따른 속도의 통계 특성

파라미터	All	Stopping	Riding	Pulling
Valid Count	469	267	168	34
mean	2.47	1.98	3.50	1.15
median	2.33	1.97	3.21	1.16
Standard deviation	1.16	0.54	1.22	0.32
variance	1.35	0.29	1.49	0.10
25 th percentile	1.70	1.60	2.79	0.87
15 th percentile	1.42	1.36	2.51	0.75
maximum	8.99	3.77	8.99	1.79
minmum	0.67	0.74	1.94	0.67
95%신뢰수준의 하한치(m/sec)	2.36	1.91	3.32	1.04
95%신뢰수준의 상한치(m/sec)	2.57	2.04	3.69	1.27
skewness	1.795	0.145	1.944	0.311
kurtosis	5.768	-0.248	5.052	-0.638

를 지니고 교차로로 진입하는 riding의 경우가 편차가 가장 심한 것으로 나타났으며, 자전거를 끌고 횡단하는 pulling의 경우 가장 낮은 편차를 보이는 것을 알 수 있다.

다음 그림 2의 경우는 횡단유형에 따른 자전거 속도를 빈도에 따라 표현한 것으로서 모든 유형의 속도분포가 정규분포에 가까운 형태를 보인 것으로 나타났으며, 일부 riding의 횡단형태의 경우 이용자의 가속속도에 따라 분포값이 퍼져 있는 것을 알 수 있다.

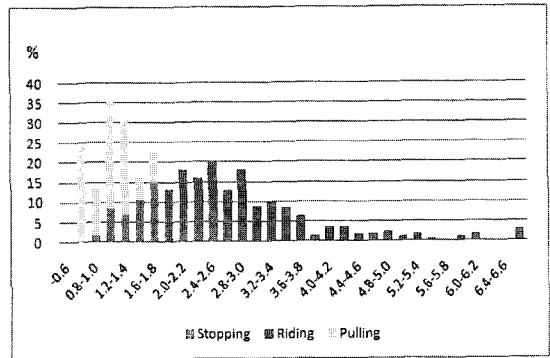


그림 2. 횡단유형별 속도 히스토그램

다음 그림 3과 그림 4의 경우는 횡단유형에 따라 횡단거리에 따른 평균횡단시간과 횡단거리에 따른 평균횡단속도의 관계를 그래프로 표현한 것이다.

여기서, stopping과 pulling의 경우에는 자전거 이용자의 초기출발시간(start up time)이 포함되어 있다고 할 수 있다.

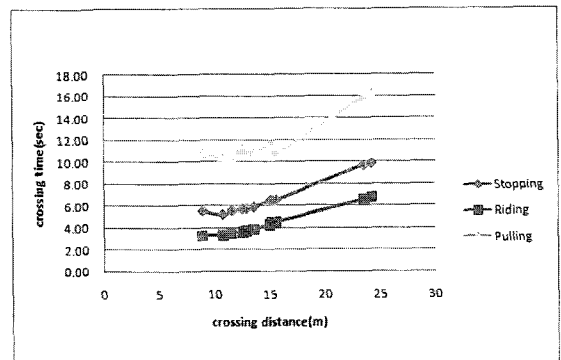


그림 3. 횡단거리별 평균 횡단시간 비교



그림 3의 결과는 횡단거리가 증가함에 따라 횡단 시간도 함께 증가하는 것을 알 수 있으며, 그 중에서도 자전거를 끌고 가는 형태인 pulling의 경우가 다른 유형에 비해서 증가폭이 큰 것을 알 수 있다.

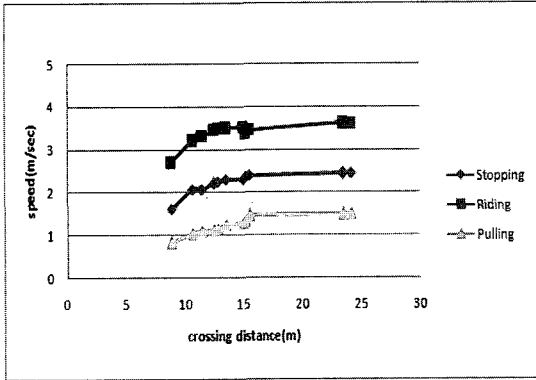


그림 4. 횡단거리별 평균 횡단속도 비교

그림 4는 횡단거리가 증가함에 따라 횡단속도도 증가하나 어느 일정한 거리에 도달하면 횡단속도의 증가폭이 줄어드는 것을 알 수 있으며, 본 연구에서는 약 15-20m 횡단거리로 분석되었다.

분석결과, 최소녹색시간에 고려할 수 있는 횡단유형(횡단시간 포함)과 소거손실시간에 고려할 수 있는 횡단유형으로 구분할 수 있는데, 이 중 최소녹색시간을 산정하기 위한 기초자료로서 활용될 수 있는 자료로는 stopping과 pulling의 형태를 지닌 횡단시간이라 할 수 있겠다.

특히, pulling의 형태를 지니는 횡단시간은 보행자와 함께 횡단하는 경우이므로 횡단보다 녹색신호 시간과 함께 고려해야 할 것으로 생각되며, 이에 설계값으로 활용될 수 있는 속도로는 15th percentile 값과 25th Percentile 값이 될 수 있으리라 판단된다.

