

# U턴 차량을 고려한 좌회전 감응식 신호제어전략개발 및 평가

## Development and Evaluation of Left-Turn Actuated Traffic Control Strategy Considering U-Turn Vehicle

이도현

(서울시립대, 석사과정)

김영찬

(서울시립대, 교수)

김성현

(한국건설기술연구원, 선임연구원)

박현석

(한국건설기술연구원, 연구원)

Key Word : U-turn, Left-turn, Gap time, Detector

### 목 차

I. 서론

II. 관련 연구 검토

III. 영향권 설정 및 교통특성 분석

IV. 좌회전 신호제어의 문제점

V. 좌회전 신호제어전략개발 및 설정

VI. 좌회전 신호제어전략 효과분석 및 평가

VII. 결론 및 향후연구과제

## I. 서론

우리나라 도로망은 전국의 주요 도시를 연결하는 고속국도 및 일반국도가 주축을 이루고 있으며, 각 도 내의 지역 생활권을 연결하는 지방도 및 군도, 시가지 내 가로등이 상호 연계되어 전국 도로망을 형성하고 있다. 이 중 주요 도시를 연결하는 고속국도 및 일반국도들은 90년대 초반부터 차량의 증가와 장거리 여행이 증가로 인하여 이용 비중이 나날이 증가하고 있다.

과거 교통 혼잡은 대표적인 도시문제로 거론되어 왔으나, 최근의 추세는 지방부 도로의 교통 혼잡도 심각한 수준에 도달해 있다. 특히, 국도는 도로의 기능측면에서 이동성이 강한 도로로 분류된다. 이러한 이유로 수도권 중심의 국도의 선형이 개량되면서, 연속속에 가깝도록 도로의 용량을 증대하고 있다. 하지만, 도로의 구간 내에 포함되어 있는 시가지 지역이나 일부 지역에서는 신호 교차로가 산재해 있으며, 이러한 교차로에서 교통량이 많은 시간대에는 병목현상이 발생하고 있다. 이는 앞서서 설명되었던 지방부 도로에 교통 혼잡의 원인이라 말할 수 있다. 특히, 교차로내의 회전교통량 증가로 인한 누적차량의 대기길이가 본선으로 역류하는 현상의 경우, 신호교차로 병목현상의 주원인이며, 침두시에 교통 혼잡을 야기시키는 요인 중에 하나라 할 수 있다.

지방부 도로의 시가지화 구간 중 특히, 신호교차로 회전 교통량의 신속한 처리방안을 모색하여 지방부 도로의 이동성을 한 층 더 발전시켜야 할 것이며 이는 지방부 도로의 신호 교급화에 있어서 먼저 풀어야 할 숙제일 것이다. 이러한 문제들 중 신호교차로 내에 보호좌회전의 경우 U턴 차량에 따른 좌회전 녹색시간 조기종결로 인하여 좌회전 교통량의 대기길

이가 늘어지고 이는 본선의 직진 이동류에 피해를 가중시키는 결과를 초래하고 있다. 또한 좌회전 감응식 신호제어에서의 현장상황과 다른 Gap Time Setting 설정은 회전교통류 흐름을 차단함으로써 좌회전 신호시간을 비효율적으로 사용하여 지체를 가중시키는 현상을 발생시킨다.

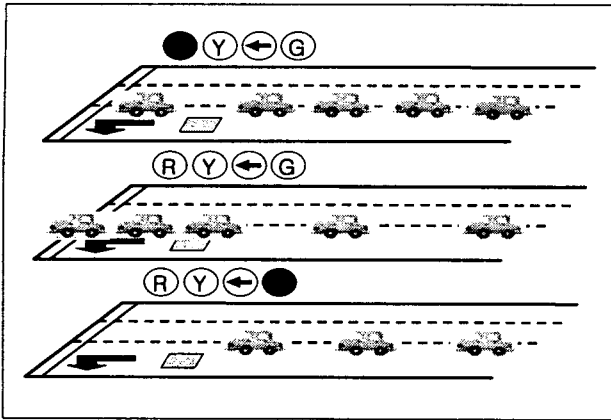
따라서 본 연구에서는 지방부 신호교차로의 회전교통량 처리에 대한 문제점에 대해 알아보고 지방부 특성에 맞는 회전교통량 처리방안을 모색한 후 가장 현장에 알맞은 개선방안을 제시, 신호교차로에서 회전교통량으로 인해 발생하는 차량들의 지체를 최소화하고자 한다. 또한 가장 효과적인 방법을 위하여 좌회전 신호제어전략개발을 수립하여 각 전략을 평가하도록 하겠다.

