

# 실시간 신호제어시스템의 대기길이 추정 알고리즘 개발

“A Development of Traffic Queue Length Measuring Algorithm  
Using ILD(Inductive Loop Detector) Based on COSMOS”

성기주

정준하

이철기

박대현

(서울지방경찰청, 교육반장) (도로교통안전관리공단, 선임연구원) (서울지방경찰청, 교통개선기획실장) (서울지방경찰청, 교통개선기획실)

## 목 차

- |                          |                             |
|--------------------------|-----------------------------|
| I. 연구의 배경 및 연구목적         | III. 대기길이 추정 모형의 개선 제안 및 평가 |
| II. 관련 문헌 고찰 및 기존모형의 문제점 | 1. 대기길이 추정 모형의 개선 제안        |
| 1. 관련 연구고찰               | 2. 제안 모형의 평가                |
| 2. COSMOS 시스템 대기길이 추정모형  | IV. 결론 및 향후 연구과제            |

## I. 연구의 배경 및 연구목적

서울시는 실시간 신호제어시스템인 이른바 “COSMOS 신호 제어시스템”을 개발하여 1997년부터 강남지역을 시작으로 현재는 월드컵경기장 주변, 제물포로, 도봉로 등 강북지역까지 지속적으로 확장 500여개 소를 운영 중에 있다. 이 시스템은 매 주기마다 수집되는 차량검지기 자료를 이용 현장의 교통상황에 적합한 신호주기길이, 녹색시간을 산출하고, 연동패턴을 선택하여 현장의 교통수요에 탄력적으로 대응하도록 되어 있다. 제어원리에 있어서는 정지선 부근에 설치된 검지기를 통해 포화도(degree of saturation)를 계산하고 이 포화도에 따라 주기길이, 녹색시간, 연동값을 산출하게 되는데 포화도는 주어진 녹색시간 동안 방출되는 차량에 의해서만 계측되는 지표이므로 결국 과포화시의 교통상황까지를 설명하지는 못한다. 따라서 도시부 신호교차로에서 과포화시 주기단위로 정확한 대기차량 길이를 계측 혹은 추정하여 포화도와 상호 보완적으로 활용된다면 보다 교통수요에 탄력적으로 적용할 수 있는 신호제어를 할 수 있을 것이다.

대기행렬길이 추정 알고리즘은 상류부에 설치되는 대기행렬 예측용 검지기 및 앞막힘 예방용 검지기로부터 기초자료를 제공받아 상류부 검지기로부터 접근되는 거리를 예측하여 지역 컴퓨터에 예측결과를 전송하는 기능을 담당한다. 이러한 예측 정보는 상위 지역컴퓨터에서 과포화 상태를 판별하고 이에 따른 적절한 신호제어에 필요한 각종 제어변수를 결정하는데 있어서 매우 중요한 정보가 된다.

대기길이 추정을 위한 방법으로 입출력 교통량계산 방식이나 충격파 이론을 이용한 고전적인 이론적 접근방식(traffic flow theory 등) 등이 있으나 이는 회전교통량 계측 문제 등 실제 상황에서 사용하기에는 고려하지 못한 많은 문제들이 있어 현실적으로 적용이 불가능하다.

따라서 그 동안 영상검지기 등을 이용하여 대기길이를 실측,

신호제어에 활용하고자 하는 많은 노력이 있어 왔으나 도시부 신호교차로의 특성상 정확한 대기길이 계측에는 한계가 있을 수밖에 없으며 더구나 대기길이 계측에 있어서 영상검지기의 신뢰도는 어느 정도 인정한다하더라도 야간에는 사용할 수 없다는 점과 영상검지기의 가시거리가 100m정도(12m 높이)에 불과하여 500m 링크를 계측하기 위해서는 150m, 300m, 400m 등 최소 3대 정도는 설치가 필요하고 비용의 문제가 있다.

