

# 자전거 통행을 고려한 복합교통류의 교차로 신호운영 방안에 관한 연구

A Study on the signal control for heterogenous traffic at signalized intersection  
considering effect of bicycles

최광현

(서울대학교 환경계획학과 석사과정)

이영인

(서울대학교 환경계획학과 교수)

Key Words : 자전거 교통류, 교차로 설계분석, 포화교통류율

## 목 차

### I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적
2. 연구의 방법 및 수행절차

### II. 관련이론 및 선행연구 고찰

1. 관련이론 고찰
2. 선행연구 고찰

### III. 복합교통류 신호제어 방안 구축

1. 교차로에서의 자전거 통행방법
2. 복합교통류에서 포화교통류율 보정
3. 최적 신호주기 결정 및 현시배분

### IV. 향후 연구진행

### V. 참고문헌

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

우리나라의 급속한 경제성장과 국민의 삶의 질 향상은 교통의 발달과 함께 이루어져 왔으며 특히 자동차의 편리함과 효율성으로 인해 자동차의 급격한 증가를 가져왔다. 이로 인하여 서울을 비롯한 대부분의 도시지역에서는 자동차의 통행시간과 정체가 증가하는 등의 문제가 발생하였고 이를 도로의 신설, 확장 그리고 운영등을 통하여 관리하고자 하고 있다. 그러나 이런 자동차 위주의 교통정책은 근본적인 해결책이 되지 못하고 있는 실정이다.

현재 세계 각국의 교통정책은 환경적으로 건전하고 지속가능한 개발이라는 측면에서 자동차 이외에 녹색교통에 초점을 두고 있다. 그 대표적인 예가 되는 교통수단이 바로 자전거라고 할 수 있다. 실제 유럽이나 일본 등의 국가에서는 자동차의 수요억제, 대중교통 활성화 방안과 함께 교통수단에서 자전거의 비중을 높일 수 있는

여러 정책들을 지속적으로 추진하고 있다.

우리나라 또한 복합적인 교통문제의 해결을 위해 1993년부터 “자전거 이용 활성화 사업”을 추진하고 있으며 서울시의 경우 승용차 이용을 억제하고 보행자와 자전거 중심의 교통 환경을 개선하기 위한 ‘도심부 교통 마스터 플랜’을 수립하고 2009년부터 단계적으로 정책을 추진하고자 계획 중에 있다. 또한 경찰청에서는 2008년 11월 도로교통법 관련 입법절차가 이루어지는 대로 전국의 자전거 전용도로에 신호등을 설치해 운영하려는 계획을 시행하고자 하고 있다. 이렇듯 다방면에서의 자전거 정책은 자전거 교통의 활성화에 큰 영향을 미칠 것으로 보인다.

따라서 본 연구에서는 현재 우리나라에서 계획 중인 녹색교통 정책의 필요성을 고려하여 교통운영측면에서 자전거 교통을 활성화 할 수 있는 방안에 대한 연구를 진행하고자 한다. 우선 교통운영 측면에서 자전거 교통

을 활성화하기 위해서는 자전거에게도 자동차와 같이 이동성과 연속성이 부여되어야 하며 그렇기 때문에 교통류의 단속과 연속이 발생하는 교통운영의 중추인 교차로에서 차량과 자전거 각각의 교통류 특성을 고려하여 함께 통행되어질 수 있는 신호운영 방안에 대한 연구를 진행하고자 한다. 본 연구에서는 차량 위주의 기존 교통류와의 구별을 위해 자전거와 차량 교통류의 조합을 복합교통류라 정의하였다.

## 2. 연구의 방법 및 수행절차

본 연구에서는 자전거의 교차로 통행에 따라 교차로에서 발생할 수 있는 차량과 자전거의 상충을 살펴보고 이것이 교차로에 미치는 영향을 분석하여 자전거와 차량의 복합교통류가 교차로에서 통행 가능한 방법을 찾고자한다. 따라서 자전거 교통류의 특성을 파악하고 기존의 차량 위주의 신호운영방식에서 자전거 교통이 미치는 영향을 고려한 신호운영방안에 대한 연구를 진행하고자 한다. 그리고 자전거 통행이 고려된 신호운영방안이 기존 차량기반의 신호제어에 비해 적합한지를 입증하기 위하여 가상의 시나리오를 구성하고 미시적 시뮬레이터를 이용한 효과분석을 시행할 것이다.

본 연구는 현재 4장으로 구성하였으며 제 I 장에서는 연구에 대한 배경 및 목적, 그리고 방법에 대하여, 제 II 장에서는 자전거 교통류의 특성과 기존 신호운영 관련 이론과 선행연구에 대한 고찰을 토대로 한 연구의 방향을 제시할 것이다. 제 III 장에서는 복합교통류의 신호운영 방법론에 대해서 첫째, 기존 신호교차로에서 차량과 자전거가 복합적으로 통행하고 있는 사례를 살펴보고 차량과 자전거가 복합적으로 교통이 이루어질 때 적합한 자전거의 통행방법을 제안하고자 하며, 둘째, 자전거 교통류의 특성이 교차로 신호운영에 있어서 핵심이 되는 포화교통류율에 미치는 영향을 분석하여 셋째, 차량과 자전거 두 교통수단 모두에 적합한 신호제어 방안을 구축하고자 할 것이다. 제 IV 장에서는 현장조사 및 자료 분석 그리고 신호운영방안에 대한 효과분석등에 관한 향후 연구진행방향을 제시하는 것으로 본 연구를 진행할 예정이다.