## II. 관련연구 검토

좌회전 감응제어란 일반적으로 좌회전 검지기에서 좌회전 교통류의 상태를 파악하여, 좌회전 수요가 없으면 현시를 종결시켜 남은 시간을 다른 방향의 이동류가 이용하게 하고, 반대로 좌회전 수요가 주어진 좌회전 녹색시간보다 많으면 녹색시간을 연장하는 기능이다.

<그림 1>은 좌회전 감응제어 개념(조기종결 부분)을 설명한 그림이다. 좌회전 신호를 기다리는 차량은 정지선에 대기하고 있다가 좌회전신호가 시작되면 차량이 교차로를 통과한다. 이때 처음에는 움직이는 차량 간의 간격은 작겠지만 점차 차량 간의 간격이 넓어지고, 대기하던 차량이 모두 빠져나가면 차량간격이 더욱 넓어지게 될 것이다. 검지기에서는 차량의 간

격을 측정하기 때문에 좌회전 차량이 모두 빠져나갔다고 생각할 수 있는 차량간격(운영자 설정: 보통 3.5초) 이상이 되면 좌회전 현시를 종결한다.



<그림 1> 좌회전 감응제어 개념도

신신호시스템(COSMOS) 기능개선에서는 좌회전 제어에 대해서 정지선검지기로는 포화 이상의 교통상태에 대해서는 과포화상태를 정확히 예측할 수가 없으므로 이를 예측할 수 있는 검지기를 좌회전 차로 상류부에 추가로 설치하여 매 주기 통과하지 못한 대기 차량수를 예측하여 다음 신호주기의 좌회전 현시배분시 이를 반영하는 방안이다. 추가 검지기 설치로 인하여 좌회전 과포화 문제를 정확히 짚을 수 있는 장점이 있고, 또한 좌회전 차로에서 U-Turn이 허용되는 경우 좌회전 대기행렬이 길게 늘어서 있음에도 불구하고 U-Turn으로 인한 좌회전 현시조기종결(Gap Time Out) 현상을 막을 수 있어 향후 좌회전 검지기 추가 설치문제가 적극적으로 검토되어야 한다고 되어있다.

또한 관련연구로는 좌회전 과포화 검지 및 방지방안에 대한 연구가 있으며 여기서는 좌회전 교통량이 과포화로 인해 본선에 영향력을 미치게 되어 검지기가 과포화인 경우에도 정상상태로 인식할 우려를 가지고 있다고 판단되며 이를 방지하기 위하여 새로운 검지 방안을 제시한다.

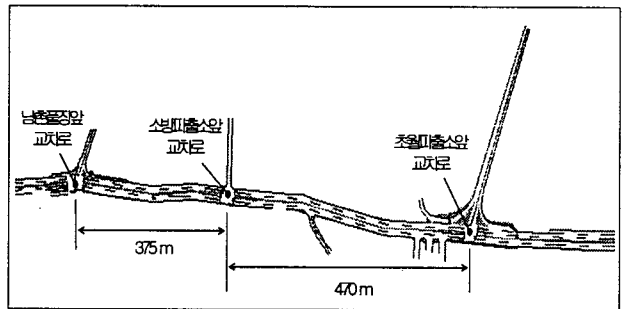
그리고 국도에서도 좌회전으로 인한 검지자료의 검지오차는 교차로 실시간대응제어 운영 전반의 신뢰성을 좌우하는 변수이므로 유턴영향과 좌회전 신뢰도를 높이기 위하여 좌회전차로에 추가 검지기 설치를 통한 검지자료 보정이 필요하다고 되어 있으며, 좌회전 추가 검지기 설치 외에도 좌회전 포켓길이 변화와 TSM사업 병행을 해야 효과가 있다고 제시하고 있다. 외국의 사례로는 좌회전 감응에서의 검지 방법 및 검지기 체계가 소개되어 있다. 검지기 체계로는 Long Loop, Power Head Detector 등이 있으며, 좌회전 차량들의 행태를 고려한 좌회전 검지기 Design이 많이 소개 되어 지고 있다. 검지방법으로는 앞에서 언급되어진 감응제어의 유형들이 있으며 비보호 좌회전에 대해서는 접근 속도별 좌회전 Waiting Delay 시간을 설정하고 있다.

