

# 과포화 시 대기행렬길이 균형을 통한 교통신호제어 전략수립

## Development of Traffic Signal Control Strategy by Balancing Queue Lengths for Oversaturated Traffic Condition

김 홍 진\*      김 영 찬\*\*      김 정 현\*\*\*  
(Kim, Hong Jin)      (Kim, Youngchan)      (Kim, Jeong Hyun)

### 요 약

기존의 신신호 시스템에서 문제점으로 지적되고 있는 과포화 상태에서의 신호제어전략을 개선할 수 있는 방안으로서, 기존의 포화도를 기준으로 한 방식이 아닌 대기행렬의 길이를 균형화 하는 방식을 개발하였다. 이 방식은 대기행렬의 길이를 각 방향별로 동일하게 유지하면서 전체적인 대기행렬의 길이를 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다. 또한 이 방식을 신호주기 산출 및 현시분할에도 적용하는 방법을 개발하였다. 이 방식은 기존의 방식과 비교하여 거시적으로는 대기행렬의 길이를 감소시키고 동시에 미시적으로는 차량의 평균지체를 감소시키는 효과를 나타내었다.

### Abstract

It is recognized that one of the problems for the current "Traffic Adaptive Control System in Seoul" is the performance at the oversaturated condition. Instead of "Degree of Saturation" adopted in the current system, the methodology of balancing the queue length was developed and evaluated in this study. This method keeps the balance of queue lengths on the intersections and reduces the overall queue lengths. In addition, a traffic signal control model was developed based on the method. This model can reduce not only the queue lengths but also the average delay of vehicles according to the macroscopic and microscopic evaluations.

**Key Word** : 신신호 시스템, 과포화 상태, 대기행렬, 대기행렬 균형화, 신호주기

## I. 서 론

현재 서울시에서는 강남구 일대를 중심으로 도시 간선도로에 첨단 교통신호체계(이하 신신호 시스템)를 운영하고 있다. 이 사업은 1991년부터 서울시 경

찰청을 주제로 하여 현재까지 성공적으로 운영되고 있는 것으로 평가되고 있다. 신신호 시스템은 다른 전자신호시스템에 비하여 시스템의 기능 및 제어기법 등에서 상대적으로 우수한 성과를 보여주었다. 신신호 시스템은 포화도(Degree of Saturation ; DS)에

\* 회 원 : 한국도로공사

\*\* 회 원 : 서울시립대학교 교통공학과 교수

\*\*\* 비회원 : 한양대학교 토목환경공학과 연구교수

† 논문접수일 : 2003년 6월 17일

따라 제어전략을 달리하고 있다. 교차로의 기하구조 및 운전행태에 따라 포화도는 다양한 값을 나타내지만 이에 따라 적절한 제어전략을 가지고 신호체계를 운영하는 데에는 한계가 있다. 특히 교통상황이 과포화 상태를 나타내는 경우에는 이론적으로 포화도가 1.0을 넘을 수 없다는 한계로 인하여 교통신호를 과포화 상태에 적합하게 운영할 수 없는 문제점을 가지고 있다.

이러한 단점을 보완하기 위하여서는 과포화시 나타나는 대기행렬의 길이를 적절하게 조절함으로써 신호운영을 효율화하는 방안이 적절한 대안이 될 수 있다. 단순히 대기행렬의 길이를 감소시킨다는 의미가 아니고, 서로 다른 방향의 이동류에 대해서 동일한 대기행렬 길이를 유지함으로써 운전자가 느끼는 지체를 동일하게 하여 주는 것이다.

본 연구는 교통상황이 과포화 상태를 나타내는 경우 또는 각 방향별 교통혼잡상황이 상이한 경우 등 다양한 교통환경에 대한 신호제어전략을 수립함에 있어서, 대기행렬의 길이를 이용하여 동일한 지체를 가질 수 있는 방안을 제시하고자 한다. 또한 대기행렬길이를 이용한 신호제어 전략을 개발함으로써, 궁극적으로는 교차로의 지체를 최소화하고 과포화상태를 반영하는 신호제어전략을 개발하고자 한다.

## II. 관련 연구의 검토

### 1. 신신호 시스템의 제어방안

기존의 신신호 시스템은 정지선의 루프검지기에 서 수집한 포화도(DS)를 기반으로 신호제어를 실시한다. 일반적으로 포화도는 교통량과 용량의 비로서 정의되나, 우리나라의 신신호 시스템에서는 호주의 SCATS의 방식과 유사하게 녹색시간 이용률의 개념에서 다음의 식을 이용하여 접근한다.[1,2]

$$DS = \frac{G - (\sum SPACE - N \times t)}{G}$$

여기서,

DS = 포화도

G = 녹색시간 (초)

$\sum$ SPACE = 비점유시간의 합 (초)

N = 비점유시간의 수 (대)

t = 포화 비점유시간 (초)

주기는 최대포화도를 이용하여 결정하며, 현시별 포화도의 비율에 따라 신호를 분할하게 된다.