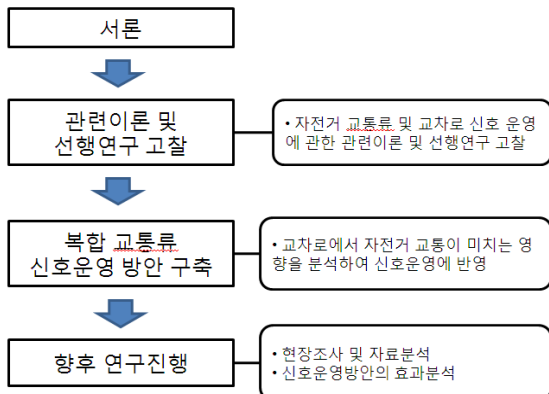


그림 1 연구흐름도

## II. 관련이론 및 선행연구 고찰

### 1. 관련이론 고찰

#### 1) 자전거 교통

##### (1) 자전거 도로시설의 정의

HCM(2000)과 국내 도로용량편람(2004)은 자전거를 일반 교통류로부터 분리하여 통행하도록 하는 도로시설을 자전거와 차량 그리고 보행자간의 통행 행태에 따라 자전거 전용도로, 자전거·보행자 겸용도로, 노상 자전거 도로, 신호교차로와 도시가로상의 자전거도로로 구분하였다.

##### (2) 자전거 서비스 수준

자전거 도로 유형별로 이용자들은 자전거 주행 중 겪는 주행의 방해 정도에 따라 느끼는 서비스수준이 다르게 된다. HCM(2000)에서는 자전거 전용도로와 자전거·보행자 겸용도로 그리고 노상 자전거 도로 기본구간에서는 추월횟수와 대면횟수를 산정하여 그에 따른 서비스 수준(LOS)을 제시하였으며 신호교차로 구간에서는 차량의 제어지체와 동일한 방법으로 자전거의 평균 제어지체를 산정하여 서비스 수준을 평가하였으며 도시부 가로상의 자전거도로는 평균통행속도를 효과적으로 하여 서비스 수준을 산정하였다. 국내의 도로용량편람(2004)또한 HCM과 유사한 방식으로 서비스 수준 평가 방안을 제시하고 있다.

##### (3) 자전거 교통류 특성

손영태(2002)는 자전거 교통시설의 설계 및 운영을 적절하게 수행하기 위해서 필요한 자전거 교통류의 기본 특성에 대한 연구를 수행하였다.

연구의 진행은 교통류의 기본이 되는 연속류와 단속류 상태 두 부분에서 이루어졌으며 평탄한 Test track에서 자전거 전용도로를 대상으로 실험을 설계하였다. 연속류 상태에서는 속도-밀도-교통량의 관계와 용량값, 그리고 단속류 상태에서는 포화교통류율에 대한 결과값과 방법론을 제시하였다.

실험분석결과, 자전거 교통류의 연속류 상태는 차량 교통류의 교통량-속도-밀도 관계와 유사한 관계가 성립됨을 보였으며 표1에서 보는바와 같다.

표 3 차량 교통류와 자전거 교통류 특성비교

<b>자전거 교통류 특성</b> 	<b>차량 교통류 특성</b> 
<b>교통량-밀도 실험결과</b> 	<b>교통량-밀도 관계</b> 
<b>교통량-속도 실험결과</b> 	<b>교통량-속도 관계</b> 
<b>속도-밀도 관계</b> 	<b>속도-밀도 관계</b> 

자전거의 단속 교통류에서는 포화교통용량에 대한 조사를 실시하여 자전거 전용도로의 폭에 따라 평균 차두 시간과 포화 교통류율을 제시하였다.

표 4 도로폭원에 따른 평균 차두시간

도로폭 (m)	평균차두시간(sec)	포화교통류율(vph)
1.0	1.31	2,748
1.5	1.21	2,975
2.0	1.14	3,157
2.5	1.06	3,396
3.0	1.07	3,364

※ 자전거 교통류 기본특성에 관한 연구, 손영태(2002)

## 2) 교차로 신호운영

### (1) 도로용량편람(2004) 신호교차로 분석방법

신호 교차로를 분석할 때 고려되는 요소는 크게 교차로의 기하구조, 교통조건, 신호운영 조건 및 지체 또는 서비스 수준이다. 이들 4개 요소를 구하고자 하는 목적에 따라 조합하여 다음과 같이 3가지 종류의 분석으로 나눌 수 있다.

#### ① 운영분석

교통량, 신호시간 및 교차로의 기하구조를 파악하여 지

체 및 서비스 수준을 구하는 분석으로서 신호교차로에 있어서 기본이 되는 분석이다.

#### ② 설계분석

교차로 설계분석의 경우 서비스 수준은 의미가 없거나 분석에 있어서 중요한 요소가 아니다. 따라서 교차로의 기하구조와 교통량 조건을 파악하여 설계 서비스 수준을 만족시키는 최적 신호시간을 결정하는 분석이다.

#### ③ 계획분석

교차로의 전반적인 크기를 구하거나 교차로 용량의 적절성을 파악하기 위해 실시하는 분석으로 이 분석에 사용되는 입력자료는 개략적으로 추정된 교통량과 교차로 구조로서 적절한 신호시간을 추정하여 임계차로군의 v/c비와 교차로 전체의 임계 v/c비를 구하는 것이다.

본 연구에서는 교차로에서 복합교통류의 원활한 소통과 적합한 교차로 운영을 위한 최적의 신호운영 방안을 찾는 데 목적이 있으므로 신호운영 분석에 있어서 도로용량편람(2004)의 설계 분석적 측면에서 접근하였다.

