

# 진입교통량 예측을 통한 주기변동기반 신호제어 모형 개발

Development of cycle free signal model through estimation of input volume

정상문

(서울대환경대학원, 석사과정)

이영인

(서울대환경대학원 교수)

## 목 차

I. 서론	IV. 모형의 적용
1. 연구의 배경 및 필요성	1. 평가방법론
2. 연구의 목적	2. 모의네트워크 및 상황설정
II. 기존문헌고찰	3. 시나리오 설정
1. 주기변동기반 신호시스템	V. 평가결과 분석
2. Kalman Filter 예측모형	1. 시나리오별 MOE비교
III. 모형 개발	2. 진입교통량 예측
1. 진입교통량 예측	VI. 결론 및 향후과제
2. 검지기체계	1. 결론 및 향후 연구과제
3. 신호주기결정	참고문헌
4. 신호현시결정	

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 필요성

1960년대 computer-based controller의 등장이후 최적의 교통신호제어 시스템을 구현하기 위한 많은 연구가 진행되었다. 그러나 대부분의 신호제어 전략이 신호교차로의 검지기로부터 제공되는 제한된 정보에 의한 교통수요 예측에 의존하게 되어 제어운영의 질을 높이는 데 한계가 있었다. 최근 신호제어 전략 연구는 교통 수요를 실시간으로 예측하여 신호 제어에 적용하려는 추세로 가고 있다.

교통신호제어전략의 성패는 실제 교통류 특성을 실시간으로 반영할 수 있는 모형을 구축하는데 달려있다. 최근 차량검지기 기술의 개발 및 통신기술의 첨단화로 인하여 다양한 교통상황에 교통류를 실시간으로 대응할 수 있는 다양한 신호제어전략의 개발이 가능하게 되었다. 첨단신호제어전략들은 복잡한 기능을 통하여 실시간 제어를 수행 가능하게 되었다. 정주기식 신호체계에서 매주기 고정된 신호시간을 가지고 운영된다. 이는 교차로 운영의 효율성을 떨어뜨리는 결과를 초래한다. 따라서 교차로의 진입교통량이 통과할 수 있을 만큼의 신호시간을 제공함으로써 교차로의 효율성을 높일 수 있다. 이러한 신호제어를 위해서는 매주기 교차로의 정확한 진입교통량 예측이 필수적이다. 본 연구에서는 예측교통량 추정을 통해 신호시간을 산정하고, 교차로에 적용함으로써 교차로의 신호운영의 효율성을 극대화 하고자 하였다.

### 2. 연구의 목적

본 연구는 주기변동신호제어(Cycle Free) 알고리즘을 구현을 통하여 교차로의 효율성을 극대화하고자 한다. Cycle Free의 성능을 극대화하기 위하여 교차로의 다음주기의 정확한 진입교통량 예측이 필수적이다. 교차로의 진입교통량 예측에 다양한 예측방법들이 적용되고 신호제어 알고리즘에 탑재되어가고 있지만, 대부분의 경우 예측진입교통량은 과거의 교통량 자료를 평활화하거나 동일하게 적용하여 신호시간을 산정하였다. 본 연구에서는 교차로 진입교통량을 예측할 수 있는 다양한 예측기법 가운데 시계열자료를 통한 예측의 정확성이 높은 칼만필터 예측기법을 주기변동기반 신호제어알고리즘을 개발하였다. 개발알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 실시간 시뮬레이션을 통해 신호제어 알고리즘을 평가하였다.

## II. 선행연구 고찰

### 1. 기존연구고찰

교차로의 신호시간 산정을 위해서는 교차로의 진입교통량을 예측을 통한 신호시간 산정이 필요하다. 교통대응신호인 우리나라의 COSMOS(Cycle Offset Split Model for Seoul), 영국의 SCOOT(Split Cycle and Offset Optimization Technique), 호주의 SCATS(Sydney Coordinated Adaptive Traffic System)등의 교통대응 신호에서는 신호주기 산정을 위하여 예측과정을 걸친다.

COSMOS에서는 주기산정을 위한 포화도예측시에 과거 5주

기 동안의 포화도를 가중 평균하여 예측포화도를 산정하여 신호주기 결정하였다. COSMOS의 교차로 적용을 통해 통행속도에서 23.7%가 증가하였고, 지체시간이 30.1%, 정지율 33.2%를 감소시키는 것으로 보고되었다.

임현철(2005)은 "차량군 분산모형을 적용한 주기변동기반 신호시간 결정모형 개발"에서 차량군분산모형을 적용하여 진입교통량을 예측하였다. 또한 이를 유전자알고리즘에 적용하여 최적화된 신호시간을 찾아 TOD전략과 비교 평가하였다. 수행결과 교차로의 지체를 10%정도 감소시키는 효과를 얻었다.

차세대무선통신기반 신호제어알고리즘(2006)에서는 다음주기의 신호주기를 예측하기 위하여 상류부의 검지기를 진입한 실적검지자료와 과거 1주기 동안의 진입패턴을 동일시하여 신호시간을 산정하였다. 최적화된 TOD 신호시간과 비교하여 Cycle Free의 알고리즘이 우수한 MOE가 도출되었고, 특히 교통량변동에 있어서 우수한 알고리즘으로 검증되었다.

기존연구고찰을 통한 진입교통량 예측 및 포화도 예측에서는 과거의 자료를 단순 가중치 부여를 통한 평활화한 자료를 사용하거나, 과거의 패턴자료를 동일하게 사용하는 것으로 고찰되었다. 따라서 본 연구에서는 다양한 교통량예측기법 가운데 Kalma Filter 기법을 적용하여 예측진입교통량 산정을 통하여 다음주기의 신호시간을 산정하여 최적화된 TOD 신호시간과 비교평가를 수행하고자 한다.