이러한 접근방식은 포화도가 1.0을 초과하는 과포화상태를 반영할 수 없는 한계를 가지게 된다.

### 2. 일본(STREAM)의 과포화제어방안

일본의 동경등에서 적용되고 있는 STREAM의 신호제어는 Load Ratio( $\rho$ )를 기반으로 신호시간 계산한다.[6,7] Load ratio는 과포화 시 대기행렬 길이를 반영하고 있다는 점에서 신신호 시스템과는 차별성을 갖는다.

$$\rho = \frac{Q_{IN} + r \cdot k \cdot E}{S}$$

여기서,

$\rho$  = Load Ratio

QIN = 유입량 (대/2.5분)

r = Usage Ratio, 앞막힘 현상 발생시 사용 (=0.5)

k = Usage Ratio, 대기길이 사용 분 조정시 사용 (=0.25)

$$E = \frac{\text{Congestion Length}}{\text{Average Space Headway}(=10m)}$$

S = 포화교통류율 (대/시)

Load Ratio가 현시분할의 가장 큰 변수가 되므로 신신호 시스템보다는 단순하며, 운영자의 판단에 따라 가중치를 부여할 수 있다는 점이 장점일 수 있으나, 현장적용을 위하여서는 기술적인 보완이나 수정이 필요한 것으로 판단된다.

### 3. 신신호 시스템의 과포화제어 방안

과포화도 계산식에서 포화도가 1.0 이하인 경우

에는 대기행렬의 길이(Queue Length)가 정확하게 산출되지 않으므로, 비포화시에는 제어변수로 포화도를 사용하고 과포화시에만 대기행렬의 길이를 사용한다.[3]

$$CDS_i(t) = \alpha \times DS_i(t) \frac{G_i(t)}{C_{current}(t)} + (1 - \alpha) \times \frac{\frac{Queue\ Length_i(t)}{Space\ Headway_i} \times \frac{3600}{C_{current}(t)}}{SatFlow_i}$$

여기서,

CDS = 과포화도

$\alpha = 1$  (DSi(t) ≤ 1인 경우), 또는 사전입력수치 0 (이외의 경우)

따라서 실질적인 신호제어변수는 포화도와 대기행렬의 길이가 된다.

#### 4. 대기행렬을 고려한 신호전략

이철기의 연구에서는 신호제어단계를 비포화, 과포화, 앞막힘 제어로 구분하고, 포화도가 아닌 대기행렬을 신호분할의 변수로 적용하였다. 대기행렬의 자료는 영상검지기를 사용하여 추출하였다. 그 결과 고정식 주기식 신호(TOD)에 비하여 지체는 20.5% 감소하였으며, 처리 교통량은 4.9% 증가한 것으로 나타났다[4].

### Ⅲ. 대기행렬길이의 균형화

#### 1. 기본 가정 및 조건

대기행렬의 길이를 균형화 하기 위한 방법론을 개발함에 있어서는 다음과 같은 가정과 조건을 전제로 하였다.

첫째로 검지기를 통하여 측정되는 대기행렬의 길이는 정확한 것으로 간주한다. 또한 유입과 유출 교통량도 정확하게 측정되는 것을 전제로 하고 있다. 그리고 녹색시간 동안 교통류는 포화상태로 방출이 되는 것으로 가정하였다.

다음으로는 차량 한 대 당 평균적으로 나타나는 대기차량의 길이를 가정하여야 한다. 일본의 경우, 평균 공간 차두간격을 10m/veh로 하고 있으며, 우리나라 신신호 시스템에서는 6.3m를 적용하고 있다. 본 연구에서는 신호제어모형을 개발하는 것에 초점을 두고 있으므로, 계산상의 편의등을 고려하여 6m/대를 적용하였다.

포화교통류율은 직진의 경우 2000 vplph, 좌회전의 경우 1800vplph를 적용하였다.

분석에 적용된 교차로의 형태는 4지 독립교차로를 대상으로 하였으며, 신호의 주기는 140초, 최저 녹색시간은 30초 그리고 좌회전 녹색시간은 12초, 황색시간은 3초를 적용하였다.

#### 2. 대기행렬길이와 녹색시간

대기행렬길이는 이번 주기 전에 존재하고 있던 현재 주기로 인한 대기행렬길이에 대기행렬길이의 변화량을 가감한 값을 의미한다. 결국 대기행렬길이의 변화량은 유입교통량과 유출교통량의 차이에서 발생하는 것이다. 여기에서 대기행렬길이(Queue-Length ; QL)의 단위는 대기차량수이다.