### (2) 신호교차로 분석 Algorithm

교차로의 기하구조와 교통량 조건을 파악한 상태에서 최적의 신호를 구하기 위한 파라미터는 적정주기, 적정현시, 적정 녹색시간 등이며 이중에서 적정 주기를 구하는 것이 분석에 있어 가장 중요하며 이 적정주기를 통하여 적합한 교차로 신호운영이 이루어지게 된다.

분석과정은 교통량 보정을 통해 차로군 분류가 이루어지고 분류된 차로군별로 용량 및 서비스 수준을 구하는 과정을 거쳐 적정주기가 결정되는 순으로 이루어진다. 그림3은 도로용량편람(2004)에 따른 신호교차로 분석과정을 나타낸 것이다.

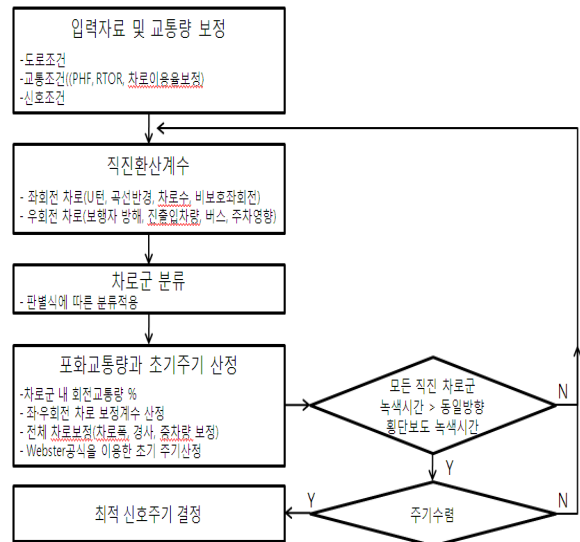


그림 2 도로용량편람(2004)의 신호교차로 분석 과정

① 회전 및 노변차로의 직진환산계수 산정

모든 회전차로 및 노변차로는 교통류 내부 및 외부마찰에 의해 이동효율이 감소한다. 내부마찰이란 차량 상호간 또는 횡단보행자와의 간섭, 또는 도로조건으로 인한 포화차두시간의 증가를 말하며, 외부마찰이란 도로변의 버스 정차, 주차활동, 이면도로의 진출입차량으로 인한 포화차두시간의 증가를 말한다.

이런 마찰을 통한 이동효율의 감소는 교차로에서 각 접근로별 이동류의 포화교통류율에 영향을 미쳐 궁극적으로 교차로에서의 신호운영에 변화를 주게되며 마찰요소에 따른 직진환산계수를 통해 포화교통류의 보정이 이루어진다. 따라서 어떤 교통류 또는 차량의 평균 포화차두시간을 기본 포화류율의 포화차두시간으로 나누는 값, 또는 기본 포화류율을 그 교통류의 포화류율로 나누는 값이 그 교통류 또는 그 차량의 평균 직진환산계수(through-car equivalent)가 된다. 이 직진환산계수를 사용하면 각 이동류의 교통량을 포화 차두시간의 누적 인 차로 이용율로 나타낼 수 있고 이를 비교하여 차로군 분류를 할 수 있다. 차로별 직진환산계수 산정식은 다음과 같다.

- 좌회전 차로의 직진환산계수( $E_L$ )

$$E_L = E_l \times E_p \times E_u$$

여기서,  $E_l$  : 좌회전 자체의 직진환산계수

$E_p$  : 좌회전 곡선반경 영향 직진환산계수

$E_u$  : U턴 영향 직진환산계수

- 우회전 차로 노변마찰로 인한 포화차두시간 손실( $L_H$ )

$$L_H = (L_{dw} + L_{bb} + L_p) \times 0.3$$

여기서,  $L_{dw}$  : 진출입 차량의 방해시간

$L_{bb}$  : 버스정차로 인한 방해시간

$L_p$  : 주차활동으로 인한 방해시간.

- 우회전 차로의 직진환산계수( $E_{R1}$ ,  $E_{R2}$ )

$E_{R1}$  : 도류화 되지 않은 공용우회전의 직진환산계수

$E_{R2}$  : 도류화된 공용우회전의 직진환산계수

② 차로군 분류

차로군 분류는 기본적으로 실질적 전용회전 차로(de facto turn lane)의 존재 유무를 판별하는 것이다. 즉, 좌회전 또는 우회전 차로에서 회전 교통량이 많아 실질적으로 전용차로와 같은 역할을 하면 이 차로는 별도의 차로군으로 분석을 하고, 이 차로에서 회전 교통량이 적어 직진이 함께 공용되어진다면 이 차로는 직진차로와 같은 차로군으로 분석을 한다.

신호교차로 용량분석은 접근로별, 차로군(lane group)별로 구분해 실시하며 차로군은 이동류의 교통량 분포에 따라 달라진다. 즉 서로 다른 현시에 진행되는 이동

류는 별개의 차로군을 형성한다. 또 같은 현시에 진행되는 서로 다른 이동류의 경우, 교통량비(flow ratio : v/s)가 다른 별개의 차로군으로 분류한다. 반대로 좌회전 또는 우회전 차로를 직진이 공용함으로써 교통량비에 관해서 직진차로와 평형상태를 나타내면 이 좌회전 또는 우회전 이동류는 직진과 함께 같은 차로군을 형성하며 통합해서 분석한다.