## 2. 기존이론고찰

UTCS(Urban Traffic Control System) 3세대 제어 소프트웨어는 완전감응 Online 교통제어 시스템으로서 실행되고 평가되기 위해 개발되었다. 3세대 소프트웨어는 각각의 주기마다 주기 길이가 달라지는 것을 허용하였다. 주기변동신호제어는 매주기 정확한 진입교통량 예측을 통해 다음주기의 신호시간 산정을 통해 교차로의 지체도 감소 및 통과교통량을 감소시키는 차세대 신호제어 알고리즘으로 평가받는다. 이러한 설계 접근법은 고정시간 또는 고정주기기반신호시간 계획을 가진 기존의 제어시스템과 3세대 제어가 갖는 차이점이다. Nathan H. Gartner에 따르면 각 신호제어전략을 다음의 3가지로 구분 정의하였다.

<표 1> 세대별 신호제어 알고리즘의 특징

특징	1 세대	2 세대	3 세대
최적화	off-line	on-line	on-line
변경빈도 (Frequency of update)	15분	5분	2.0~3.5분
시간계획의 수	40개까지 (7개가 사용됨)	제한 없음	제한 없음
교통예측		유	유
중요교차로 제어	분할비 조정 변동	분할비, 업셋 변동	분할비, 업셋, 주기변동
제어계층 구조	패턴선택	패턴선택	혼잡, 중간 교통흐름
주기길이 고정여부	각각의 구간내에서 고정	교차로의 변경 그룹내에서 고정	주기길이 변경

## III. 차세대 무선통신 기반의 Cycle Free 신호제어 알고리즘

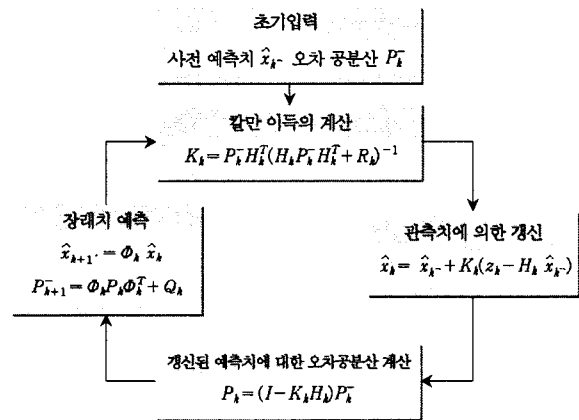
### 1. 진입교통량 예측

다음주기의 정확한 신호시간 산정을 위해서 다음주기의 정확한 진입교통량 예측이 필수적이다. 본 연구에서는 다음주기의 진입교통량 예측을 위하여 시계열 접근방법은 칼만필터링(Kalman Filtering) 기법을 적용하여 다음주기의 진입교통량을 예측하였다.

#### 1) 칼만필터링 예측기법

칼만필터링은 최근까지 개발된 제어이론 가운데 가장 탁월한 시계열 접근방법의 하나로 정상적이지만 불규칙성을 가지는 자료를 토대로 한 미래통행시간 예측에 좋은 효과를 보이는 예측기법이다.

칼만필터의 가정은 기본적으로 이산-선형시스템에서 상태변수를 추정하기 위해 만들어 졌다. 따라서 주어진 가정을 만족하지 않을 경우에는 적절한 과정을 통해 이산-선형의 형태로 수정하여 문제를 해결한다. 또한 칼만필터기법의 모형화에 필요한 것으로는 초기조건에 대한 정보와 시스템이나 센서로부터 들어가는 잡음을 정의하기 위한 시스템과 잡음 추정모형, 시스템의 동적상태에 대한 모형이 있다. 필터는 신호의 초기추정치와 오차의 공분산을 시작으로 하여 실시간에 얻을 수 있는 각 측정치를 이용하여 필터의 이전 추정치를 새로운 추정치로 갱신한다. 즉 실시간으로 측정된 새로운 측정 자료는 칼만필터의 추정치를 개선하는데 사용된다. 칼만필터의 예측과정은 아래의 그림과 같다.



<그림 1> 칼만필터 예측과정

칼만필터모형은 상태평균과 공분산을 계산하기 위한 알고리즘으로써 특정되어진다. 이러한 알고리즘을 구성하기 위해서는 먼저 다음과 같은 상태방정식(State Equation)과 관측방정식(Observation Equation)이 구성된다.

$$X_{k+1} = A_k X_k + w_k \quad \text{상태방정식}$$

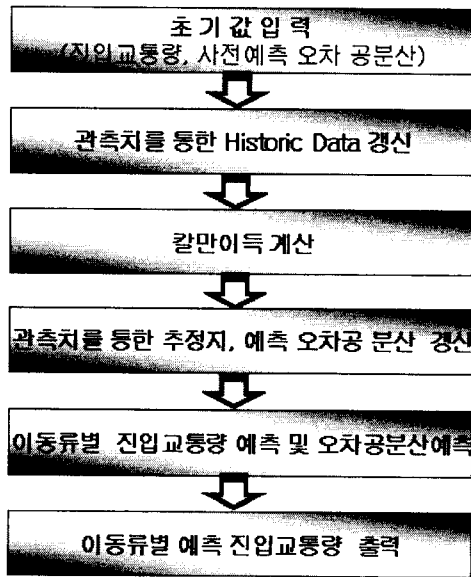
$$Z_{k+1} = H_k X_k + V_k \quad \text{관측방정식}$$

여기서,

- $X_k$  = 시점  $t_k$  에서의  $(n \times 1)$  상태벡터
- $A_k$  = 시점  $k$ 에서  $k+1$ 로의  $(n \times n)$  전이행렬
- $w_k$  = 알려진 공분산을 가진  $(n \times 1)$  백색순서(white sequence)로 구성인자의 평균이 0이고, 다른 변수와의 상관관계가 없는 벡터
- $Z_k$  = 시점  $t_k$  의  $(m \times 1)$  관측벡터
- $H_k$  = 시점  $t$ 에서 관측벡터와 상태벡터를 연결시켜주는  $(M \times n)$  벡터
- $V_k$  = 알려진 공분산을 가지고  $w_k$  와 상관관계가 없는  $(m \times 1)$  관측오차

## 2) Kalman Filter를 활용한 예측교통량 추정

본 연구에서는 다음주기의 진입교통량을 예측하기 위하여 칼만필터 절차를 따라 예측진입교통량을 산정하였다. 다음은 칼만필터 예측절차이다.