이러한 배경을 감안하여 1999년도에 COSMOS 시스템의 기능개선 과업에서는 복수개의 루프검지기로부터 수집되는 주기 평균 지점속도를 이용하여 대기길이를 추정하는 거시적 모형을 개발하여 현재까지 과포화시 신호시간 보정에 적용하고 있으나 본 모형에 사용되는 속도는 한산한 교통상황과 혼잡한 교통상황까지 각각의 교통상황에서 수집되는 값의 변별력이 미흡할 수가 있다.

따라서 본 고에서는 COSMOS시스템에 탑재된 모형과 루프 검지기를 이용한 외국의 대기길이 추정 모형의 사례를 검토하고 아울러 기존의 대기길이 추정모형의 원리를 검토 불합리성을 개선하기 위한 방법을 제시하고 시뮬레이션을 통해 이의 타당성을 검증하였다. 컴퓨터시뮬레이션 결과 제안하는 방식이 기존방식에 비하여 추정능력을 나타내는 추정범위는 600m길이의 링크를 기준으로 기존방식은 50 - 400m정도를 보였으나, 개선방식은 10 - 500m까지의 추정능력을 보였다. 이러한 추정신뢰도 측면 외에도 기존 모형은 속도를 밀도 개념의 정체도로 환산하는 과정에서 운영자에 의해 모형의 계수(s1, s2, 임계정체도)가 정의되어야 하는 번거로움이 있었으나 제안 모형에서는 점유율 자체가 0-1 사이의 값을 가지는 정체도로 곧 바로 사용될 수 있으므로 s1, s2 입력이 필요 없어 운영자의 부담을 덜어줄 수 있다는 장점도 있다.

## II. 관련 문헌 고찰 및 기존모형의 문제점

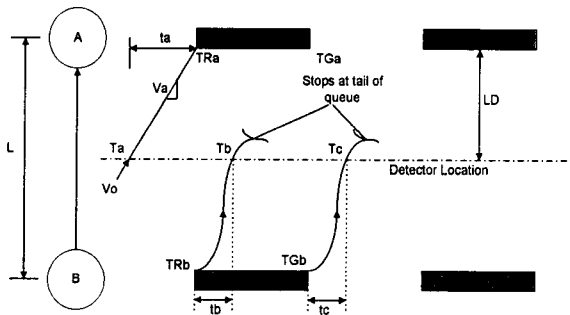
# 1. 관련 연구고찰

## 1) 시공간도 기반 대기길이 추정모형

### (1) 모형의 개요 및 대기길이 추정방법

루프검지기를 이용하여 대기길이를 추정하는 방법론에 대한 연구 중 하나로서 Jinil Chang et al.(1)은 상류교차로와 하류교차로의 신호조건하에서 검지기에서 측정되는 지점속도 자료를 이용 즉, <그림 1>에서 보이듯이 하류교차로 정지선으로부터 LD(ft)만큼 떨어진 곳에 설치된 단일 검지기의 속도데이터로부터 Ta, Tb, Tc를 각각 추정하여 Ta와 Tc 사이에 검지기를 통과하는 누적차량을 측정함으로써 대기길이를 추정하는 방법론을 제시하였다.

이 방법은 하류 교차로의 적색신호 시작시점에 도착하는 차량부터 상류교차로에서 녹색신호시작 시점에 방출된 차량이 최초로 검지기까지 도달하는 시간(Tc)에는 하류교차로 정지선에서 대기길이를 형성할 것이고 이는 상류교차로에서 녹색신호시간에 방출된 첫 번째 차량이 검지기에 도달하는 시점까지 계속될 것이고 하류교차로에서의 회전차량은 없다는 가정에서 출발한다.



<그림 1> 시공간도 기반 대기길이 추정 개념도

여기서,

Ta = 교차로 A의 적색신호 시작시점에 정지선에 도착하게 되는 차량이 검지기에 도착하는 시간

Tb = 상류교차로에서 적색신호시 유입되는 회전차량군(secondary platoon)의 선두차량이 검지기에 도착하는 시간

Tc = 상류교차로에서 녹색신호시 유입되는 차량군(primary platoon)의 선두차량이 검지기에 도착하는 시간

ta = 시간 TRa에 검지기로부터 교차로 A의 정지선까지 도착하는데 소요되는 시간

tb, tc = 시간 TRb, TRc에 각각 검지기로부터 교차로 B의 유출부에서 검지기까지 도착하는데 소요되는 시간

Va = 교차로 A 접근로의 검지기 위치부터 정지선까지 평균 속도, ft/sec

Vo = 검지기를 통과할 때의 평균속도, ft/sec

LD = 정지선으로부터 검지기까지 거리, ft

L = 링크길이, ft

TXy = 교차로 y에서 신호현시 X의 시작시간: X = R, G; y = A, B, sec.