③ 포화교통류율 보정

포화교통류율은 조사지점마다 각각의 조건이 다르기 때문에 일정하지 않다. 따라서 분석에 사용할 포화교통류율을 직접 현장에서 조사하는 것이 바람직 하지만, 이는 어디까지나 현재의 주어진 도로조건과 교통조건에서의 운영분석에서만 타당성을 갖는 것이다. 장래의 도로 및 교통조건에서의 운영분석 또는 설계분석 및 계획분석 등 많은 부분에서는 합리적인 절차에 따라 다음과 같은 공식을 이용하여 계산된 포화교통류율 값을 사용한다.

$$S_i = S_0 \times N_i \times f_{LT} \text{ (or } f_{RT}) \times f_w \times f_g \times f_{HV}$$

여기서,

$S_i$  : 차로군 i의 포화교통류율(vphg)

$S_0$  : 기본 포화교통류율(2,200 pcphgpl)

$N_i$  : i 차로군의 차로수

$f_{LT}$ ,  $f_{RT}$  : 좌·우 회전 차로 보정계수  
(직진의 경우는 1.0)

$f_w$  : 차로폭 보정계수

$f_g$  : 접근로 경사 보정계수

$f_{HV}$  : 중차량 보정계수

④ 적정 주기의 산정

주어진 도로조건, 교통조건, 신호조건등의 입력자료와 앞선 교차로 설계분석 절차를 통해 포화교통량이 보정되어지면 각 차로군의 교통량비(v/s)가 구해지며 이를 통해 신호시간이 계산되어진다. 초기의 주기산정은 지체를 최소로 하는 Webster공식에 의해 이루어진다.

$$C_0 = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum y_i}$$

여기서,

$C_0$  : 지체를 최소로 하는 최적주기(초)

$L$  : 주기당 총 손실시간으로서 주기에서 총 유효녹색시간을 뺀 값

$y_i$  : i현시 때 주 이동류의 교통량비,  
즉 교통수요/포화교통량

그러나 Webster의 주기산정식이 지체를 최소로 하는 주기를 구하는 방법임에도 도로용량 편람(2004)에서 사

용하는 지체공식과 다르기 때문에 최적주기를 얻기 위해서는 각 주기마다 지체를 계산하여 비교해야 한다.

따라서 Webster 주기산정식을 통해 구한 초기 주기를 통해 새로이 회전차로의 직진환산계수(E)를 수정하고 다시 차로군 분류, 포화교통량 보정 등을 실시하여 새로운 주기를 찾는 과정을 반복하게 된다.

반복과정이 끝나는 시점은 어느 직진 차로군의 녹색시간이 이와 평행한 횡단보도의 최소녹색신호시간보다 작아질 때이거나, 직진 차로군의 녹색시간이 이와 평행한 횡단보도의 최소녹색신호시간보다 크면서 반복계산에서 적정주기의 변화가 없거나 어느 값 부근에서 진동을 계속하는 경우이며, 이때는 그중 긴 주기를 적정주기로 하고 반복계산을 종료한다.

## 2. 선행연구 고찰

### 1) 교차로에서의 자전거 통행을 고려한 신호운영

Akbarzadeh, Masoud(2007)등은 자전거 전용차선이 주어진 신호교차로에서 자전거 전용차선에 검지기를 설치하여 감응 신호제어를 실시하였다. 교차로 신호 운영 방식은 자전거가 검지기에 인식되었을 때에 자전거에게 연장신호를 부여하도록 하여 차량에게 발생하는 추가지체를 최소화하고 자전거가 교차로를 횡단하는데 적절한 신호를 받을 수 있도록 하였다. 실제 자전거 교통류감응 신호제어를 실시한 20개의 대상 교차로는 차량기반의 신호운영 시 자전거가 교차로를 횡단하기에는 부족한 신호시간을 부여하므로 우선적으로 자전거가 교차로를 횡단하는 형태를 정지(Standing)해 있다가 출발하는 경우와 신호를 받는 상태(Rolling)로 구분하여 속도를 조사하였고 횡단유형별로 교차로 횡단에 자전거 최소녹색시간과 단위연장시간에 대한 계산식을 제시하였다.

Jianfeng Zhou(2003)등은 교차로에서 회전이동류에게 비보호 신호를 부여하는 2현시 체계에서 자전거와 차량 모두에게 최적의 되는 신호주기를 Webster의 최적주기 공식에서 자전거 교통류의 교통량비를 반영하여 산정하였다. 즉, 이동류  $i$ 의 현시율이자 교통량 비인  $y_i((v/s)_i)$  값의 비교에서 자전거 교통류의 교통량비도 포함시켜 비교하게 함으로써 복합교통류 중에서 교통량이 많은 수단에게 신호가 상대적으로 길게 부여되도록 하였다.

### 2) 자전거 통행이 교차로에 미치는 영향에 관한 연구

D. Patrick Allen(1998)등은 신호교차로 용량에 미치는 자전거의 영향에 대해서 4개의 대상교차로를 선정하고 현장에서 비디오 촬영기법을 통해 분석하였다. 비디오를 통해 자료를 구축하고 자전거 교통량에 따른 상충지점의 점유율과의 관계를 회귀분석을 통해 적합한 선형회귀분석 모형을 도출하였으며 이에 따라 HCM(1994)의 포화교통류율 보정계수인  $f_{Rpb}$ ,  $f_{Lpb}$ 의 보정절차에

의한 포화교통류율과 교차로 용량보다 더 적게 산출되는 결과를 보였다.