하지만 좌회전 감응식 신호제어에서의 U턴을 고려한 신호제어 전략에 대한 연구는 미흡한 것으로 나타났다.

### III. 영향권 설정 및 교통특성 분석

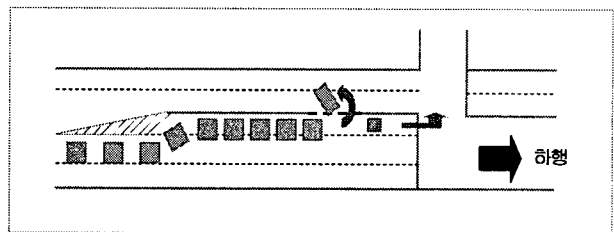
#### 1. 좌회전 및 U턴 영향권 설정

본 연구는 U턴으로 인한 조기종결 문제점을 살펴보기 위한 방법으로 문제점이 가장 잘 나타나고 있는 영향권을 설정 하였다. 현재 지방부 도로에서 시가지화 특성이 잘 나타나고 있으며 신호 제어기의 고급화가 이루어져 있는 곳을 선정 하였다. 2000년도 일반국도 3호선의 일부구간에 신신호시스템을 근간으로 하는 신호운영시범시스템이 구축되어 운영되고 있다. 현재 일반국도 3호선 신호운영 시범시스템 설치 운영구간은 초월파출소앞 교차로와 소방파출소앞 교차로, 남촌폴장앞 교차로이며, 아래 <그림 2>와 같으며 오전첨두시에는 하행교통량이 많고, 오후첨두시에 상행교통량이 많은 특징을 보이고 있다. 특히 초월파출소의 경우 주방향의 좌회전 교통량이 대기행렬의 증가로 인해 본선구간을 잠식하는 현상을 보이므로 인하여 하행방향의 모든 구간에서 혼잡이 발생하고 있다.



<그림 2> 국도 3호선 신호운영 시범설치구간

<그림 3>의 경우 현재 일반국도 3호선 신호운영 시범시스템 설치 운영구간의 초월파출소 교차로 하행 방향으로 발생되어 지는 대기행렬 본선 잠식현상을 보여 주는 것이다.



<그림 3> 좌회전 차량 누적으로 인한 본선구간침범

영향권으로 설정되어진 일반국도 3호선의 경우 수도권 남부 지역을 중심으로 수도권 생활지역의 확장과 토지이용의 증가로 교통량이 증가 추세에 있으며 지방부 시가지화 구간이 많이 나타나는 곳이라 할 수 있겠다. 이는 향후 전략의 개발뿐만 아니라 현장 적용 시 개발된 전략의 우수성을 평가하기 용이하다는 것을 의미한다. 좌회전 신호제어전략 중 본 연구에서 다루어지는 부분은 조기종결감응제어의 Gap 감응제어이다. 현장특성을 분석하여 가장 적합한 검지기 체계를 모색하고 좌회전 차량의 특성을 고려한 Gap Time Setting은 본 연구의 핵심이라 하겠다.

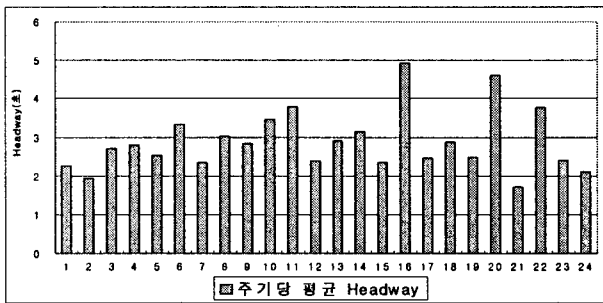
## 2. 좌회전 및 U턴 차량의 교통특성 분석

도심지에서 좌회전 및 U턴 차량의 특성과 지방부 도로의 좌회전 및 U턴 차량의 특성을 비교하기 위하여 영향권 설정 지역인 초월파출소 교차로를 조사 하였다.

조사 자료를 바탕으로 교통특성 분석 하였으며, 실제 조사한 결과 U턴으로 인하여 발생되어지는 대기차량들 간의 Headway가 순수 좌회전 차량들만으로 구성되어진 차량들 간의 Headway보다 큰 것으로 나타났다.