따라서 이 모형의 취약점은 Ta부터 Tc시간 동안에 검지기를

통과하는 차량이 하류교차로에서 좌회전 할 것인지 직진할 것인지에 따라 많은 오차를 가지게 된다는 점이다. 이 점은 교차로에서 회전비율이 외국의 경우에 비해 상대적으로 높은 국내 통행패턴을 감안할 때 현실적으로 적용하기는 어려운 모형이다.

또한 하류교차로에서 주기내에 처리되지 못한 잔류 대기차량(Qo)의 추정 문제이다. 결국 하류교차로 A에서의 대기길이는 Ta - Tb 시간 동안의 교통량에 잔류 대기차량을 더한 값이어야 하는데, 제안 모형에서는 잔류 대기 차량수를 다음과 같이 2가지 case로 구분, 단순화하여 사용한다.

case 1) 하류교차로에서 해당 접근로에 주어진 녹색시간(Gb) 동안 통과할 수 있는 최대 교통량이 정지선부터 검지기 사이에 수용할 수 있는 차량 수보다 작은 경우

이 경우는 잔류 대기차량이 존재한다고 가정하여 다음과 같이 남은 차량수의 절반을 잔류 대기차량으로 적용한다.

$$Q_{omax} = \frac{(Gb-s)}{h} < \frac{(LD-Sv)}{Sv}$$

$$Q_o = 0.5 \cdot Q_{omax}$$

여기서, Qo = 잔류 대기차량수(대)

Qomax = 최대 잔류차량 수

Gb = 교차로 B의 녹색시간(초)

s = 출발손실시간(초)

Sv = Queue내에서의 평균차두거리(ft)

h = 평균 방출 차두시간(초)

case 2) 하류교차로에서 해당접근로에 주어진 녹색시간(Gb) 동안 통과할 수 있는 최대 교통량이 정지선부터 검지기 사이에 수용할 수 있는 차량 수보다 크거나 같은 경우

이 경우는 잔류 대기차량이 존재하지 않는다고 가정하여 Qo = 0으로 한다.

나. 문제점

이상과 같이 이 방법론은 하류교차로에서의 회전차량은 없다는 가정, 잔류 대기차량 수 추정이 너무 극단의 가정을 기반으로 함으로서 오차 발생 여지가 많을 것으로 판단된다.

또한 Ta부터 Tc시간 동안에 검지기를 통과하는 차량이 하류교차로에서 좌회전 할 것인지 직진할 것인지에 따라 많은 오차를 가지게 된다는 점이다.

이 점은 교차로에서 회전비율이 외국의 경우에 비해 상대적으로 높은 국내 통행패턴을 감안할 때 현실적으로 적용하기는 어려운 모형이다.

## 2) 개별차량의 점유시간 기반 대기길이 추정 모형

### (1) 모형의 개요

COSMOS 시스템에 탑재된 모형에서의 대기차량길이 추정은 현장조사를 통해 점유시간과 그때의 검지기 하류부 차량길이의 관계식을 회귀식으로 구축하여 추정하였다. 이 모형의 개념은 차량추종 모형으로부터 착안한 것으로 차량이 대기차량 검지기를 통과할 때 "점유시간이 길면 속도가 낮다.

속도가 낮다는 것은 앞 대기차량의 끝단까지의 거리(이격거리)가 짧다"라는 의미이며 "점유시간이 짧으면 속도가 높다. 속도가 높으면 하류부 끝단까지의 거리가 길다" 라는 의미에서 출발한 것이다.