<그림 2> Kalman Filter를 활용한 진출교통량 예측

칼만필터링을 통한 진출교통량 예측은 다음과 같은 절차를 통해 산정하였다.

0단계) 초기값 설정 ( $x_i(-)$ ,  $p_i(-)$ )

예측시작시 사전 예측값이 없기 때문에 초기상태의  $x_i(-)$ = 과거 평균진출교통량,  $p_i(-)$ = 과거 진출교통량의 분산을 사용하였다.

1 단계) 관측오차계산 ( $R$ )

첫 주기에는 사전 예측값이 없기 때문에  $R=0$  두 번째 주기부터

$$R = (z_t - h \times x_i(-))^2$$

$z_t$  =  $t$ 시점의 관측값

$h$ =상태치를 관측치로 전이시키는 상태전이행렬

2 단계) 칼만이득 계산 ( $K$ )

$$K = (p_i(-) \times h) / (h^2 \times p_i(-) + R)$$

3 단계) 관측치에 의한 예측된 진출교통량 오차 갱신 ( $x_i(+)$ ,  $p_i(+)$ )

$$x_i(+) = x_i(-) + K \times (z_t - h \times x_i(-))$$

$$p_i(+) = (1 - k \times h) \times p_i(-)$$

4 단계) 상태 전이값 계산 ( $\phi$ )

첫 번째 주기는 이전 관측값이 없으므로  $\phi=1$

$$\phi = z_t / z_{t-1}$$

5 단계) 다음 주기에 예측 ( $x_{t+1}(-)$ ,  $p_{t+1}(-)$ )

$$x_{t+1}(-) = \phi \times x_i(+)$$

$$p_{t+1}(-) = \phi^2 \times p_i(+) + Q$$

여기서,

$$Q = (x_{t+1}(-) - \phi \times x_i(+))^2 \quad (1\text{주기후 상태오차})$$

예측치가 다음 주기의 사전 예측치가 됨

## 2. 검지기체계

1) 무선통신기반 신호제어를 위한 데이터 수집 및 전송 방식

기존의 신호제어 시스템에서 운영되고 있는 루프 검지기를 통한 차량의 검지방식은 제한된 영역 내에서만 차량검지가 가능할 뿐만 아니라 전차로를 대상으로 한 차량의 실시간 검지를 할 수 없었다. 최근의 무선통신 기술발달로 전차로 및 교차로의 제어영역에 들어오는 모든 차량을 대상으로 하는 실시간 차량추적 검지 방식이 가능하므로 이를 이용한 새로운 제어 전략을 수립하여 신호제어에 적용이 가능해졌다.

차량의 검지는 노변에 설치된 노변장치(Roadside Equipment, RSE)를 통해 차내 단말기와 무선통신으로 차량의 속도, 위치, 차종, 앞차와의 간격 등 실시간 교통류 및 차량 데이터를 송수신하고 이는 노변장치를 통해 지역제어기와 우선 혹은 무선통신으로 데이터가 전송 및 수신된다.

2) 무선통신기반 실시간 신호제어

기존 Loop 검지기를 통해 지역제어기로 전송되는 교통량 및 점유율 등 극히 제한적인 차량의 데이터를 새로운 방식의 무선 통신체계로 전환함으로써 차량의 속도, 위치, 차종, 교통량, 앞차와의 간격, 점유율 등 실시간 차량의 추적데이터와 교차로

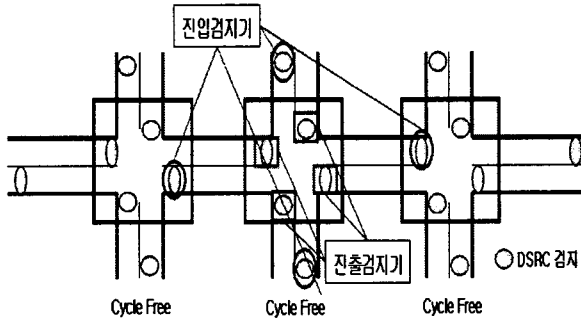
내의 교통류의 특성이 수집·전송됨에 따라 새로운 무선통신 기반 제어알고리즘의 개발을 통해 차세대 신호제어 전략을 제시한다.

특히 여기에는 교차로내의 특정 구간(예를 들어, 교차로 진입구간)에서의 차량의 실시간 통행시간 및 속도변화에 따라 교차로 전체의 개별차량 통행시간 균등배분(Equity)을 기반으로 신호시간을 배분하여 개별차량에 배정하도록 신호제어 알고리즘을 개발 적용하고자 한다.

<표 2> 검지 및 가공데이터의 종류

구분	수집데이터	가공데이터
개별차량	-속도 -가·감속도 -위치 -차간격(차두시간) -차종	-차량주행궤도 -차량추종변수
군집차량	-교통량 -점유율 -대기길이	-평균통행속도 -주행시간 -지체도 -밀도 -충격파

본 연구에서는 개별차량이 ID 추적을 통한 차량의 링크주행시간을 측정하였고, 교차로의 진입·진출교통량을 검지하여 이를 신호제어 알고리즘에 이용하였다.



<그림 3> 신호제어를 위한 검지기 위치

본 연구에서 신호제어를 위한 검지기 체계는 다음과 같다. Cycle Free 알고리즘 구현을 위하여 진입부의 검지기와 교차로 진출부에 검지기가 설치되어야 한다.