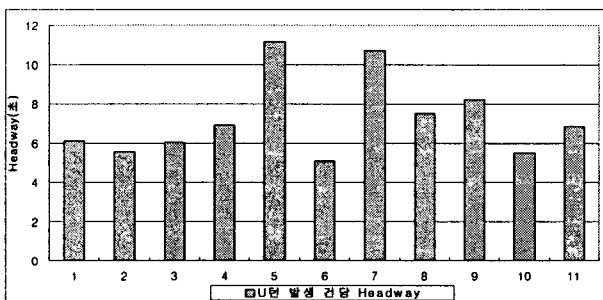
첨두시의 경우 빈번한 U턴 차량 발생과 불규칙한 좌회전 차량의 통행패턴으로 인하여 지방부 도로의 회전 차량들의 특성이 파악되지 못한다.

아래 <그림 4>의 경우 좌회전 차량들로만 구성되었을 때의 교통특성 분석으로써 좌회전 주기 당 차량의 Headway를 조사하였다. 조사결과 좌회전 평균 Headway가 2.88초가 나왔으며, 이는 일반적인 좌회전 분포를 나타내고 있다.



<그림 4> U턴이 없는 경우의 좌회전 Headway 분포

아래 <그림 5>의 경우 U턴 차량들로 발생되어지는 U턴 차량의 앞, 뒤 차량들의 Headway를 분석함으로써 U턴 발생건당 차량의 Headway를 조사하였다. 조사결과 U턴 발생건당 Headway가 7.23초가 나왔으며, 이는 U턴 차량으로 인하여 얼마나 많은 시간이 손실되어지는지 보여주고 있다.



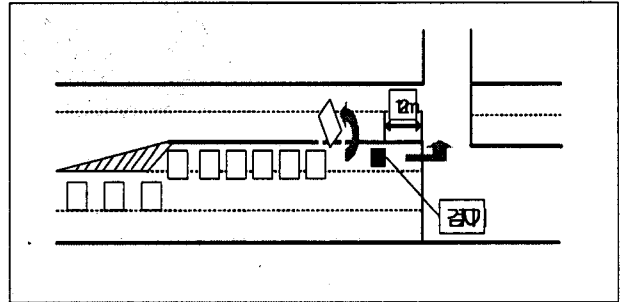
<그림 5> U턴이 있는 경우의 Headway 분포

앞의 조사결과를 토대로 지방부 도로의 경우 좌회전 차량으로 인한 손실시간보다는 U턴 차량 발생으로 인하여 좌회전 신호시간이 조기종결 되어져 발생되어지는 손실시간이 많음을 알게 되었다. 본 연구에서는 앞에서 설명되어진 Headway 시간을 토대로 앞으로 개발할 좌회전 신호제어전략에 Gap Time Setting설정과 검지기 체계의 변화를 모색하도록 한다.

## IV. 좌회전 신호제어의 문제점

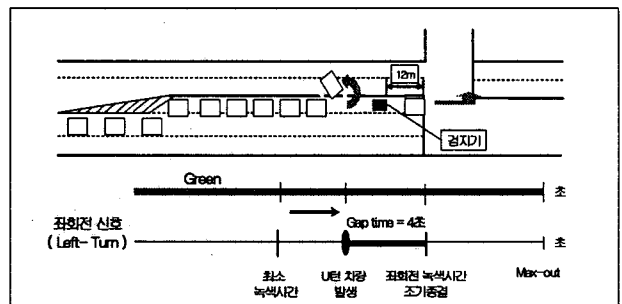
앞 절에서 언급되었던 국도의 시가지화 지역에서의 문제점을 알아보고 그에 대한 개선방안을 모색한다.

아래 <그림 6>과 같이 기존의 좌회전 검지기 체계는 도심지 중심의 좌회전 차량 위주로 검지기 체계가 설치되어져 있다.



<그림 6> 좌회전 감응제어 검지기 체계

<그림 6>에서 보듯이 지방부에서 빈번하게 발생하고 있는 U턴 차량을 검지하지 못하는 단점을 가지고 있다. 일반적으로 U턴 차량들은 우회전 차량들과의 상충을 피하고 좌회전 신호 시간외에 턴을 위해서 정지선으로부터 후방에 U턴 지역이 Making 되어져 있다. 이러한 문제들을 감안하고 U턴 차량으로 인한 신호시간 조기종결 문제점을 개선할 수 있는 방법으로는 현장 특성에 맞는 검지기 체계 변화 모색이 필요하다. 두 번째로는 아래 <그림 7>의 경우처럼 좌회전 감응제어에서의 Gap Time Setting설정을 언급할 수 있다. 앞 절에서 말해 듯이 일반적으로 운영자 설정 값으로 3.5 ~ 4초를 사용하며 이는 일반적인 좌회전 차량간격을 말한다.