대기행렬길이(t+1) = 대기행렬길이(t) +  $\alpha \times$  [유입교통량(t+1)-유출교통량(t)]가 된다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\frac{QL(t+1)}{Space\ Headway} = \frac{QL(t)}{Space\ Headway} + \alpha \times [Vol(t+1) - (SatFlow \times \frac{g}{3600})] \quad (식3-1)$$

여기서,

g = 유효녹색시간 (초),

$$\frac{QL(t)}{Space\ Headway} = \text{대기차량 수 (대)}$$

Vol = 교통량 (대/시)

$\alpha$  = 필터상수 (=1)

#### 3. 대기행렬길이의 균형화

주방향 대기행렬길이와 부방향 대기행렬길이를

동일하게 한다. 다음 주기에 형성 될 대기행렬길이 가 현재 주기에서와 같다고 가정하면, 동일한 대기행렬길이를 형성하는 녹색시간을 다음과 같이 구할 수가 있다. 즉,

$$\begin{aligned} \text{주방향} \quad & \text{최대} \frac{QL(t+1)}{\text{Space Headway}} = \text{부방향} \quad \text{최대} \\ & \frac{QL(t+1)}{\text{Space Headway}} \\ & \text{가 되어야 한다. 즉} \\ & \frac{QL(t)}{\text{Space Headway}} + [\text{Vol}(t+1) - (\text{SatFlow} \times \frac{g_M}{3600})] \\ & = \frac{QL(t)}{\text{Space Headway}} + [\text{Vol}(t+1) - (\text{SatFlow} \times \frac{g_m}{3600})] \end{aligned} \quad (\text{식3-2})$$

여기서,

$g_M$  = 주방향 녹색시간 (초)

$g_m$  = 부방향 녹색시간 (초)

가 된다. 이를 보다 간단하게 표현하면

$$\text{상수} + g_M = \text{상수} + g_m$$

가 되며, 여기에서

$$g_M - g_m = \text{상수} \quad (\text{식3-3})$$

가 된다.

또한 주방향 녹색시간과 부방향 녹색시간의 값은 정해져 있으므로

$$TG_M + TG_m = \text{상수} \quad (\text{식3-4})$$

여기서,

$TG_M$  = 주방향 녹색시간( $g_M$ ) + 좌회전녹색시간 + 황색시간

$TG_m$  = 부방향 녹색시간( $g_m$ ) + 좌회전녹색시간 + 황색시간

로 나타낼 수 있다. 위의 식을 이용하면 필요로 하는 녹색시간의 값( $TG_M, TG_m$ )을 구할 수가 있다.

#### 4. 링크길이를 반영한 균형화의 확장

위에서와 같이 다음 주기에 형성되는 대기행렬의 길이를 동일하게 만드는 방법에 있어, 각 링크의 길이가 고려되지 않은 문제점이 있다. 대기행렬의 길이가 링크길이보다 큰 경우에는 링크의 길이를 고려한 보정이 필요하다.

이러한 경우에는 선형계획법의 일반적인 해법인 심플렉스 방법(Simplex Method)을 사용하여 최적해를 구하였다. 본 연구에서 적용된 목적식과 제약식은 다음과 같다.

$$\text{Min } Z = |g_M - g_m + \text{상수}|$$

$$\text{s.t.} \quad g_M \leq \text{상수}$$

$$g_m \leq \text{상수}$$

$$g_M + g_m \leq \text{상수}$$

$$g_M, g_m \geq 0$$

여기서 구해지는 녹색시간의 값( $g_M, g_m$ )을 적용하면 링크의 길이를 고려할 수 있게 된다.

#### 5. 대기행렬 균형화 결과 평가

본 연구에서 제안하고 있는 대기행렬 균형화 방법론의 효과를 검증하기 위하여, 다양한 교통상황 하에서 기존의 신신호 시스템에서 수정된 방법론과 일본의 STREAM의 제어 방식, 그리고 대기행렬 균형화 방법론을 각각 적용하여 비교하였다.

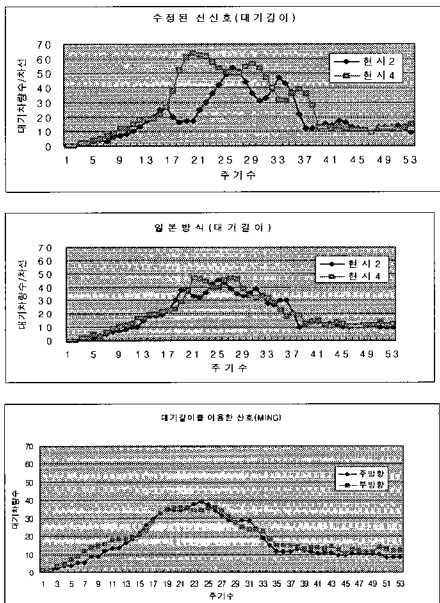
##### 1) 시나리오별 교통량

교통상황의 형태는 <표 1>과 같이 설정하였다. 편의상 Dual-ring 방식에서의 동서방향 직진(2현시)을 주방향으로 설정하고 남북방향 직진(4현시)을 부방향으로 설정하였다.