### 3. 신호주기 결정

#### 1) 신호주기 결정

본 연구에서 대상교차로의 신호시간은 Webster의 최적신호시간 산정방법을 이용하여 교차로의 신호주기를 산정하였다. 신호주기 산정식은 은 다음의 식 1과 같고, 그림과 절차를 통하여 산정되어 진다. 연구에서 신호주기가 과도하게 작거나 너무 커지는 것을 방지하기 위하여 최소주기를 50초, 최대주기를 200초로 설정하여 적용하였다.

$$C_o = \frac{1.5L+5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i}$$

여기서,

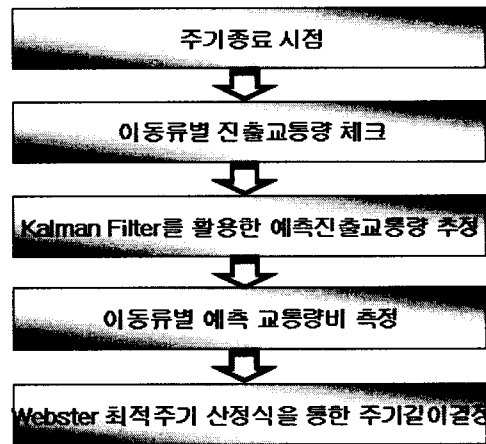
$C_o$  : 지체를 최소로 하는 최적주기(초)

$L$  : 주기당 총 손실시간

$y_i$  :  $i$ 현시 때 임계차로군의 교통량비

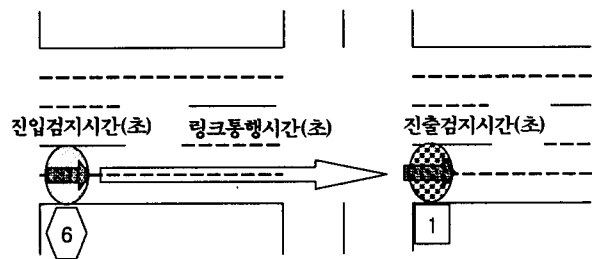
### 4. 신호현시 결정

본 연구에서 이동류별 신호현시 배분은 이동류의 차량당 평균지체를 기준으로 하여 Green Time을 할당하였다. 따라서 지체가 큰 이동류에 신호시간을 많이 할당함으로써 이동류별 지체가 크기에 비례하여 녹색시간을 많이 할당함으로써 이동류별 지체가 동일한 수준으로 교차로가 운영되도록 설계하였다.



<그림 4> 신호주기 결정 절차

#### 1) 진입·진출검지기를 활용한 개별차량의 링크통행시간 측정



<그림 5> 개별차량의 링크통행시간 측정

동일한 차량의 ID를 부여받은 차량의 진입검지기 통과시간(초)과 진출검지기 통과시간(초)을 측정하여 개별차량의 링크통행시간을 측정하였다. 개별차량  $i$ 의 통행시간(초)은 아래와 같이 차량의 진출검지시간(초)과 진입검지시간(초)의 차이로 나타낸다.

$$TravelTime[i] = 진출검지시간[i] - 진입검지시간[i]$$

#### 2) 개별차량의 지체측정

본 연구에서 개별차량의 지체를 이용하여 현시분할에 적용하기 위하여 이동류별 순행지체를 산정하여 알고리즘에 적용하였다. 순행지체는 차량의 주변의 교통조건이나 운영조건에 영향을 받지 않고 도로조건에 의해서만 영향을 받는 자유속도(Freeflow Speed)로 주행한 시간과 실제통행시간과의 차이로 정의된다. 차량 i의 순행지체는 다음과 같이 산정하였다.

$$\text{순행지체}[i] = \text{TravelTime}[i] - \text{자유통행시간(초)}$$

$$\text{자유통행시간(초)} = \frac{\text{LinkLength}(m)}{\text{freeflowspeed}(m/s)}$$

### 3) 이동류별 교통량비 추정

알고리즘에 적용하기 위하여 개별차량의 지체를 이동류별로 합산하여 이를 KHCM(Korean Highway Capacity Manual : 한국도로용량편람)에서 제공하는 지체식에 대입하여 포화도(X) 및 교통량비(flow ratio : v/s)를 산정하여 신호제어 알고리즘에 적용하였다. 추정된 교통량비를 이용하여 주기분할에 이용하였으며 KHCM의 지체식 및 이를 이용한 포화도 및 교통량비(v/s) 산출식은 아래와 같다.

$$D_i = \frac{0.5C(1 - \frac{g_i}{C})^2}{1 - [\min(1, X) \frac{g_i}{C}]}$$

$$y_i = \min(1, X) \frac{g_i}{C} = \{1 - 0.5 * C(1 - \frac{g_i}{C})\}^3 / D_i$$

$$X_i = y_i * \frac{C}{g}$$

여기서,

$D_i$  = 이동류 i의 차량당 평균실측지체(초/대)

C = 주기(초)

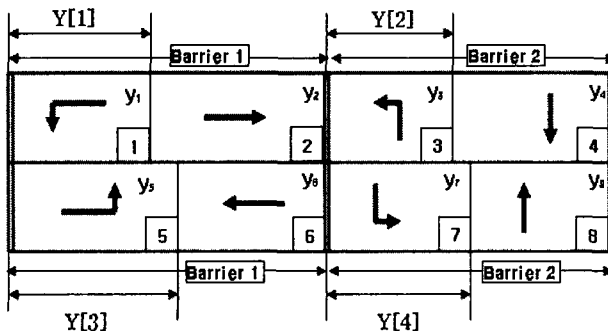
g = 해당 이동류에 할당된 유효녹색시간(초)

$X_i$  = 해당차로군의 포화도

$y_i$  = 교통량비(v/s)

### 4) 현시비율 및 Barrier 결정

이동류별 지체를 기준으로 지체가 큰 이동류에 많은 녹색시간을 제공하여 차량의 흐름을 원활히 하여 교차로 전체의 효율성을 높이고자 하였다.



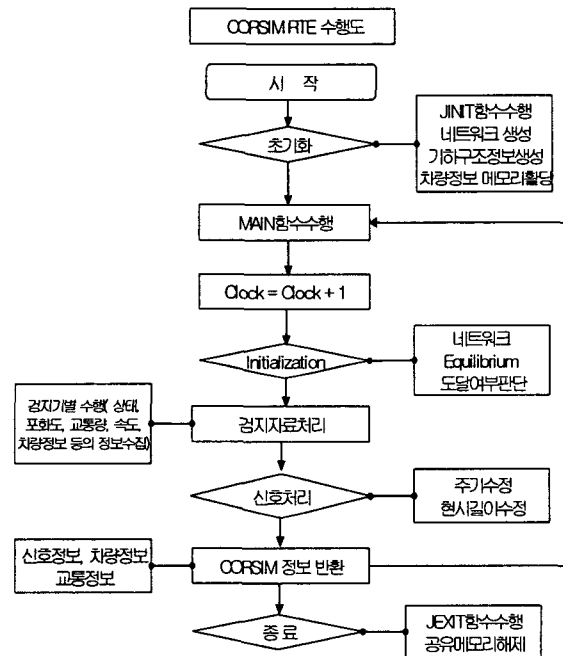
<그림 6> Dual Ring현시에서 현시비율

본 연구에서는 Barrier 및 각 이동류별 현시가 어느 한 방향으로 집중되는 것을 방지하기 위하여 최소 최대의 범위를 지정하여 보정하였다. 본 연구에서는 Min Barrier는 0.3, Max Barrier는 0.7로 설정하였고, Green Time은 회전이동류의 Min\_G은 10초, 직진 이동류의 Min\_G은 15로 설정하였다.