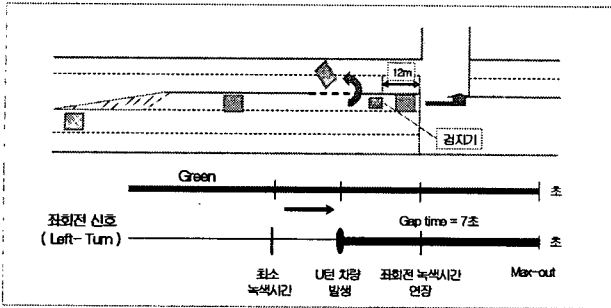


<그림 7> 좌회전 감응제어 조기종결(Gap Time =4초)

지방부 도로의 차량들의 특징으로 볼 때 Gap Time 4초를 사용할 경우 최소녹색시간 이후 Gap 감응시간 초기에 U턴 차량들의 발생으로 인하여 녹색시간이 조기종결 되어지는 문제점이 발생한다. 조기종결 되어진 신호시간을 기점으로 좌회전 차량들은 누적되어져 가고 결국 본선으로 역류하는 문제점을 발생시킨다.

세 번째로는 앞에서 말했던 U턴으로 인한 조기종결 문제점 해결 방안으로써 Gap Time Setting설정을 7초로 하였을 경우이다. 하지만 <그림 8>과 같이 7초로 하였을 경우 최소녹

색시공간 이후 Gap 감응시간동안 U턴 차량발생이후에 과도한 녹색시간 연장으로 인해 좌회전 녹색시간이 Max-out 되는 현상이 발생되어진다. 이는 기존의 좌회전 감응제어의 목표인 신호시간의 효율적 배분에 위배되며 좌회전 대향 직진 차량의 지체를 가중시키는 요인이라 할 수 있다.



<그림 8> 좌회전 감응제어 조기종결(Gap Time =7초)

앞에서 살펴본 좌회전 신호제어 문제점을 바탕으로 개선된 신호제어전략개발을 위한 조건들을 나열 하면 다음과 같다.

- 좌회전 및 U턴 검지가 용이한 검지기 체계 모색
- U턴 차량으로 인한 좌회전 신호조기종결 방지
- 검지기 감응으로 인한 과도한 현시연장 방지
- 현장 상황에 가장 적합한 Gap Time Setting
- 교차로 전체의 효율성 증가 (평균정지지체 감소)

위의 조건들을 부합할 수 있는 신호제어전략을 본 연구에서는 개발 하도록 하였다.

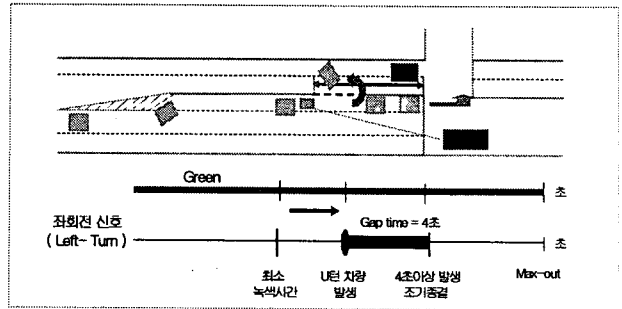
## V. 좌회전 신호제어전략개발 및 설정

앞 절에서 살펴본 문제점들에 대하여 기존의 신호제어전략을 바탕으로 문제점을 해결하며 앞 절에서 제시되었던 개선조건들을 충족시키고 영향권으로 설정되었던 현장에서 적용 및 평가 할 수 있는 좌회전 신호제어전략을 개발한다.

### 1. 좌회전 신호제어전략개발

앞에서 첫 번째 문제점으로 제시되었던 검지기 체계는 현장 조사를 토대로 U턴 가능구간 20m후방에 검지기 체계를 변경 하였으며 이는 U턴 차량의 경로에 검지기를 매설함으로써 U턴 차량으로 인해 발생 되어졌던 좌회전 조기종결 문제점을 좀 더 확실하게 검지할 수 있는 개선방안이라 할 수 있겠다. 두 번째, 세 번째 문제점으로 제시 되었던 Gap Time Setting 설정의 경우 개발된 검지기 체계와 현장 교통특성에 따라서 4초로 설정하였으며 이는 정지선으로부터 검지기까지의 거리를 충분히 고려한 것이며 또한 교차로 지체를 최소화 할 수 있는 기능이라 할 수 있겠다.