실제 현장에서 과포화의 의미는 검지기 포화도 0.8~0.9의 범위를 사용하고 있으나 이번 연구의 시나리오에서는 v/c가 1이상은 과포화, 1미만은 비포화로 설정하고 진행하였다.

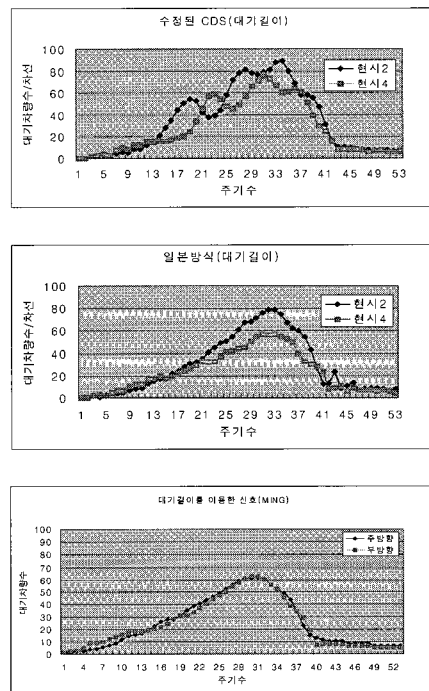
2) 대기행렬길이 변화 결과 비교

양방향 모두 비포화 상태인 시나리오 1에서는 대기행렬을 균형화 한 경우와 포화도에 따른 제어한 경우 모두 유사한 결과를 나타내었다. 단 포화도를 이용한 경우가 상대적으로 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 주방향만 과포화 상태를 나타내는 시나리오 2의 경우에는 신신호 방식에서 진동이 발생하였으며, 일본의 STREAM 방식에서는 방향별로 다른 수준에서 다소 안정되어 있는 것으로 나타났다. 대개행렬을 균형화 한 경우에는 양방향 모두 동일한 수준의 대기행렬 길이를 형성하였으며, 최소 녹색시간을 적용한 경우에는 다소 진동을 나타냈다. 시나리오 3은 부방향만 과포화를 나타내는 상태이다. 신신호 방식에서는 대기행렬 길이에서 진동현상을 나타내고 있음을 알 수가 있다. 이는 과거의 자료를 이용함에 따라 발생하는 현상으로 보인다. 일본의 STREAM 방식에서도 다소간의 진동현상을 보여주고 있다. 대기행렬길이를 균형화 시킨 경우는 전반적으로 대기행렬길이가 짧아졌음을 알 수가 있다.



〈그림 1〉 대기행렬길이 변화도 (시나리오 3)

시나리오 4는 양방향 모두 과포화 상태인 경우로서, 신신호 방식을 적용하면 대기행렬의 길이에서 진동이 발생하고 일본의 STREAM 방식에서는 거의 동일한 수준을 나타내고 있는 것으로 분석되었다. 시나리오 5는 과포화의 시점이 다른 경우이다. 신신호 방식에서는 대기행렬 길이의 진동이 발생하였으며, 일본의 STREAM 방식에서는 서로 다른 길이의 대기행렬이 형성되었다. 대개행렬을 균형화 한 경우에는 양방향 모두 대기행렬의 길이가 감소하였으며 어떠한 상황에서도 동일한 형태의 대기행렬 길이가 나타났다.



〈그림 2〉 대기행렬길이 변화도 (시나리오 5)

〈표 2〉 시나리오별 교통량 상황

구분	주도로	부도로	비고
시나리오 1	비포화	비포화	
시나리오 2	과포화	비포화	
시나리오 3	비포화	과포화	
시나리오 4	과포화	과포화	
시나리오 5	과포화	과포화	

5가지 상황에 대한 대기행렬 균형화 방법의 효과를 평가해 본 결과, 기존의 방식에 비하여 교통상황에 관계없이 안정적인 대기행렬 길이의 관리가 가능한 것으로 나타났다.

#### IV. 대기행렬길이를 이용한 실시간 신호제어

현재 신신호 시스템에서 적용되고 있는 포화도 기준의 방식은 비포화 상태에서는 우수한 결과를 나타내고 있으나 과포화 상태에서는 교통상황을 적절히 반영하지 못하는 한계를 가지고 있다. 따라서 본 장에서는 대기행렬의 길이 균형을 통한 신호제어 방안을 제시하고자 한다. 앞에서 설명된 바와 같이 대기행렬 길이를 이용한 방법은 비포화 상태에서는 포화도 적용 시에 비하여 상대적으로 효과가 낮은 단점이 있으나, 본 연구에서는 비포화 상태와 과포화 상태 모두에 대하여 대기행렬 길이 균형화 방법론을 적용하였다.