## IV. 모형의 적용

### 1. 평가 방법론

검증되지 않은 새로운 신호제어방식을 실제 도로망에 적용하면 교통상황을 악화시킬 위험이 있고, 필요한 장비를 설치하는데 상당한 비용이 소요되므로 현장실험을 통한 평가는 현실적으로 많은 어려움이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 교통분야에 상용화되어 이용되는 시뮬레이션을 활용하여 개발알고리즘을 평가하고자 한다. 본 연구의 평가에 이용할 시뮬레이터는 FHWA에서 개발한 CORSIM을 사용하여 평가하였다. 시뮬레이터의 내부모듈인 RTE를 활용하여 실시간 교차로의 운영상태를 확인할 수 있는 장점을 가지고 있다. 개발알고리즘의 평가의 활용된 CORSIM RTE의 수행절차는 아래의 그림과 같다.



<그림 7> RTE의 모듈의 수행 절차

### 2. 모의네트워크 및 상황 설정

#### 1) 기하구조

평가대상 네트워크는 4지교차로 5개로 구성된 Open 형태의 모의실험 네트워크를 구성하였다. 각 교차로간 거리는 300m로 설정하였다. 모든 링크의 차선은 2개의 직진차로와 1개의 좌회전차로로 구성하였다.

**2) 신호체계 및 검지 체계**

모든 교차로의 신호체계는 Dual Ring 현시체계를 따르는 주기변동기반 신호제어 알고리즘으로 운영된다. 교차로의 최소주기는 50초, 최대주기는 200초의 신호주기 범위 내에서 운영된다. 검지기는 진입부와 진출부에 DSRC 검지기가 설치되었다. 신호제어에 필요한 개별차량의 정보는 모두 수집가능하게 모의실험을 구성하였다. 모든 자료를 수집 가능하도록 모의 네트워크를 설계하였다.

**3) 차량**

네트워크에 존재하는 모든 차량의 DSRC 검지기와 통신할 수 있는 OBE를 장착하고 있는 차량으로 가정하였고, 분석의 편의성을 위하여 모든 차량은 승용차를 적용하여 분석하였다.

**4) 모의상황**

모의실험을 위한 교통상황은 우선적으로 교통수준이 비포화, 근포화, 과포화 상황을 설정하여 TOD신호전략과 비교평가하였다.

**3. 시나리오설정**

**1) 비교대상 운영체계**

본 연구에서 개발된 신호제어 알고리즘의 평가는 TRANSYT-7F로 이용하여 최적화된 신호시간을 적용한 TOD 전략과 비교 평가하였다.

<표 2> TOD 신호시간

구 분	현시							
	1	2	3	4	5	6	7	8
포화도 0.6	9(3)	15(3)	9(3)	15(3)	9(3)	15(3)	9(3)	15(3)
포화도 0.8	13(3)	21(3)	13(3)	21(3)	13(3)	21(3)	13(3)	21(3)
포화도 1.0	31(3)	53(3)	31(3)	53(3)	31(3)	53(3)	31(3)	53(3)

주) ()는 황색시간임

**2) 교차로 평가 MOE**

본 연구에서는 Kalman Filter를 활용하여 교차로의 진출교통량을 예측하였다. 따라서 예측교통량의 정확도가 알고리즘의 성능을 좌우한다. 그러므로 실제진입교통량과 예측진입교통량을 비교를 통하여 예측기법의 정확성을 평가하고자 하였다. 또한 개발알고리즘의 교차로의 운영의 효율성을 측정하기 위하여 다음의 MOE를 기준으로 교차로 운영 상태를 평가하였다.