HCM(2000)에서는 교차로에서 자전거와 보행자의 통행이 차로군의 포화교통류율에 미치는 영향을 보정계수를 통해서 반영하였다. 그림3에서 보듯이 상충지점을 차량의 회전이동류가 보행자 및 자전거와 통행 중복이 이루어지는 지점으로 구분하였고 좌회전 차량 이동류와 보행자의 상충을 고려한 보정계수는  $f_{Lpb}$ , 우회전 차량 이동류와 자전거, 보행자 상충을 고려한 보정계수는  $f_{Rpb}$ 로 나타내었다.

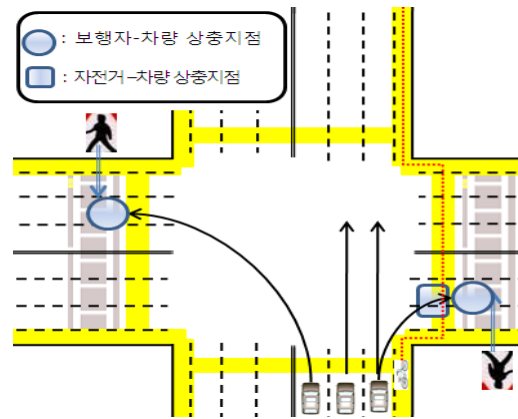


그림 3 차량과 자전거 및 보행자 간 상충 지점도

$$f_{Rpb} = 1.0 - P_{RT}(1 - A_{pbT})(1 - P_{RTA})$$

$$f_{Lpb} = 1.0 - P_{LT}(1 - A_{pbT})(1 - P_{RTA})$$

여기서,  $f_{Rpb}$  : 우회전 차량과 자전거, 보행자 상충 보정계수

$f_{Lpb}$  : 좌회전 차량과 보행자 상충 보정계수

$P_{RT}$  : 차로군에서 우회전 차량교통량 비율

$P_{LT}$  : 차로군에서 좌회전 차량교통량비율

$P_{RTA}$  : 보호현시 운영에 따른 우회전 차량교통량 비율

$P_{LTA}$  : 보호현시 운영에 따른 좌회전 차량교통량 비율

$A_{pbT}$  : 자전거, 보행자 저항계수

Dianhai Wang(2007)등은 자전거와 차량이 도로를 공유하는 비보호 2현시로 운영되어지는 신호교차로에서 자전거의 이동류별 승용차 환산계수를 현장조사를 실시하여 자료를 구축하고 회귀분석을 통해 산정하였다. 자전거의 승용차 환산계수는 그림4, 5에서와 같이 직진일 경우와 좌회전의 경우로 나누어 구분하였다.

직진 자전거 교통류의 경우 자전거 교통량의 증가에 따라 차량 교통량이 감소하는 선형 회귀식이 도출되었고 좌회전 자전거 교통류의 경우 비보호 현시로 인해 직진차량의 차두시간에 영향을 주게 되므로 좌회전 자전거의 환산계수  $f_{lb}$ 는 좌회전 자전거 통행으로 인한 차

량의 지체를 차량의 평균 차두시간으로 나눈 값으로 산정하였다.

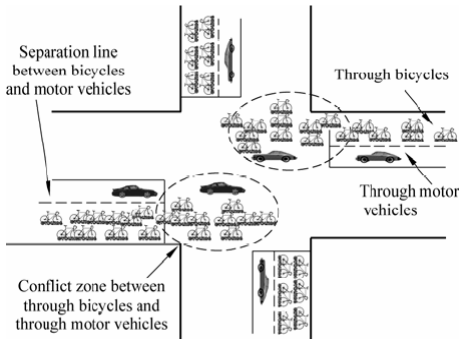


그림 4 차량과 직진 자전거의 상충지점

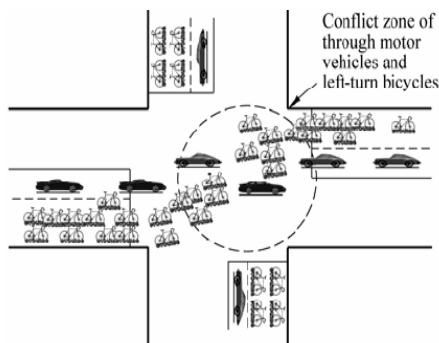


그림 5 차량과 좌회전 자전거의 상충지점

$$f_{ib} = D/H$$

$$\text{여기서, } D = \sum_{i=1}^n d_i p_i / \sum_{i=1}^n i p_i$$

- $D$  : 좌회전 자전거로 인한 직진차량의 지체
- $H$  : 연속해서 통행하는 직진차량의 평균 차두시간
- $d_i$  :  $i$ 번째 좌회전 자전거로 인한 직진차량의 지체
- $p_i$  : 주기당  $i$ 대의 자전거가 도착할 확률

### III. 복합교통류 신호제어 방안 구축

#### 1) 교차로에서의 자전거 통행방법

앞서 선행연구사례에서 보았듯이 중국의 경우 자전거 교통이 발달하여 도로에서 차량과 자전거가 혼재하여 통행하는 경우가 많으며 교차로에서도 차량이 좌회전하는 방식과 동일하게 같은 신호를 부여받아 통행이 이루어진다. 또한 비보호 좌회전이 자전거에게도 허용되어 대향 직진 차량 및 자전거 통행의 간격을 이용하여 자전거의 좌회전이 이루어진다.

하지만 이런 교통환경은 중국이외의 국가에서는 찾아보기 어려우며 우리나라 현실에 반영하기에는 무리가 있다.