##### 1. 신호주기의 산정

신호주기는 현재의 대기행렬 상의 차량과 유입교통량을 모두 처리할 수 있는 시간으로 설정하였다. 이러한 접근방법을 적용할 경우 신호주기는 다음과 같은 절차를 거쳐서 산정 된다.

- ① 접근로별로 대기행렬길이의 최대값 측정
- ② 최대값을 이용해서 대기길이와 들어오는 차량을 소거시킬 수 있는 요구녹색시간을 계산

$$\frac{QL(t)}{Space\ Headway} + Vol(t+1) =$$

$$(SatFlow \times \frac{gM}{3600}) \dots \quad (식4-1)$$

- ③ 방향별 요구시간(RL)과 좌회전시간 및 손실시간 합산

$$RL_{total} = RL1 + RL2 + RL_{LT1} + RL_{LT2} + Lost\ Time$$

여기서, RL1, RL2 = 직진 1,2 방향 요구시간

RL\_LT1, RL\_LT2 = 좌회전 1,2 방향 요구시간

- ④ 주기값 보정

$$ACL = \alpha \times CL$$

여기서,  $\alpha$  = 보정계수 (현장과 교통류의 특성에 따라 0.8-1.0 범위에서 사용)

ACL = 수정주기값 (Adjusted Cycle Length)

- ⑤ 현재의 주기길이(Current Cycle Length; CCL)와 요구주기시간(Required Length; RL)과 비교

( $RL_{total} - CCL$ )  $\geq$   $\Delta C$  이면  $ACL = CCL + \Delta C$

( $RL_{total} - CCL$ )  $\leq$   $-\Delta C$  이면  $ACL = CCL - \Delta C$

$-\Delta C \leq (RL_{total} - CCL) \leq \Delta C$  이면  $ACL = CCL$

단, 주기증감분  $\Delta C$ 는 사용자에게 의하여 조정이 가능하다.

- ⑥ 최소주기조건과 최대주기조건 확인

$$MinCL \leq ACL \leq Max\ CL$$

ACL  $\geq$  Max CL 일 경우, ACL = Max CL

##### 2. 현시분할

기본적으로 기존의 Dual-Ring 방식의 현시분할 방법을 적용하였다. 이 방법은 양방향의 직진 대기행렬의 길이의 최대값과 최소값을 각각 동일하게 되도록 녹색시간을 할당하는 방식이다. 이 때, 각 분할은 상단부(Ring1)와 하단부(Ring2)를 나누어서 생각하여야 한다. 좌회전 현시가 중요한 경우에도 필요 녹색시간의 영역이 넓게 계산되므로 이에 대한 고려가 충분히 이루어진다.

- ① 각 이동류별 대기행렬길이 측정
- ② 최대값의 이동류와 상충되는 좌회전 대기행렬의 길이를 계산하여 상단부에 배치(그림4 참조)  
MaxTHQL(최대대기행렬길이), CLTQL(상충좌회전 대기행렬길이)

현시 상단부 →	g1	g2	g3	g4
현시 하단부 →	g5	g6	g7	g8

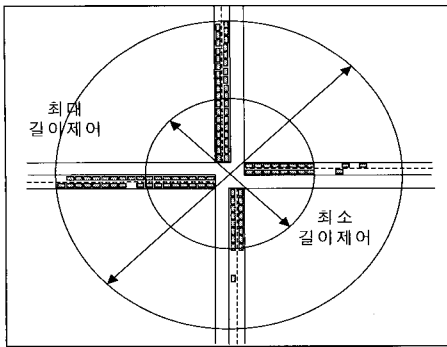
(그림 3) 현시분할

- ③ 상단부에서 좌회전 및 직진 필요 시간 계산

$$\frac{L1}{A1 + A2 + L1 + L2} \times C = LT_1$$

$$\frac{L2}{A1 + A2 + L1 + L2} \times C = LT_2$$

여기서, A1 = QL\_TH1(직진QL), A2 = QL\_TH2



〈그림 4〉 현시분할 기본 개념도

$$L1 = QL\_LT1(\text{좌회전QL})$$

$$L2 = QL\_LT2$$

C = 주기시간(여기서는 전과정에서 구한 ACL을 의미)

$$RL\_LT(\text{요구 좌회전 시간}) = LT\_1 + LT\_2 \text{ (좌회전 시간과 직진의 Barrier)}$$

$$RL\_TH(\text{요구 직진 시간}) = C - RL\_LT$$

즉, 이 단계에서는 직진과 좌회전의 녹색시간의 크기만을 구하게 된다.