이러한 여러 조건들을 충족시키며 개발된 신호제어전략은 아래 <그림 9>와 같다.



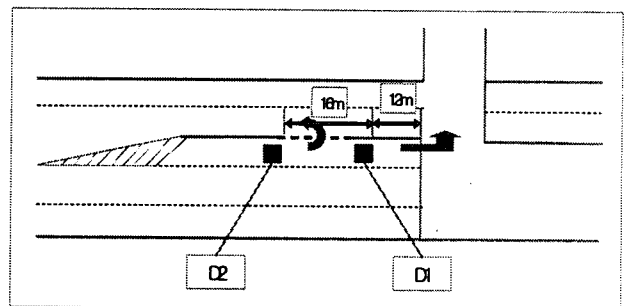
<그림 9> 개발된 신호제어전략

<그림 9>는 검지기 체계의 변화와 앞 절에서 살펴본 현장의 교통특성에 맞는 Gap Time Setting 설정을 통하여 개선 조건을 충족시키는 좌회전 신호제어전략이다.

본 연구의 주제인 U턴 차량으로 인한 좌회전 조기종결 문제점을 해결하고 교차로 전체에 지체를 최소화 시키는 가장 효율적인 방법이라 할 수 있겠다.

### 2. 좌회전 신호제어전략개발에 따른 전략설정

좌회전 신호제어전략개발에 따른 시뮬레이션 및 현장 적용 평가를 위하여 전략을 설정하고 기존의 전략과 개발된 전략을 비교하며, 신호제어에 따른 민감도 및 효과분석을 통하여 개발된 좌회전 신호제어전략의 우수성을 입증하기 위하여 기존의 전략과 개발된 전략을 나누어 시나리오를 작성 하도록 한다.



전략 I	D1 = Gap Time 4초인 경우
전략 II	D1 = Gap Time 7초인 경우
전략 III	D2 = Gap Time 4초인 경우
전략 IV	D2 = 4 & D1 = 4초인 경우

<그림 10> 좌회전 신호제어전략

위의 <그림 10>에서 전략 I의 경우는 가장 일반적인 좌회전 감응제어의 검지기 및 Gap Time Setting 을 보여준다. 전략 II의 경우는 전략 I에 대한 개선안으로써 일반국도 및 지방부 도로에서 사용되어지고 있으며 지방부 특성을 고려하여 Gap Time Setting 설정이 달라져 있다. 그리고 전략 III의 경우

가 본 연구를 통하여 개발된 전략이다. 전략 I에서 문제시 되었던 겹지기 체계를 변화시켰으며 전략 II에서 설정하였던 Gap Time Setting을 변화 시켰다. 마지막으로 전략 IV의 경우 기존의 좌회전 겹지기과 개발된 겹지기를 동시에 사용하였을 경우를 보여준다. 이 경우 Long Loop 형식과 같은 방법이며 Multiple Detection 기능을 사용한다.

## VI. 좌회전 신호제어전략 효과분석 및 평가

### 1. 효과척도 (MOE)

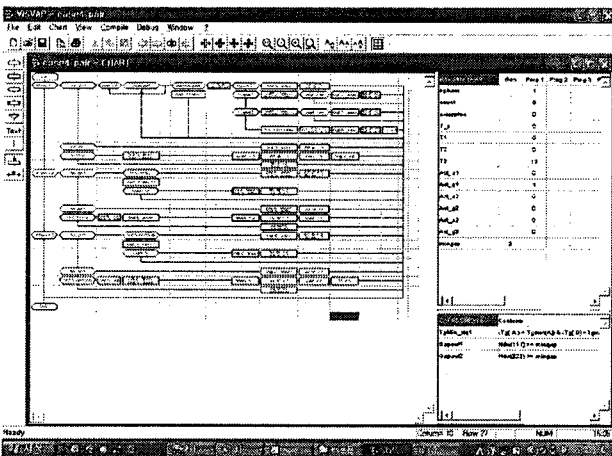
좌회전 신호제어전략을 분석하기 위하여 효과척도(MOE)로는 일반적인 신호 교차로의 효과척도인 평균정지지체를 사용하였으며, 각 접근로의 대기길어도 같이 분석하였다.