즉, 전방에 장애물(정지된 대기길이의 후미차량)이 존재할 경우, 장애물과의 거리가 영향거리 이내이면 운전자는 장애물 뒤에 안전하게 정지할 수 있는 속도로 감속할 것이며, 이러한 감속율은 장애물과의 거리가 가까울수록 커진다.

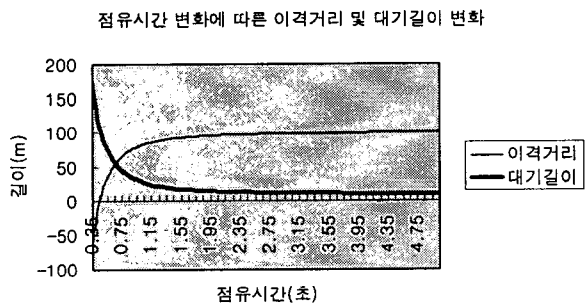
여기에서 영향거리는 장애물(정지된 대기차량)에 의하여 주행 차량의 반응에 영향을 주는 한계거리로 표현할 수 있으며, 본 대기길이 산출 모형의 한계 이격거리라 할 수 있다. 본 모형의 유효 이격거리는 80 - 100m 정도로서 자료의 신뢰성을 고려할 때 현재 최저치인 80m를 한계 이격거리로 사용한다.

이격거리(대기차량 끝단 ~ 대기길이용 점지기 사이의 거리)와 점유시간간 회귀식은 다음과 같다.

$$Queue = -0.5 \times CumOcc^2 + 14.60 \times CumOcc - 5.656$$

$$\text{이격거리} = 110 - Queue$$

<그림 2>는 점유시간의 변화에 따른 이 모형의 결과를 보이는 데, 그림에서 보이는 바와 같이 점유시간 변화에 따라 대기길이 혹은 이격거리의 변화는 점유시간이 0.45 ~ 1.55초 정도 사이에 있을 때 민감한 것으로 나타났다.



<그림 2> 대기길이 및 이격거리 변화

여기서 주의할 점은 상기 모형식에서의 Occ는 누적 점유시간(Cumulative Occupancy time)이고 실제 현장에서 수집되는 자료는 개개 점유시간 자료이므로 이를 곧바로 상기 모형에 입력해서는 안 된다는 것이다. 따라서 개개 차량단위의 점유율을 누적점유시간으로 변환하여 상기 모형식에 적용해야 한다. 모형식 결과도 모형 개발시 대기길이 점지기 위치가 110m인 환경에서의 대기길이이므로 이를 대기길이 위치와 관계없이 적용하기 위해 이격거리로 일반화시켜 사용한다.

#### (2) 대기길이 산출절차

##### ① 회귀식을 1차 미분한다.

상기 회귀모형을 1차 미분하면  $14.6 - CumOcc = 6.33 / Occ$  가 된다.

##### ② "6.33/수집된 점유시간"을 산정한다.

위의 대기행렬 예측 과정에서 "6.33/점유시간"에 해당하는 항은 위 회귀식을 1차 미분한 값으로 속도를 의미한다.(해당 점유시간 동안 차량 1대 분의 대기길이(6.33m)가 증가하므로

초당 대기길이 증가 속도이다. 즉, 거리를 미분하면 속도)

##### ③ "1차 미분식 = 6.33/점유시간"의 방정식을 푼다.

이 과정은 실제 회귀식에 대한 점선의 기울기를 도출하기 위한 사항으로서, 이 항의 의미는 개별차량에 대한 "단위 점유시간의 변화에 대한 대기행렬의 변화"의 개념이다. 여기서 6.33은 점근로 상에서 교통류가 적색현시에 의하여 대기행렬을 형성할 때 하나의 차량이 형성하게 되는 대기행렬의 길이를 의미한다.

④ 방정식의 해(CumOcc)를 원래의 회귀식에 대입하여 이격거리를 구한다.

##### ⑤ 대기길이를 구한다.

모형식 결과는 점지기로부터 대기차량길이 후단까지의 이격거리이므로 이를 세그먼트 길이에서 이격거리를 감하여 대기길이를 구한다.