- 이동류별 지체
- 이동류별 속도
- 이동류별 차량 정지 수
- 교차로 통과차량 수

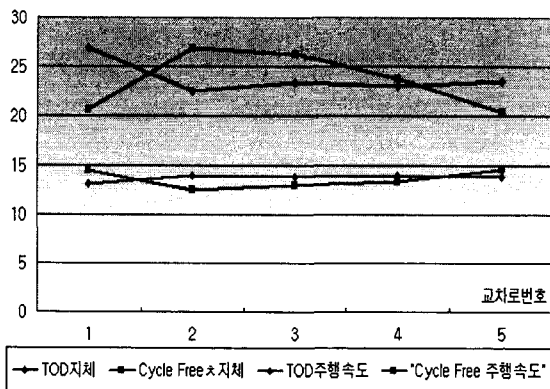
## V. 평가 결과 분석

### 1. 시나리오에 따른 평가결과

#### 1) 비포화 교통상황 (v/c = 0.6)

구분		비포화 교통상황 V/C 0.6								
		TOD			Cycle_Free			변화율(%)		
교차로	접근로	지체도	통과교통량	주행속도	지체도	통과교통량	주행속도	지체도 변화율	통과교통량 변화율	주행속도 변화율
1	동쪽	28.5	740	11.8	19.5	800	14.5	31.58	-8.11	-22.88
	서쪽	41	768	9.6	27.8	784	12	32.20	-2.08	-25.00
	남쪽	19.7	800	15.1	19	792	15.3	3.55	1.00	-1.32
	북쪽	18.6	800	15.6	16.6	808	16.2	10.75	-1.00	-3.85
2	동쪽	27.1	740	12.3	30.9	784	11.3	-14.02	-5.95	8.13
	서쪽	25.7	756	12.4	27.1	792	11.6	-5.45	-4.76	6.45
	남쪽	19.7	788	15.2	26.4	808	12.8	-34.01	-2.54	15.79
	북쪽	17.8	788	15.9	23	796	13.9	-29.21	-1.02	12.58
3	동쪽	27.3	760	12.1	33.5	816	11	-22.71	-7.37	9.09
	서쪽	21	784	14.5	25.7	816	13	-22.38	-4.08	10.34
	남쪽	23.3	792	14.1	21.5	796	14.3	7.73	-0.51	-1.42
	북쪽	22	796	14.4	24.6	784	13.6	-11.82	1.51	5.56
4	동쪽	26.6	776	12.5	28.1	816	11.7	-5.64	-5.15	6.40
	서쪽	26.8	660	12.2	24.1	684	13	10.07	-3.64	-6.56
	남쪽	18.3	788	15.8	21.7	792	14.3	-18.58	-0.51	9.49
	북쪽	20.3	784	15.1	21.4	788	14.4	-5.42	-0.51	4.64
5	동쪽	21.5	788	14.6	20.8	808	14.7	3.26	-2.54	-0.68
	서쪽	30.8	756	11.6	20.3	800	14.1	34.09	-5.82	-21.55
	남쪽	20.7	800	14.6	18.9	808	15.1	8.70	-1.00	-3.42
	북쪽	21.3	800	14.5	21.5	804	14.3	-0.94	-0.50	1.38
평균		23.9	773.2	13.695	23.62	793.8	13.555	1.17	-2.66	1.02

MOE 비교(TOD vs Cycle Free)



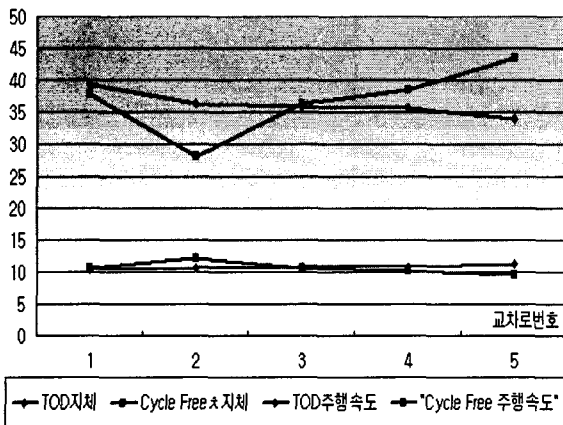
비 포화 교통상황의 경우 TOD전략과 Cycle Free 전략의 MOE를 비교 평가한 결과 두 알고리즘이 비슷한 MOE 수준을 보이는 것으로 분석되었다. TOD의 경우 교차로간 연속진행을 통하여 동쪽 방향의 MOE가 Cycle Free에 비하여 우수한 결과 값을 도출하였다.

<그림 9> 비 포화상황 MOE 비교

2) 근포화 교통상황 (v/c = 0.8)

구분		근포화 교통상황 V/C 0.8								
		TOD			Cycle_Free			변화율(%)		
교차로	접근로	지체도	통과 교통량	주행속도	지체도	통과 교통량	주행속도	지체도 변화율	통과교통량 변화율	주행속도 변화율
1	EAST	49.6	968	8.4	51.7	912	8.3	-4.23	5.79	1.19
	WEST	53.6	932	7.9	41	928	9.5	23.51	0.43	-20.25
	SOUTH	25.9	972	13.2	28.6	1020	12.3	-10.42	-4.94	6.82
	NORTH	28.7	980	12.5	29.9	1008	12.2	-4.18	-2.86	2.40
2	EAST	42.9	964	9.4	30	964	11.8	30.07	0.00	-25.53
	WEST	43.6	996	9	30.4	984	10.9	30.28	1.20	-21.11
	SOUTH	30.6	992	11.8	25.7	1008	13	16.01	-1.61	-10.17
	NORTH	28.4	984	12.5	25.7	984	13.2	9.51	0.00	-5.60
3	EAST	42.5	980	9.4	41.4	936	9.6	2.59	4.49	-2.13
	WEST	34.4	1044	11.1	36.9	1012	10.5	-7.27	3.07	5.41
	SOUTH	32.4	992	11.5	33.1	1036	11.3	-2.16	-4.44	1.74
	NORTH	34.4	988	11.1	34	1016	11.3	1.16	-2.83	-1.80
4	EAST	47.4	996	8.6	49.2	988	8.6	-3.80	0.80	0.00
	WEST	41	808	9.5	35.2	808	10.3	14.15	0.00	-8.42
	SOUTH	25.9	976	13.1	33.2	1008	11.3	-28.19	-3.28	13.74
	NORTH	27.9	972	12.6	35.9	1020	10.9	-28.67	-4.94	13.49
5	EAST	26.3	1040	13	48.6	976	8.9	-84.79	6.15	31.54
	WEST	45.4	932	8.9	41.4	908	9.5	8.81	2.58	-6.74
	SOUTH	30	992	11.9	33.1	1008	11.3	-10.33	-1.61	5.04
	NORTH	33.6	980	11.3	50.9	1000	8.6	-51.49	-2.04	23.89
네트워크		36.225	974.4	10.835	36.795	976.2	10.665	-1.57	-0.18	1.57

MOE 비교(TOD vs Cycle Free)



근포화(v/c : 0.8) 교통상황의 경우 TOD전략과 Cycle Free 전략의 MOE를 비교 평가한 결과 두 알고리즘이 비슷한 MOE 수준을 보이는 것으로 분석되었다. TOD의 경우 교차로간 연속진행을 통하여 동쪽방향의 MOE가 Cycle Free에 비하여 우수한 결과값을 도출하였다.