차량 위주 교통이 발달한 미국의 경우는 도로의 특성상 교차로에서 평소에는 차량위주의 신호제어를 하다가 자전거 교통량이 감지되었을 경우 자전거에게 필요한 최소 녹색시간, 황색시간등을 고려하여 신호를 변경해 차량에게 발생할 수 있는 지체를 최소화하는 방식으로 교차로에서의 복합교통류 신호제어가 이루어지고 있으며 이 경우 자전거의 회전이동 특히, 좌회전의 경우 직진 후 건너편 자전거 전용도로에서 좌회전이 이루어지고 있다.

그림7에서 보듯 차로폭 3m, 자전거 도로폭 2.5m에 편도 4차선인 교차로에서 차량과 동일한 방식으로 좌회전이 이루어지면 신호는 선행 또는 후행 좌회전으로 운영되며 차량과 자전거의 회전반경이 각각 13m, 21.75m로 교차로의 대각선 길이 32.5m보다 크므로 다음과 같이 6개의 교차상충이 발생가능한 지점이 생긴다.

본 연구에서는 교차로에서 자전거의 적합한 통행방법으로 직진 후 건너편 직진신호에서 좌회전이 이루어지는 'Hook-Turn' 체계를 제안하고자 한다. 현재 일본, 영국 등에서 사용하는 방식이기도 하며 자전거 교통이 잘 발달된 창원시 교차로에서 자전거가 통행하는 방법과 유사하기 때문이다. 또한 경찰청에서도 도로교통법 개정안 발표를 통해 앞으로 자전거 전용도로 신호등 설치시 도입할 계획임을 밝혔다.

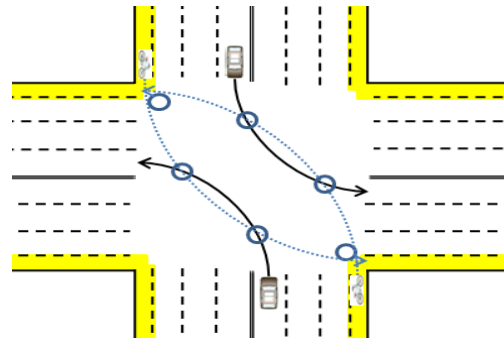


그림 6 교차로 교차상충 발생지점



그림 7 자전거Hook-turn 통행체계

#### 2) 복합교통류에서 포화교통류율 보정

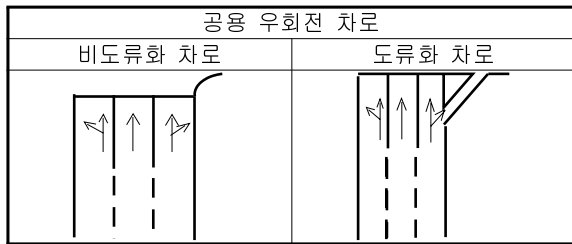
교차로에서 자전거의 통행이 이루어진다면 자전거 통행에 따른 차량 차로군의 포화교통류율과 자전거 전용차로의 포화교통류율에 대한 보정이 실시되어야 한다.



각 접근로별 차로군의 포화교통유율은 각 차로군 교통량과 함께 신호주기를 산정하는데 있어서 핵심이 되는 요소이기 때문이며 주어지는 주기에서 접근로별 이동류에게 교통량비( $v/s_i$ )에 따라 현시배분을 해야 하므로 포화교통유율의 보정이 필요하다.

국내 도로용량편람에서는 신호주기 산정과정에서 회전 차로별로 직진환산계수를 산출하여 차로군의 포화교통유율을 보정하였다. 좌회전 차로의 경우에는 좌회전 자체의 직진환산계수와 좌회전 곡선반경의 영향 그리고 U턴의 영향에 따른 환산계수 이렇게 3가지의 환산계수를 고려하여 좌회전 차로군의 직진 환산계수를 산정하였고 우회전 차로의 경우에는 노변마찰로 인한 차두시간 손실( $L_H$ )을 고려하여 표5에서 보듯이 공용우회전의 도류화 여부에 따라 횡단보도에서 보행자의 통행에 따른 영향을 반영하여 직진환산계수  $E_{R1}$ ,  $E_{R2}$ 를 산정하였다. 하지만 자전거의 통행에 따른 영향을 직진환산계수에 반영하지 못하였으므로 본 연구는 자전거 통행을 고려한 보정방안에 대해서 알아보려고 한다.

표 5 우회전 차로의 구분



$$E_{R1} = \frac{S_0}{S_{R0}} + \frac{1}{V_R} \left[ \frac{f_c G_P S_0}{C} + \frac{S_0 L_H}{3600} - \frac{3600 V_{Th}}{C N_T V_R} \right]$$

$$E_{R2} = \frac{S_0}{S_{R0}} + \frac{L_H}{h_s}$$

여기서,

- $E_{R1}$  : 도류화 되지 않은 공용우회전 차로의 직진환산계수
- $E_{R2}$  : 도류화 된 공용우회전 차로의 직진환산계수
- $S_0$  : 이상적인 조건하에서의 기본 포화교통유율(2,200 pcphgpl)
- $S_{R0}$  : 우회전 기본 포화교통량(1,900 pcphgpl)
- $V_R$  : 보정된 우회전 교통량(vph)
- $f_c$  : 횡단보행신호 중에서 우회전을 방해하는 시간의 비율
- $G_P$  : 교차도로의 횡단보행신호(sec)
- $C$  : 주기(sec)
- $L_H$  : 노변마찰에 따른 손실시간(sec)
- $V_{Th}$  : 직진교통량(vph)
- $N_T$  : 직진이 가능한 차로수

본 연구에서는 교차로에서 자전거 통행에 따라 직진 차로군과 공용우회전 차로군 그리고 자전거 차로군의 포화교통량의 보정이 필요할 것으로 보았다. 그림9에서

보듯이 자전거의 통행이 이루어짐에 따라 공용우회전 차로가 영향을 받고 공용우회전 차로에서의 차량의 차로변경에 의해 인접한 직진 차로군이 영향을 받으며 우회전 차량에 의해 자전거 차로군이 영향을 받을 것으로 예상된다. 각 차로군의 포화교통유율에 영향을 미치는 요소는 표6과 같다.