### 2. 시뮬레이션 선정

간선도로 및 고속도로 그리고 네트워크안의 신호교차로에서 개별차량의 이동형태가 재현가능하며 현 도로 및 교통 환경 구축이 가능하고 프로그래밍 인터페이스 기능이 되어있어 감응식 신호제어 구현이 가능한 미시적 시뮬레이터인 VISSIM을 사용하여 평가하도록 하였다.

본 연구를 위하여 VISSIM에 내장되어 있는 프로그래밍을 통하여 좌회전 신호제어전략을 구현 하였으며, 구현 기능으로는 Gap Time Setting과 Unit Extension 그리고 감응을 통한 현시 전이 상황을 구현하였다.

아래 <그림 11>은 좌회전 신호제어전략을 구현한 VISSIM의 VISVAP이라는 프로그래밍 언어이다.

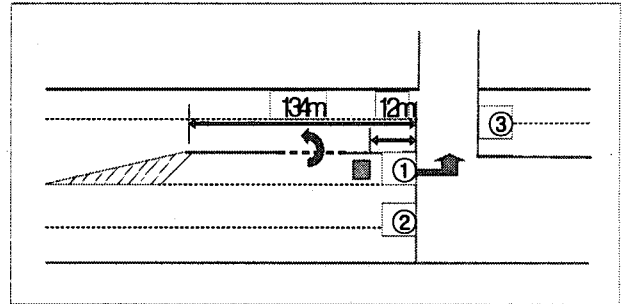


<그림 11> VISSIM의 프로그램 (VISVAP)

### 3. 시뮬레이션 적용

시뮬레이션 적용으로는 본 연구의 대상구간인 국도 3호선의 초월파출소 앞 교차로를 대상지로 하였으며, 시뮬레이션 분석을 위하여 <그림 12>와 같이 실제 교통량<sup>1)</sup> 자료를 각 이동

류 별로 분류하여 적용시켰으며 주기 및 신호현시는 TOD Mode 이다.



구 분	첨두시			비첨두시		
	1	2	3	1	2	3
이동류	1	2	3	1	2	3
교통량	371	1,834	1,486	258	1,581	1,633

<그림 12> 시뮬레이션 현황

### 4. 시뮬레이션 평가

효과분석은 각 전략별로 5회씩 시뮬레이션 하여 평균값을 사용하였다.

<표 1>은 각 전략에 대한 좌회전 평균정지지체 및 교차로 평균정지지체에 대한 결과이다. 성능평가 결과 좌회전 평균정지지체는 전략 III의 경우가 전략 I보다 무려 43% 줄어들었으며, 교차로 평균정지지체 또한 전략 III일 경우에 20% 줄어들었음을 알 수 있다. 이는 전략 I의 경우 U턴으로 인하여 과도한 조기종결이 발생하여 좌회전 한 현시동안 통과하지 못한 차량들이 누적되어 본선을 침범하고 이는 교차로 평균정지지체를 떨어뜨리는 결과를 초래한다. 전략 III의 경우는 앞서 설명되었던 U턴으로 생기던 과도한 조기종결을 U턴 가능구간 밖에 설치함으로써 U턴으로 인하여 발생되었던 과도한 조기종결을 해결하였다.

<표 1> 실제자료를 이용한 전략의 성능평가 결과 (지체)

(단위:초)	첨두시		비첨두시	
	좌회전	전체	좌회전	전체
전략 I	101.9	13.7	64.6	9.5
전략 II	69.1	10.3	58.7	10.3
전략 III	57.8	10.9	52.9	10.9
전략 IV	60.7	11.2	52.3	9.9

비첨두시의 경우는 교차로 전반적으로 직진 및 회전차량이 감소하여 전략별 평균정지지체가 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.

<표 2>는 각 전략에 대한 좌회전 대기길이 및 좌회전 대향 직진의 대기길이에 대한 결과이다. 성능평가 결과 첨두시 경우 전략 I 보다 전략 III의 경우가 대기길이 감소율이 43%나 되었다. 이는 전략 III의 경우 U턴으로 인하여 생기던 누적차

1) 한국건설기술연구원, 2003, "신호운영시범시스템 평가모형제작"

량을 발생시키지 않았음을 알 수 있다. 또한 비첨두시의 전략 II의 경우 대향 직진 대기길이가 가장 큰 것으로 나타났다. 이는 전략II의 경우 Gap Time을 크게 설정하여 생기는 Gap-Out 현상을 보여준다.