이 과정을 요약하면 모형식은 누적 점유시간과 대기길이의 관계식이므로 개별 점유시간을 누적 점유시간으로 변환하여 상기 모형식에 적용한다. 즉, 상기와 같이 회귀식에 대한 점선의 기울기가 6.33/Occ 이므로 이를 이용하여 CumOcc를 계산하여 모형식에 대입한다.

대기행렬 예측 알고리즘은 상류부 점지기를 통과하는 개별 차량 교통정보로서 점유시간을 사용하며, 차량별 점유시간의 편차를 평활화하기 위하여 4대의 개별차량 정보를 평균하여 이용한다. 또한 승용차와 대형차를 구분하여 승용차만으로 대기행렬을 파악하기 위한 기준이 사용되는데 그 기준은 기준치보다 30% 이상의 점유시간을 제거함으로써 대형차량에 대한 편차를 평활화 한다.

#### (3) 문제점

대기행렬길이 예측 알고리즘은 상류부에 설치되는 대기행렬 예측용 점지기와 앞막힘 예방용 점지기로부터 기초자료를 제공받아 상류부 점지기로부터 점근되는 거리를 예측하여 지역컴퓨터에 예측결과를 전송하는 기능을 담당한다. 이러한 예측정보는 상위 지역컴퓨터에서 과포화 상태를 판별하고 이에 따른 적절한 신호제어에 필요한 각종 제어변수를 결정하는데 있어서 매우 중요한 정보가 된다.

기존의 대기길이 측정방법은 링크상의 단일 점지기만을 가지고 대기길이를 예측하기 때문에 실제 대기길이와 많은 편차를 가질 수 있으며, 계측범위도 국지적이고 산출되는 대기길이 값이 회귀식의 계수값에 따라 너무 민감한 결과를 보인다. 물론 점지기로부터 수집되는 제한된 지점정보만을 가지고 공간 상에 분포된 연속적인 차량의 대기길이를 수집한다는 것 자체가 근본적으로 오차를 수반할 수밖에 없다.

## 2. COSMOS 시스템 대기길이 추정모형

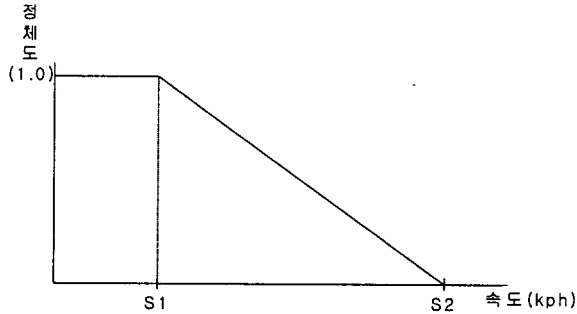
### 1) 대기길이 추정모형의 개요

밀도와 속도 관계식에서 속도는 점지기에서 수집되는 점유시간으로, 밀도는 혼잡상황을 나타내는 정체도로 대체하여 각 지점의 주기당 점유시간을 속도로 환산하여 정체도를 구하고 임계 정체도에 해당하는 지점까지를 정체길리로 판단 이를 대기길리로 사용한다.

2) 대기길이 추정 절차

(1) 정체도 산출

- 다음의 식을 이용하여 매 차량이 통과할 때마다 각 검지기별로 주기별 평균속도를 구하여 정체도를 산출하되 각 검지기 사이의 정체도는 주어진 S1과 S2를 이용하여 선형으로 처리함.



<그림 3> 속도와 정체도와의 관계

(2) 대기길이 산출

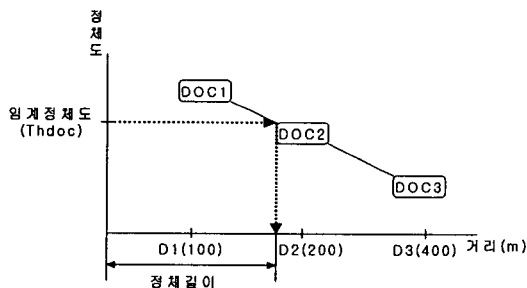
- 산출된 정체도를 바탕으로 임계정체도를 포함하는 검지기 구간을 결정하고 검지기 구간내에서 대기길이를 구한 후, 과거 2주기의 정체길이와 가중 평균하여 금번주기의 최종 대기길이를 한다.