④ 녹색분할에 대한 최대값 및 최소값 비교

$$MIN \leq RL\_LT \leq MAX$$

$$MIN \leq RL\_TH \leq MAX$$

⑤ 균형전략(Balance Strategy)에 의한 직진 현시 결정

$$Max(\text{동,서}) \frac{QL(t)}{Space\ Headway} + [Vol(t+1) -$$

$$(SatFlow \times \frac{g_2}{3600})]$$

$$= Max(\text{남,북}) \frac{QL(t)}{Space\ Headway} + [Vol(t+1) -$$

$$(SatFlow \times \frac{g_4}{3600})] \quad \dots(\text{식4-2})$$

$$g_2 + g_4 = RL\_TH \quad \dots(\text{식4-3})$$

위의 (식4-2)와 (식4-3)을 연립하여 직진 현시를 결정한다.

⑥ 균형전략(Balance Strategy)에 의한 좌회전 현시 결정

⑤와 동일하게 계산한다.

⑦ 녹색시간에 대한 최대값 및 최소값 비교

$$MIN \leq g1, g3 \leq MAX$$

$$MIN \leq g2, g4 \leq MAX$$

⑧ 2개의 녹색시간을 더하여 Barrier의 폭 결정

$$BAR1 = g_1 + g_2$$

$$BAR2 = g_3 + g_4$$

$g_1$	$g_2$	$g_3$	$g_4$
$g_5$	$g_6$	$g_7$	$g_8$

〈--- Barrier1 ---〉〈--- Barrier2 ---〉

〈그림 5〉 Barrier폭 결정도

⑨ 하단부에서 좌회전 및 직진 필요시간 계산

③과 동일한 방법을 사용한다.

⑩ 녹색분할에 대한 최대최소값 비교

$$MIN \leq RL\_LT \leq MAX$$

$$MIN \leq RL\_TH \leq MAX$$

⑪ 하단부분의 직진과 좌회전 중에서 최대값 선택  
 $MAX(RL\_LT, RL\_TH)$

⑫ 균형전략(Balance Strategy)에 의한 현시 결정  
 위의 과정에서 결정된 최대값의 이동류에 대하여 균형전략(Balance Strategy)을 적용하여 현시를 결정한다. 계산방법은 ⑤와 동일하다.

⑬  $g_5$  및  $g_7$  결정

$$g_5 = BAR1 - g_6$$

$$g_7 = BAR2 - g_8$$

⑭ 녹색시간의 연장

어느 한 방향에 대하여 앞 막힘 검지기에 대기행렬이 검지된다면 해당 이동류에 대하여 녹색시간을 연장한다.

만약  $g_5$ 의 방향에서 과포화가 발생하면 다음과 같이 보정한다.

$$RL\_TH = RL\_TH - \Delta G$$

$$RL\_LT = RL\_LT + \Delta G$$

녹색연장이 되면 직진이나 좌회전의 비율 값에 연장분을 더해주고 ⑨로 이동한다.

### 3. 신호제어모형 적용 결과

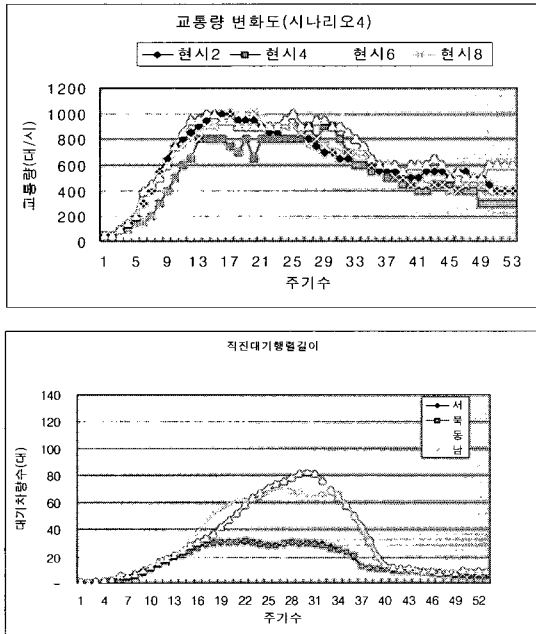
본 연구에서 제안하고 있는 방법론에 대한 실험 및 평가는 거시적 교통류 분석과 미시적 교통류 분

석 등 2가지 방법으로 수행되었다.