<표 2> 실제자료를 이용한 전략의 성능평가 결과 (대기길이)

(단위:m)	첨두시		비첨두시	
	좌회전	대향직진	좌회전	대향직진
전략 I	35.1	19.5	25.7	11.9
전략 II	20.1	18.6	20.7	16.9
<b>전략 III</b>	<b>16</b>	<b>22.5</b>	<b>17.4</b>	<b>10.5</b>
전략 IV	19	23.8	19.4	12

## VI. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 기존의 좌회전 신호제어에서 U턴으로 인하여 발생되어지는 조기종결의 문제점을 파악하여 개선방안을 제시하고 그와 더불어 현실 적용 가능한 전략을 개발하였다.

개발된 전략은 U턴으로 인하여 발생되어지는 과도한 조기종결을 해결하도록 U턴 차량의 이동경로 후방에 검지기를 매설하고 교통특성을 분석하여 현장에 맞는 Gap Time Setting으로 기존의 신호제어전략과는 차별화된 방법을 제시하였다. 시뮬레이션 평가결과 전략III이 전반적으로 우수한 결과 값을 나타냈으며 좌회전 평균정지지체의 경우는 전략 I보다도 약 20% 감소하였으며, 각 접근로 대기길이의 경우는 전략 I보다 43% 감소율을 나타내었다.

시뮬레이션에서의 결과 값은 평균정지지체의 경우 전략별 순위로 보면 전략III, 전략IV, 전략II, 전략I 순으로 나왔으며 개발된 전략이 가장 우수한 것을 알 수 있다. 비첨두시 보다는 첨두시에 전략 효과가 큰 것으로 나왔으며 특히, 비첨두시 전략II의 경우 대향직진의 대기길이가 늘어남을 볼 수 있는데 이는 과도한 좌회전 신호연장으로 인하여 차량이 없는 비첨두시에도 Max-out되는 현상을 나타내며 조기종결과는 또 다른 문제점을 나타내었다.

시뮬레이션 결과를 비교해본 결과 현장상황을 분석하여 개발된 신호제어전략이 기존의 전략들보다도 우수하다는 것을 평가를 통하여 알게 되었다.

본 연구는 실내실험인 시뮬레이션을 통하여 평가 하였으므로 향후 현장 적용 평가가 필요하며, 향후 연구과제로는 영향권 설정 구간인 국도3호선상의 초월파출소앞 교차로에 대하여 현장 적용하며 실제 현장 적용에 따른 평가방법으로는 시뮬레이션과 같은 교차로 평균정지지체를 사용 하도록 한다.

### 참고문헌

1. 김홍진, 2002, 과포화시 대기행렬길이 균형전략에 따른 교통신호제어모형의 개발'
2. 이용일, 2004, 감응식신호제어상에서 딜레마 제어를 고려한

연동신호개발 및 적용'

3. 서울지방경찰청, 교통지도부, 2002, 'COSMOS 2001 실시간 신호제어시스템 실무 해설집'
4. 건설교통부·한국건설기술연구원, 2001, '국도상의 신호교차로의 소통 및 안전기능 고도화를 위한 교통신호제어기기 개발'
5. 건설교통부·한국건설기술연구원, 2002, '국도상의 신호교차로의 소통 및 안전기능 고도화를 위한 교통신호제어기기 개발'
6. 건설교통부·한국건설기술연구원, 2003, '신호운영시범시스템 평가모형제작'
7. 건설교통부·한국건설기술연구원, 2003, '국도 3호선 신호 운영 시범시스템 좌회전 포켓 길이 현황 분석'
8. 도철웅, 1994, '교통공학원론'
9. publication No. FHWA-SA-95-031, 1996, 'Traffic Control System Handbook'
10. James A. Bonneson, P.E. and Patrick T. McCoy, 'Manual of Traffic Detector Design', Civil Engineering Department University of Nebraska - Lincoln Lincoln
11. James H. Kell, Iris J. Fullerton, 1991, 'Manual of Traffic Signal Design'
12. James A. Bonneson and Patrick T. McCoy, 1996, 'Traffic Detector Designs for Isolated Intersection'
13. Alexander Skabardonis, 'Determination of Timing in Signal Systems with Traffic-Actuated Controls'