$$CLOC(i) = LOC(i) \times f_0 + LOC(i-1) \times f_1 + LOC(i-2) \times f_2$$

여기서, CLOC(i) = 최종 조정된 금번주기의 정체길이(m)

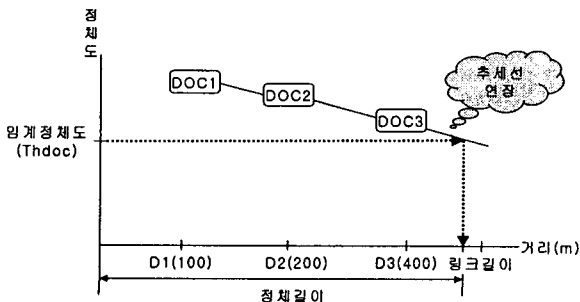
LOC(i) = i주기의 정체길이(m)

f<sub>i</sub> = i주기의 가중치(f<sub>0</sub>=0.5, f<sub>1</sub>=0.3, f<sub>2</sub>=0.2, Σf<sub>i</sub> = 1.0)



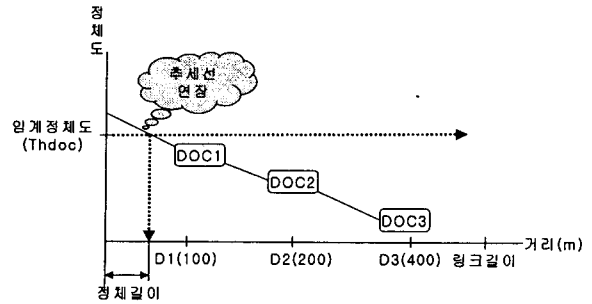
<그림 4> 이상적 상황에서 정체길이 추정

- 임계정체도를 포함하는 검지기 구간이 없는 경우
- 전 검지기의 정체도가 임계정체도보다 큰 경우



<그림 5> 임계정체도 보다 큰 경우

- 전 검지기의 정체도가 임계정체도보다 작은 경우



<그림 6> 임계정체도 보다 작은 경우

3) 모형의 한계 및 문제점

- 지점평균 속도를 사용하므로 교통상황에 따른 수집데이터의 변별력 미흡
- 모형의 모수가 3개(s1, s2, 임계정체도)로 최적화에 어려움.
- 주기길이와 녹색시간 크기에 따라 최적 모수값이 달라질 개연성이 있음.

<표 1> 교통상황별 정체도 분포

CASE	현장 상황	
case1		
case2		
case3		
case4		
case1		이상적인 상황
case2		①상류교차로 유출부 버스정류장부근 혼잡
case3		①링크 중앙부 횡단 보도 영향
case4		①상류교차로 유출부 버스정류장부근 혼잡 ②링크 중앙부 횡단 보도 영향

### III. 대기길이 추정 모형의 개선 제안 및 평가

#### 1. 대기길이 추정 모형의 개선 제안

- 신호제어시스템에 있어서 대기길이 추정 모형의 요구사항
  - 대기길이 추세를 잘 반영하면서 모형의 구조가 단순할 것
  - 신호제어에서 사용되는 대기길이는 경쟁하는 현시들간의 비율로서 적용되므로 상대적인 추세정도만 맞는다면 상당한 의미가 있다.
  - 주어진 신호 제어변수의 영향이 적을 것
  - 주어진 주기길이와 해당 이동류의 녹색시간의 변화에 따라 영향이 적어야 한다.
  - 현장에서 계속하기 쉬운 실질적인 데이터 이용
  - 현장에서 검지기로부터 수집이 가능한 속도, 점유, 비점유 등을 이용할 수 있어야 함.
- 대기길이 추정모형 개선제안
  - 지점평균 속도 대신 시간개념이 포함된 주기별 점유율(누적 점유시간 / 주기길이)을 정체도 대신 바로 사용함으로써 최적화 변수가 1개로 줄고 교통상황별 변별력도 제고될 것임.