1) 거시적 모형방법에 의한 평가

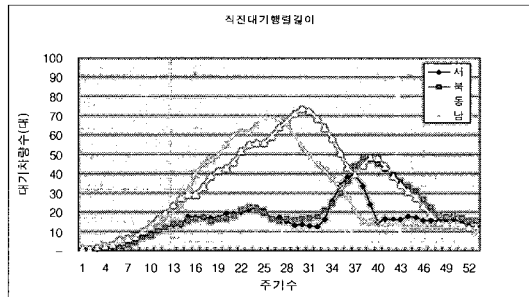
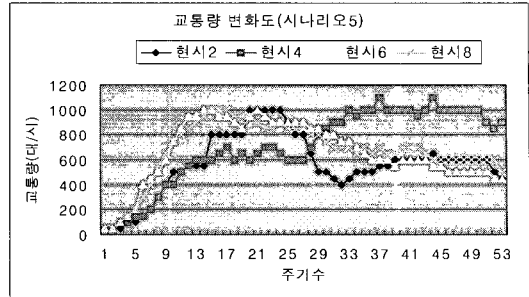
이 방법은 산술적 방법을 통하여 대기행렬의 길이를 산정하고 이에 따른 효과를 분석하는 것이다. 시나리오 1과 2 상태에서는 기존의 두 방향의 최대 대기행렬 길이만을 제어하는 방식보다 낮은 수준의 대기행렬길이를 나타내었다. 시나리오 3의 상태에서는 이와 더불어 모든 방향의 대기행렬의 길이도 안정적으로 변화하였다.

시나리오 4 상태에서는 기본적으로 유사한 결과를 나타내고 있으나, 교통량 증가로 인한 녹색시간 최대값이 제약을 받음에 따라 다소 진동이 발생하였다.



<그림 6> 교통량 및 직진대기행렬 길이 (시나리오 4)

시나리오 5의 상태에서도 시나리오 4와 같은 결과가 나타났다. 여기에서는 다른 방향 이동류가 증가함으로 인하여 대기행렬의 길이가 균형을 이루는 모습을 볼 수 있다.



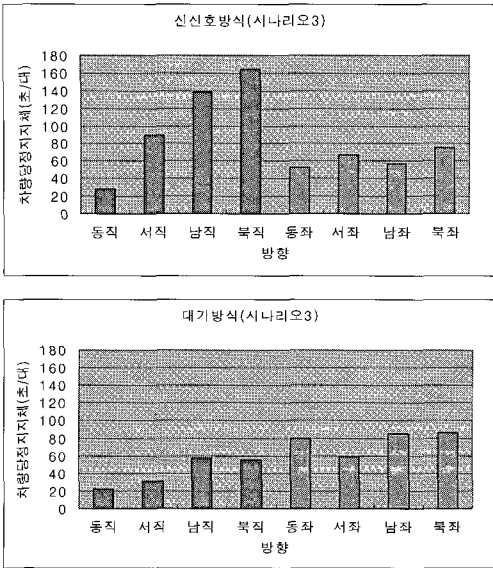
<그림 7> 교통량 및 직진대기행렬 길이 (시나리오 5)

2) 미시적 모형방법에 의한 평가

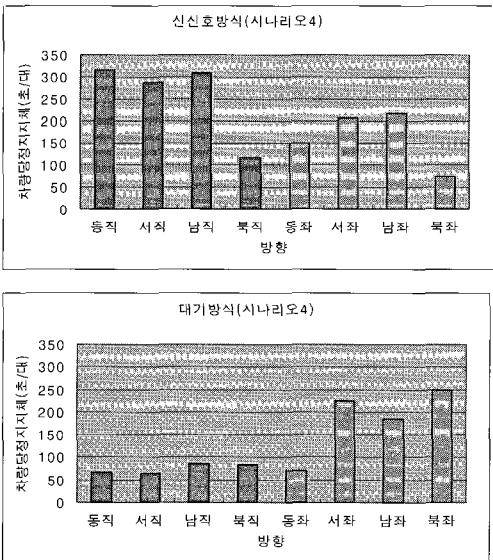
미시적 분석은 신호교차로의 효과적도인 차량당 평균지체를 적용하여 이루어졌다. 미시적 교통류 시뮬레이션은 서울 시립대 교통운영연구실에서 개발한 시뮬레이터를 사용하였다. 이 시뮬레이터는 기존에 사용되어온 가상실험모형에서는 구현할 수 없는 수정된 신신호방식과 대기행렬길이 균형전략을 이용한 신호운영방식을 가상적으로 실험하고 평가될 수 있도록 만들어진 프로그램이다. 수정된 신신호 시스템의 방식과 본 연구에서 제안하고 있는 대기행렬 길이 균형화 방식을 적용하였을 경우 차량당 평균지체도를 비교하였다. 지체는 각 이동류별로 산출하였다.

<그림 6>과 <그림7>에 보여진 바와 같이 대기행렬 길이 균형화 방식을 적용하였을 경우, 전체적으로 지체가 감소하고 각 방향별로 균형적인 지체를 나타내었다. 이러한 현상은 5개 시나리오 상태에서 전반적으로 동일하게 나타난 결과이다.