이에 자전거 횡단시간을 고려한 최소녹색시간은 stopping의 경우 1.36(15th percentile), 1.60m/sec(25th percentile), pulling의 경우에는 0.75(15th percentile), 0.87m/sec(25th percentile)라 할 수 있겠다.

아울러, 소거손실시간의 경우에는 자전거 이용자 형태 중 riding의 경우로 2.51(15th percentile), 2.79m/sec(25th percentile)를 적용할 수 있을 것

로 판단된다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 자전거 횡단시간을 고려하여 보다 안전한 신호운영설계를 하기 위한 기초조사를 수행하였으며, 이용자 횡단특성(3가지 유형 : stopping, riding, pulling) 및 교차로 횡단거리에 따라 분석을 하였다.

이는 자전거 이용자의 횡단특성을 다양하게 고려함으로써 실제 교차로설계 및 신호운영 시 그 지역특성(토지이용 및 수요특성 등 고려)에 맞는 합리적이고 현실적인 자료 사용이 가능할 것으로 판단했기 때문이다.

아울러, 신호운영 설계를 위해 횡단유형 중 stopping과 pulling의 경우에는 운전자가 녹색신호에 대해 반응하는 출발손실시간을 어느 정도 포함하고 있다고 할 수 있으므로 산출된 속도 값을 활용하여 최소녹색시간 고려에 사용될 수 있다고 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 자전거 횡단시간을 고려한 최소녹색시간은 stopping의 경우에는 1.36-1.60m/sec, pulling의 경우에는 0.75-0.87m/sec 를 제안하고자 하며, 소거손실시간의 경우에는 자전거 이용자 형태 중 riding의 15th percentile 값과 25th percentile 속도를 고려하여 2.51-2.79m/sec 를 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

또한 각 횡단유형별 평균속도에 대하여 분산분석(one-way ANOVA)을 수행한 결과 자전거 이용 행태에 따라 속도의 평균이 달라진다는 결론(이용행태별 평균속도 차이가 있음.)을 내릴 수 있었으며, 그 결과 평균속도의 크기 순서는 riding > stopping > pulling의 순서를 보이는 것으로 나타났다.

본 연구를 수행하면서 느낀 한계점은 조사대상이 대부분 중고등학교 학생으로 이루어진 점과 자전거 이용특성상 자전거 침두시간이 매우 짧고 한정되어 있다는 점이었으며, 횡단시간 이외에 자전거 이용자



가 감가속 등을 통해 경험하게 되는 인지반응시간에 대한 추가조사가 필요하다는 점이다.

그러나 향후 본 연구에서 수행된 기초자료가 도시 이용형태에 따라 자전거 이용자 특성을 고려한 교차로 신호운영설계가 가능할 것으로 기대되며, 특히 자전거 이용수요가 많은 곳의 교차로 신호운영에 적용될 수 있으리라 판단된다.

또한 자전거를 고려한 택지개발계획이나 도시계획(단지계획 포함)시 본 연구의 조사자료가 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

앞으로 자전거 이용자의 수요를 기존 자동차 중심에서 탈피하고자 하는 의식의 전환을 어떻게 모색해야 하는가와 함께 실제 자전거 이용자들을 중심으로 한 안전성 확보의 문제나 서비스 증대방안에 대한 문제들은 여전히 과제로 남아 있다고 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2005년도 건설핵심기술연구개발사업(05기반구축B02)의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

손영태, 김정현, 오영태, 김홍상, 박우신(2002), "자전거의 기본 특성에 관한 실험 연구", 대한교통학회지, 제20권, 제4호, pp. 19-26

오창수, 이종철, 최주남, 박형현, 박대룡, 김현곤(1999), "자전거도로의 시설기준에 관한 연구", 대한교통학회, 제36회 학술발표회 논문집, pp. 275-280

박병호, 정의용(1995), 자전거도로의 계획과 설계, 충북대학교 건설기술연구소

Daniel I. Rubins and Susan Handy, Times of Bicycle Crossings, *Case Study of Davis, California*, pp.22-27.

Ferrara, T. C., and T. N. Lam.(1979) Analysis of Bicycle Delays at Intersections and Crossings by Computer simulation. *Transportation Research Record 706*. TRB, pp. 36-44

Pein, W. Bicyclist Performance on a Multiuse Trail. In *Transportation Research Record 1578*, TRB, *National Research Council*, Washington, D.C., 1997, pp.127-131.

Talor, D. Analysis of Traffic Signal Clearance Interval Requirements for Bicycle-Automobile Mixed Traffic. In *Transportation Research Record 1405*, TRB, *National Research Council*, Washington, D.C., 1993, pp.13-20.

Wachtel, A.,J. Forester, and D. Pelz. Signal Clearance Timing for Bicyclist. *ITE Journal*, Vol. 65, No. 3, 1995, pp.38-45.

Bicycles. In *Highway Capacity Manual*, TRB, *National Research Council*, Washington, D.C. 2000.

Traffic Controls for Bicycle Facilities, Part 9, In *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways*. FHWA, *U.S Department of Transportation*, 2003

Guide for the Development of Bicycle Facilities. *AASHOTO*, Washington, D.C., 1999.

접 수 일 : 2007. 5. 29

심 사 일 : 2007. 5. 30

심사완료일 : 2007. 9. 3