#### 2. 제안 모형의 평가

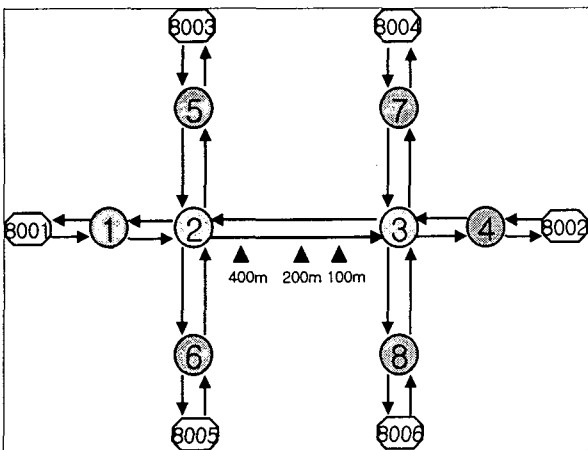
##### 1) 평가환경

###### ○ 평가도구

현장 적용시의 문제점을 정확히 파악하기 위해서는 사례지역을 선정하여 현장자료수집을 하여야 하나, 본 과업은 그 이전 단계로서 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 분석을 실시하였으며 시뮬레이션에는 TSIS 4.32의 NETSIM을 활용하였다.

###### ○ 가로망 구성

다음 그림과 같이 두 개의 내부 교차로로 구성된 가로망을 대상으로 본 분석 목적에 따라 하나의 접근로에 대해 충분한 링크길이(700m)를 가지도록 구성하였으며, 차량의 유입노드는 내부 교차로를 둘러싼 6개 Entry Node로 구성하였으며 대기길이 이용 검지기는 2->3 링크에 정지선으로부터 100m, 200m, 400m에 각각 설치하여 분석하였다.



<그림 7> 평가 대상 가로망도

##### 2) 자료 수집 및 평가방법

###### □ 자료수집 방법

먼저 다양한 교통조건, 신호조건에서의 샘플링 수를 확보하기 위하여 신호조건 및 교통조건을 다음과 같이 설정하여 각각의 케이스를 30분씩 분석하였으며 시뮬레이션 상의 관측 대기길이는 Moc출력 간격을 주기단위로 설정하여 각 주기별 대기차량길이를 수집하고 대기길이 추정에 사용될 검지기 자료는 각 지점에 설치된 검지기의 점유시간, 속도를 주기별로 수집 정리하여 분석하였다.

분석에 이용된 샘플링 주기수는 약 900주기(주기당 평균 150초 가정 시 37시간 정도)임.

<표 2> 자료수집 조건 및 설정범위

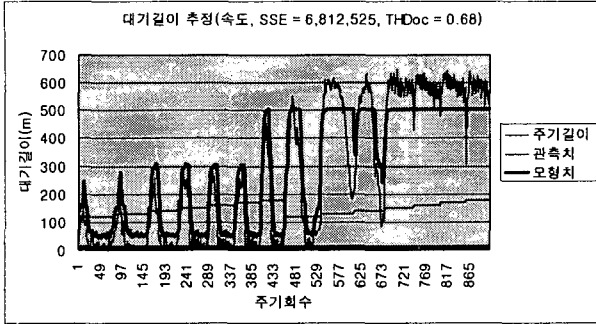
구 분	조 건	설정범위	변화폭
신호조건	신호주기	120 ~ 180	10초
	g/C비	10 ~ 80(%)	10%
교통조건	v/c비	0.5 ~ 1.0	0.1

###### □ 평가 방법

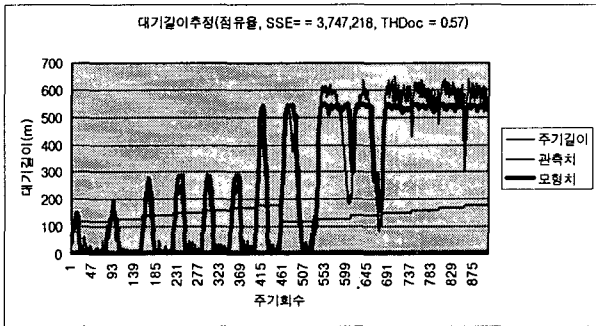
위 자료수집 방법에서 제시한 바와 같이 수집된 주기별 검지기별 속도, 점유율을 이용하여 기존 방식인 지점속도 기반의 추정 방식과 본 고에서 제안하는 점유율 기반 추정 방식에 적용하여 모형의 정확도, 모형의 추정 가능 범위, 모형의 안정성 측면에서 비교하는 것으로 함.