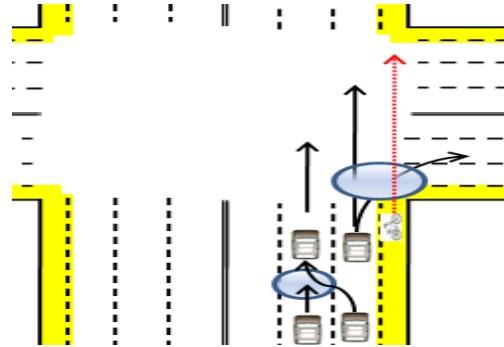


그림 8 자전거 통행에 따라 포화교통량의 보정이 필요한 차로군과 상충영향 지점

표 6 차로군별 포화교통유율에 영향을 미치는 요소

차로군	차로군 포화교통유율 변동 영향요소
공용우회전	자전거 교통량
직진	공용 우회전 차로군에서 차로변경하는 차량 교통량
자전거	우회전 차량교통량

차로군별로 포화교통유율 분석을 위해서 평균차두시간 방법을 이용하고자 한다. 공용우회전 차로와 자전거 차로의 경우 우회전 차량과 자전거 교통량간의 상충이 무작위적으로 이루어지므로 불규칙한 차두시간이 나타나고 직진 차로군 또한 차로변경하는 차량이 임의로 발생하기 때문에 차두시간이 불규칙하므로 평균 차두시간을 이용한 포화차두시간의 산정식을 다음과 같이 정하였다.

$$\bar{h} = \frac{T}{N}$$

- 여기서,  $\bar{h}$  : 포화차두시간
- $T$  : 주기당 총 관측시간
- $N$  : 통과대수

평균차두시간을 산정하는 방법은 녹색신호를 받고 차량이 출발하기 시작하는 시점부터 대기행렬의 마지막 차량이 정지선을 통과하는 총 관측시간을 관측시간동안 통과한 차량대수로 나누어 주는 방식이다.

따라서 현장조사를 실시하여 관측되어진 자료를 통해 공용우회전 차로와 자전거차로의 경우에는 각기 자전거 교통량과 우회전 차량교통량에 따른 차두시간으로부터 포화유율을, 직진 차로의 경우에는 차로변경 교통량에

따른 차두시간으로부터의 포화유율을 유추하여 각 차로군별로 영향을 미치는 교통량과 각 차로군의 포화교통유율을 간의 관계를 회귀분석을 통해 파악하여 차로군별로 적합한 회귀모형을 도출하고자 한다. 그리고 포화교통유율에 영향을 미치는 교통량 요소가 없을 때의 우회전 차량의 포화교통유율과 자전거 포화교통유율 그리고 직진 포화교통유율을 구하여서 최종적으로 차로군별 영향을 미치는 교통량의 비율에 따른 보정계수를 알아 보고자 하며 보정계수의 산정식들은 다음과 같다.

$$f_{RTb} = \frac{S_{Rbr}}{S_R}$$

$$f_{Br} = \frac{S_{Rbb}}{S_b}$$

$$f_{Tr} = \frac{S_{Tr}}{S_i}$$

여기서,

$f_{RTb}$  : 자전거 교통량 비율에 따른 우회전차량 보정계수

$f_{Br}$  : 우회전 차량 교통량 비율에 따른 자전거 보정계수

$f_{Tr}$  : 차로변경 교통량 비율에 따른 직진 차량 보정계수

$S_{Rbr}$  : 자전거 교통량 비율에 따른 우회전 차량 포화교통유율

$S_{Rbb}$  : 우회전 차량 교통량 비율에 따른 자전거 포화교통유율

$S_{Tr}$  : 차로변경 교통량 비율에 따른 직진 차량 포화교통유율

$S_R$  : 우회전 차량 포화교통유율

$S_b$  : 자전거 포화교통유율

$S_i$  : 직진 차량 포화교통유율

따라서 포화교통유율의 보정은 다음의 식과 같다.

$$S_i = S_0 \times N_i \times f_{LT} \text{ (or } f_{RT}) \times f_w \times f_g \times f_{HV} \times f_{Br} \text{ (or } f_{Tr} \text{ or } f_{RTb})$$

### 3) 최적 신호주기 결정 및 현시배분

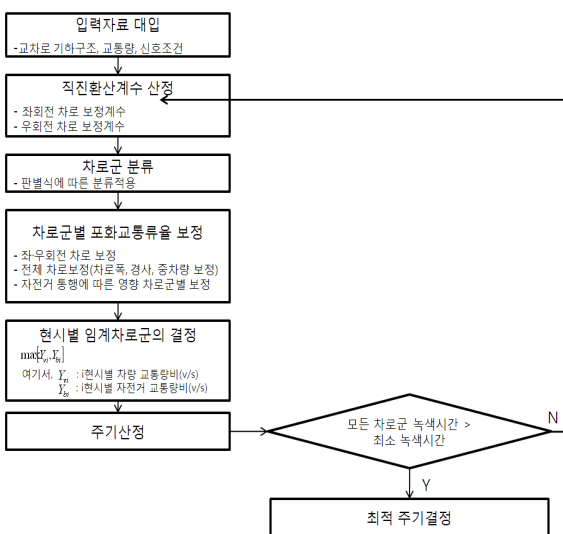


그림 17 최적 신호주기 산정절차

교차로 신호운영분석에서 필요한 입력자료는 현장조사에 따른 기하구조와 교통량 그리고 주기를 비롯한 신호조건을 초기값으로 하여 차로군별 환산계수를 정하고 차로군을 분류한다. 그리고 공용우회전, 직진, 자전거 차로군 별로 보정계수와 2)에서 산출한 보정계수를 통해 포화교통유율에 대한 보정을 실시한다.