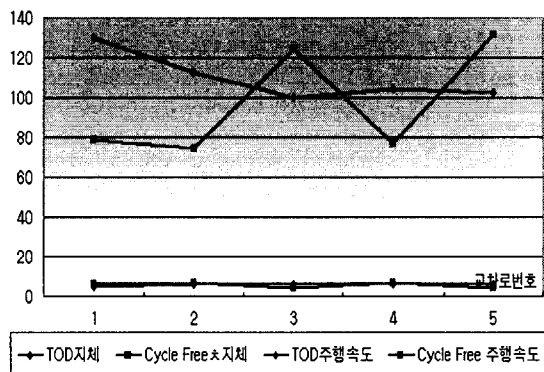
<그림 10> 근포화상황 MOE 비교



3) 과포화 교통상황 (v/c = 1.0)

구분		과포화 교통상황 V/C 1.0								
		TOD			Cycle_Free			변화율(%)		
교차로	접근로	지체도	통과 교통량	주행속도	지체도	통과 교통량	주행속도	지체도 변화율	통과교통량 변화율	주행속도 변화율
1	EAST	95.2	840	5.4	63.7	1036	7.4	33.09	23.33	37.04
	WEST	157.6	808	4.6	72.3	1032	6.4	54.12	27.72	39.13
	SOUTH	136.9	1264	4.6	78.3	1300	6.4	42.80	2.85	39.13
	NORTH	128.2	1224	5.3	101.5	1248	5.1	20.83	1.96	-3.77
2	EAST	41.6	872	9.9	45.2	1076	9	-8.65	23.39	-9.09
	WEST	128.9	1052	4.3	50.1	1196	8.3	61.13	13.69	93.02
	SOUTH	154.3	1232	4.2	79.5	1364	6.1	48.48	10.71	45.24
	NORTH	126.9	1264	4.7	123.3	1156	4.4	2.84	-8.54	-6.38
3	EAST	62.1	800	9	106.3	940	4.8	-71.18	17.50	-46.67
	WEST	106.6	1320	5.8	107	1224	5.1	-0.38	-7.27	-12.07
	SOUTH	116.3	1312	5	144.7	1224	3.7	-24.42	-6.71	-26.00
	NORTH	114.2	1316	4.9	138.2	1180	4	-21.02	-10.33	-18.37
4	EAST	128.5	1108	4.3	48.1	1128	8.3	62.57	1.81	93.02
	WEST	36.1	772	11.1	51.5	952	8	-42.66	23.32	-27.93
	SOUTH	131.4	1264	4.8	108	1236	4.9	17.81	-2.22	2.08
	NORTH	120.9	1264	4.8	99.6	1264	5.3	17.62	0.00	10.42
5	EAST	116.2	1332	5.3	167.8	1048	3.5	-44.41	-21.32	-33.96
	WEST	43.3	940	9.8	85.3	984	6.1	-97.00	4.68	-37.76
	SOUTH	126	1256	4.8	155.6	1148	3.4	-23.49	-8.60	-29.17
	NORTH	125	1208	5.3	116.6	1252	4.7	6.72	3.64	-11.32
네트워크		109.81	1122.4	5.895	97.13	1149.4	5.745	11.55	2.41	-2.54

MOE 비교(TOD vs Cycle Free)



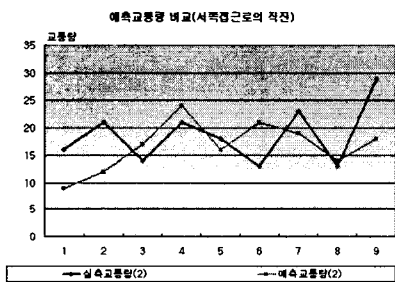
과포화(v/c : 1.0) 교통상황의 경우 Cycle Free 전략이 TOD 전략의 MOE를 비교 평가한 결과 Cycle Free 알고리즘이 교차로의 지체에 효과적인 알고리즘인 것으로 분석되었다. Cycle Free의 경우 1번 교차로에서 TOD와 비교하여 지체를 30%정도 감소시키는 것으로 분석되었다. 그러나 모의 네트워크의 맨 외측교차로의 지체는 증가하는 것으로 분석되었다.

<그림 11> 과포화상황 MOE 비교

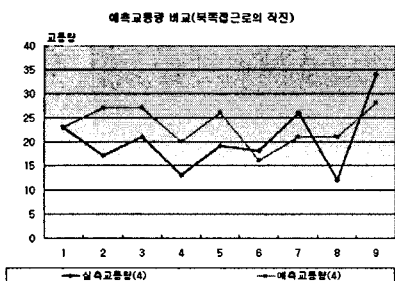
## 2. 진입교통량 예측 결과

### 1) 예측교통량과 실적교통량 비교

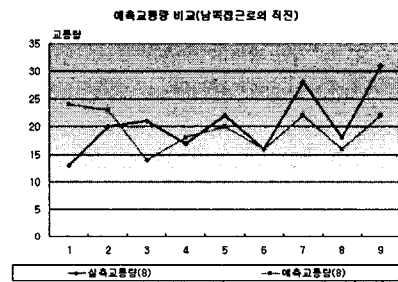
현시	예측치	실측치	오차	현시	예측치	실측치	오차	현시	예측치	실측치	오차
1	2	3	-1	1	3	2	1	1	2	1	1
2	9	16	-7	2	24	21	3	2	19	23	-4
3	9	6	3	3	1	6	-5	3	1	3	-2
4	23	23	0	4	20	13	7	4	21	26	-5
5	1	1	0	5	1	3	-2	5	1	3	-2
6	21	17	4	6	19	20	-1	6	18	28	-10
7	6	9	-3	7	2	1	1	7	2	7	-5
8	24	13	11	8	18	17	1	8	22	28	-6
1	2	11	-9	1	1	4	-3	1	3	1	2
2	12	21	-9	2	16	18	-2	2	14	13	1
3	4	1	3	3	1	3	-2	3	2	4	-2
4	27	17	10	4	26	19	7	4	21	12	9
5	1	1	0	5	1	1	0	5	2	3	-1
6	21	18	3	6	14	19	-5	6	13	14	-1
7	1	7	-6	7	2	5	-3	7	3	7	-4
8	23	20	3	8	20	22	-2	8	16	18	-2
1	2	3	-1	1	1	5	-4	1	1	1	0
2	17	14	3	2	21	13	8	2	18	29	-11
3	6	7	-1	3	2	6	-4	3	1	6	-5
4	27	21	6	4	16	18	-2	4	28	34	-6
5	1	1	0	5	2	3	-1	5	2	3	-1
6	17	13	4	6	18	14	4	6	18	35	-17
7	2	6	-4	7	1	9	-8	7	3	3	0
8	14	21	-7	8	16	16	0	8	22	31	-9