〈그림 8〉 차량 당 평균정지지체 비교 (시나리오 3)



〈그림 9〉 차량 당 평균정지지체 비교 (시나리오 4)

## VI. 결론

본 연구에서는 기존의 신신호 시스템이 가지고 있는 한계점인 과포화 상태에서의 실시간 신호제어

방안의 하나로서 대기행렬 길이 균형을 통한 교통신호제어 방법을 개발하였다.

각 진행 방향 별 대기시간의 불균형 문제는 대기행렬길이 관리를 통하여 균형을 하면, 대기길이의 진동현상을 방지하고 대기행렬길이를 동일한 수준으로 유지함으로써 모든 방향의 전체적인 대기행렬길이를 감소시킬 수 있다. 주기길이의 변화를 효과적으로 제어할 수 있는 주기산출 방법은 기존 방식이 지점자료에 의존하던 것에 반하여 공간적 자료를 토대로 과포화를 해결할 수 있는 적절한 신호시간을 부여할 수 있다. 즉, 필요 주기길이 산정방법은 단순히 교통량 또는 포화도의 감소에 따라 감소하는 방식이 아니고, 교차로의 혼잡을 충분히 해결할 수 있는 시간을 부여할 수 있는 방식으로 평가될 수 있다.

포화도 이외의 신호제어 요소로서 대기행렬의 길이는 상당히 긍정적인 가능성을 가지고 있다. 현재 대기행렬길이 측정의 부정확성을 고려할 때, 본 연구에서 제시하는 방법론은 향후 기술의 발전에 따른 정밀한 측정방법이 개발되었을 때 사용될 방안일 것이다. 현재와 같이 지점정보에 의존하기 보다는 구간이나 공간정보를 통한 자료수집이 하나의 대안이 될 수 있을 것으로 사료된다.

이 외에도 본 연구의 결과를 실용화하기 위해서는 현장특성에 따른 각 변수간의 관계를 분석하는 것이 필요할 것이며, 다수의 현장 적용을 통한 비교 분석과 이를 토대로 한 보완 연구가 요구된다.

## 참고 문헌

1. 김영찬 외, 신 교통신호 제어시스템의 신호제어 알고리즘, 교통안전연구논집 제13권, 1994
2. 서울지방경찰청, 신신호 시스템 기능개선 용역 최종보고서, 1999
3. 서울시립대학교 도시과학연구원, 대체검지기 신뢰성 평가 및 대기행렬을 이용한 과포화제어 알고리즘 개선, 2001
4. 이 철기, 영상기반의 대기행렬길이를 이용한 실시간 신호제어 모형 개발, 아주대학교대학원, 1998

5. 도로교통안전협회, 서울특별시 교통신호제어시스템 기술개발(3차년도)제어알고리즘 및 현장실험분석평가서, 1993
6. Susumu Miyata, STREAM Advanced Traffic Control System of Tokyo Metropolitan Police Department
7. Toshihiko Oda & Yoshito Mashiyama, Traffic Signal Optimization Control Method at Critical Intersection
8. Transportation Research Board, Traffic Control in Oversaturated Street Networks, 1978, Page 69-82
9. FHWA, Traffic Control Systems Handbook, 1996

〈저자소개〉



김 홍 진 (Kim, Hong Jin)

1975. 1. 8 : 서울 출생  
 1993. 2. : 경기고등학교 졸업  
 2000. 2. : 명지대학교 교통공학과 졸업  
 2002. 2. : 서울시립대학교 대학원 졸업  
 2002. 2~현재 : 한국도로공사  
 관련 자격증  
 교통기사 1급 (한국산업인력공단) 1999  
 도로교통사고감정사 ( 도로교통안전관리공단) 2003



김 영 찬 (Kim, Young-chan)

83년 서울대학교 학사  
 85년 서울대학교 석사  
 90년 미국 TEXAS A&M 대학교 박사  
 현재 서울시립대학교 교통공학과 교수



김 정 현 (Kim, Jeong Hyun)

1982. 3~1986. 2 : 국립서울대학교 공과대학 토목공학과  
 도시공학전공 (공학사)  
 1986. 9~1989. 8 : 미국 University of Wisconsin-Madison  
 Department of Civil and Environmental Engineering (공학석사)  
 1991. 1~1996. 12 : 미국 University of Wisconsin-Madison  
 Department of Civil and Environmental Engineering (공학박사)  
 1989. 9~1990. 6 : 교통개발연구원 철도교통연구실 위촉연구원  
 1997. 2~1997. 12 : 교통개발연구원 도시교통연구실 책임연구원  
 1998. 1~2002. 11 : 교통개발연구원 도로교통연구실 책임연구원  
 2002.12~현재 : 한양대학교 공학대학 토목환경공학과 연구교수