이렇게 보정된 포화교통유율을 기준으로 다시 적정주기를 산정하게 되고 이때 어느 직진 차로군의 녹색시간이 이와 평행한 보행자의 최소녹색시간과 자전거의 최소녹색시간 중 작은 값보다 작아질 때이거나 산정된 주기가 변화가 없거나 수렴이 될 때 반복계산이 종료된다.

그러나 이 조건이 만족되지 않으면 다시 직진환산계수(E)수정, 차로군 재분류, 포화교통유율의 재보정 등의 과정을 최적주기가 나올때까지 반복하게 된다.

최적주기가 결정되면 접근로별 이동류에 현시를 배분해야 하며 이때 자전거 교통류의 특성을 고려해야 한다. 자전거는 속도, 가·감속, 인지반응시간 등의 특성이 차량과는 차이가 있기 때문에 교차로에서 차량과 같이 신호운영이 이루어지려면 이런 특성을 고려하여 자전거에게 필요한 신호가 부여되어야 하며 교차로를 횡단할 수 있는 최소녹색시간에 대한 기준이 마련되어야 한다. 또한 교차로에서 자전거가 딜레마 구간에 빠지지 않도록 적정한 황색시간이 주어지야 한다. 본 연구에서는 포화교통유율에 대한 현장조사를 진행할 때 자전거의 감·가속도와 황색시간을 아래 식을 통해 구하여 자전거에게 적합한 현시를 배분하고자 한다.

$$d = v_0 t + \frac{1}{2}(v - v_0)t$$

여기서,  $d$  : 이동거리(m)

$v_0$  : 자전거 초기속도(m/s)

$t$  : 이동시간(sec)

$v$  : 가속이후 속도(m/s)

$$Y = t + \frac{v}{2a} + \frac{(w+l)}{v}$$

여기서,  $Y$  : 황색시간(sec)

$t$  : 지각-반응시간(1.0sec)

$v$  : 교차로 진입차량의 접근속도(m/sec)

$a$  : 진입차량의 임계감속도(m/sec<sup>2</sup>)

$w$  : 교차로 횡단길이(m)

$l$  : 차량의 길이

## IV. 향후 연구진행

본 연구에서는 향후 현장조사를 실시하여 제안한 자전거 통행방법에 적합한 대상지를 선정하고 교차로에서 자전거 교통이 미치는 영향요소인 차로군별 보정계수와 자전거에게 필요한 최소녹색시간 및 황색시간 등에 대한 자료를 현장에서 비디오 촬영기법을 통해 구축하여



분석하고자 한다.

자료구축과 분석이후에는 교차로에서 기존 차량기반의 신호운영과 본 연구에서 제안한 복합교통류 신호제어방안을 교통조건에 따른 다양한 시나리오를 통해 비교분석을 실시할 예정이다.

이때 분석을 위한 도구는 128가지의 다양한 교통수단(자전거, 보행자)과 그 수단별 특성 반영이 가능하고 자전거 전용차로를 구현할 수 있는 미시적 시뮬레이터인 Paramics를 이용하여 차량과 자전거의 통행시간, 속도 및 지체에 대한 효과분석을 실시하고자 한다.

## 참고문헌

1. 건설교통부(2004), 도로용량편람
2. 도철웅, “교통공학원론”, 청문각, 2004
3. 손영태(2002), “자전거 교통류의 기본 특성에 관한 실험연구” 대한교통학회지, 제 20권 4호
4. 손영태(2007), “자전거 이용자 행태 반응을 위한 신호교차로에서의 자전거 횡단시간 연구” 한국도로학회지 제9권 3호
5. 건설교통부(1995), “자전거 이용시설의 구조 및 설계기준에 관한 규칙”
6. Traffic Engineering Handbook, Institute of Transportation Engineers StaffPline, James L.
7. Highway Capacity Manual(2000), Transportation Research Board
8. Akbarzadeh, Masoud · Prasad, Ananth · Chung, Nora · Pham, Thien Tich “Adaptive signal timing for bicycle”, Transportation Research Board Annual meeting 2007
9. Jianfeng Zhou · Zhaosheng Yang · Ying Gao, “Influence of bicycle links on signal timing optimization”, Intelligent Transportation Systems, 2003 IEEE
10. D.Patrick Allen · Joseph E. Hummer · Nagui M. Roupail · Joseph S. Milazzo, “Effect of bicycles on capacity of signalized intersections”, Transportation Research Record 1646
11. Dianhai Wang · Chunyan Liang · Chunguang Jing · Guohua Wang, “Bicycle Conversion factor

calibration at two phase intersections in mixed traffic flows”, Tsinghua Science & Technology V.12, 2007

12. Ardeshir Faghri · Erika Egyhaziova, “Development of a computer simulation model of mixed motor vehicle and bicycle traffic on an urban road network”, Transportation Research Record 1674