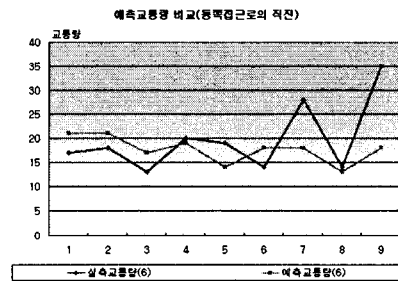
<그림 12> 교통량 비교(서쪽 직진)



<그림 13> 교통량 비교(북쪽 직진)



<그림 14> 교통량 비교(동쪽 직진)



<그림 15> 교통량 비교(남쪽 직진)

예측교통량과 실적교통량의 차이는 신호주기의 변동에 의해서 예측교통량과의 차이가 발생하는 것으로 분석되었다. 특히 좌회전의 진출교통량 예측은 신호시간의 변동이 크게 발생함에 따라 직진과 비교하여 예측교통량의 오차가 큰 것으로 분석되었다. 반면 직진교통량의 예측오차는 회진교통량과 비교하여 상대적으로 크지 않은 것으로 분석되었다.

### 5) 분석결과

본 연구에서는 다음주기의 정확한 신호시간 산정을 위하여 예측기법은 Kalman Filter 예측을 통하여 진입교통량을 추정하였다.

<표 2> 시나리오별 MOE 비교

구분		지체도	교통량	속도
v/c 0.6	TOD	23.9	773.2	13.695
	Cycle Free	23.62	793.8	13.555
	변화율	1.17	-2.66	1.02
v/c 0.8	TOD	36.225	974.4	10.835
	Cycle Free	36.795	976.2	10.665
	변화율	-1.57	-0.18	1.57
v/c 1.0	TOD	109.81	1122.4	5.895
	Cycle Free	97.13	1149.4	5.745
	변화율	11.55	2.41	-2.54

개발 알고리즘의 효율성은 교통량이 비포화인 수준보다는 과포화상황에서 효율성이 높은 것으로 분석되었다. 예측교통량과 실제교통량의 비교는 교통량의 차이는 크게 분석되지는 않았지만 회전교통량 예측부분에서 녹색시간의 변화에 따라 변동폭이 큰 것으로 분석되었다.

## VI. 결론 및 향후과제

### 1. 결론 및 향후연구과제

본 연구에서는 다음주기의 진입교통량을 예측하기 위하여 시계열 예측기법은 Kalman Filter 기법을 주기변동기반 신호 제어 알고리즘에 적용하여 신호시간을 산정하였다. 본 연구결과 Kalman Filter는 정상적이지만 불규칙성을 가지는 자료를 토대로 한 예측에 좋은 결과 값을 제공하는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서 개발된 모형을 평가하기 위해서 CORSIM RTE를 이용하여 정주기식신호(TOD)와 비교 평가하였고, 평가항목으로는 제어지체, 통과차량대수, 평균통행속도를 사용하였다.

평가결과, 일정한 포화도로 시뮬레이션 시간동안 교통량이 진입한 경우 주기변동기반 신호제어 알고리즘과 정주기식 신호제어가 비교적 비슷한 MOE수준은 나타냈으며, 포화도가 증가할수록 주기변동기반 신호제어알고리즘의 효과가 큰 것으로 분석되었다.

그리고 시뮬레이션 시간동안 실제 현장상황에서와 같이 교통량이나 회전비율의 변화가 발생한 경우, 또한 그 변동 폭이 큰 경우 주기변동기반신호제어가 정주기식 신호제어 보다 효율적인 것으로 나타났다. 특히, 대상교차로의 교통상황이 과포화인 경우 이동류별 지체도가 비슷한 수준으로 현시분할이 이루어져 모형의 효율성이 보다 높게 나타나는 것으로 분석되

었다.

본 연구에서는 진입교통량을 예측하기 위하여 Kalman Filter 기법만을 적용하여 분석하였는데, 향후 퍼지모형, 뉴럴 퍼지 모형 등의 타 예측기법의 적용을 통한 분석이 필요할 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서는 주기변동 기반제어를 위한 교차로간 연속진행이 확보되지 않아 향후 교차로간 연속진행이 가능한 시스템이 구축되어야 한다.

## 참고문헌

1. 임현철, "차량군 분산모형을 적용한 주기변동기반 신호시간 결정모형 개발", 서울대학교 석사학위 논문, 2005
2. 김영찬, 유충식, 「네트워크형 가로망의 교통신호 최적화 모형개발」, 대한교통학회지 제 18권 제 1호, pp 87-97
3. 이영인, 최완석, "유전자 알고리즘을 이용한 이중목적 주기변동 신호시간 결정모형 개발", 대한교통학회지 제 20권 제 5호, pp81-91
4. 서울특별시, 신호시스템 검증, 평가, 2003
5. 이영인, 「교통대응신호시스템의 효율성 평가」 대한교통학회지 제 13권 제 1호, pp 5-33
6. 진강규, 「유전자알고리즘과 그 응용」, 교우사 1998
7. 문병로, 「유전자알고리즘」, 두양사, 2003
8. 오성권, 「프로그래밍에 의한 컴퓨터 지능」, 내하출판사, 2002
9. 건설교통부, 「차세대무선통신 신호제어시스템 개발1차년도 연구보고서」, 2003
10. 건설교통부, 「차세대무선통신 신호제어시스템 개발 2차년도 연구보고서」, 2004
11. Park B. K., "Development of Genetic Algorithm-Based Signal Optimization Program for Oversaturated Intersection", Texas A&M University, 1998
12. Nathan H. Gartner, Chronis Stamatiadis, and philip J. tarnoff, "Development of Advaced traffic Signal Control Strategies for intelligent Transportation Systems : Multilevel Design" TRR 1494. 1995
13. Transyt-7F Guide United state version, University of Florida, 1998
14. FHWA, CORSIM RTE User Guide, 2001
15. FHWA, CORSIM Reference Manual, 2001
16. PRENTIC HALL, TRAFFIC ENGINEERING 3th edition, 2005