##### 3) 평가결과

- 시뮬레이션 환경(TRAF-NETSIM)에서 두가지 방법을 비교한 결과 예상한 바와 같이 개선된 방식이 훨씬 신뢰도가 높았음.
- 결과에 따르면 <그림 8>에서 보이는 바와 같이 현장의 대기길이 관측치에 잘 적용하고 있는 것으로 보이거나 여기서 주목할 점은 주기길이가 120초에서 150초 사이에서는 모형에서 추정된 대기길이가 현장관측치에 비해 과대평가되고 있음에 반해 주기길이가 160 - 180초 사이에서는 오히려 현장관측치에 비해 과소 평가되고 있음을 보임.
- 이는 실제 현장사례를 적용하기 전에는 단정할 수 없겠지만 본 결과만을 볼 때 지점속도를 이용할 경우 모형의 모수인 최적 임계정체도 값이 주기길이나 녹색시간에 따라 달라질 개연성이 있음을 시사함.
- 또한 대기길이 추정 가능 범위에 있어서도 50m ~ 500m 정도로 나타남.
- 이에 반하여 <그림 9>는 본 고에서 제안하는 방식으로 그림에서 보이듯이 주기길이에 따라 과소 혹은 과대 평가된 결과는 그다지 보이지 않고 있어 단일 임계정체도만 가지고도 만족할 만한 대기길이 추정능력을 보이고 있고 대기길이 추정 가능 범위에 있어서도 0m ~ 550m 정도를 보임으로서 기존방식에 비해 보다 탄력적임을 알 수 있다.



<그림 8> 기존방식에 의한 결과



<그림 9> 제안방식에 의한 결과

(1) 모형의 정확도(SSE)

관측치와 모형치와의 오차자승합으로 관측된 대기길이의 추정된 대기길이의 절대적 정확도를 나타낸다. 이외에 신호제어에 활용되는 모형의 추세 반영정도를 나타내는 상관계수도 지표로 활용하였다.

<표 3> 모형의 정확도 비교표

평가지표	속도 방식	점유율 방식	개선율1)(%)
SSE	6,812,525	3,747,218	45
상관계수	0.95	0.97	2

주1) 개선율은 속도에 의한 방식에 대한 점유율 방식의 개선율

(2) 모형의 추정 가능 범위(m)

모형이 추정하는 대기길이의 최소값과 최대값의 범위로 0 - 링크길이(m)가 최대 범위

<표 4> 모형의 추정범위 비교표

평가지표	속도 방식	점유율 방식	개선율1)(%)
추정범위(m)	50-500	0-550	22

(3) 모형의 안정성(%)

지점별 교통상황 즉, 지점속도나 점유율이 나타내는 모형의 정확도에 영향을 미치는 이상적인 정체도 분포율로서 주기당 이상적 분포를 나타내는 주기수로 표현하였다.

<표 5> 모형의 안정성 비교표

평가지표	속도 방식	점유율 방식	개선율1)(%)
이상적 상황(%)	89	89	0

## IV. 결론 및 향후 연구과제

본 과업에서 수행한 시뮬레이션 결과만을 놓고 본다면 본 고에서 제안하는 방식인 지점속도 대신 주기단위 점유율을 사용하는 것이 모형이 정확도와 대기길이 추정범위 측면에서 공히 우수한 결과를 얻었다.

또한 운영자 측면에서의 잇점으로는 기존 방식에서 요구되는 모수 s1, s2, Thdoc 값을 현장에 맞게 최적화 할 필요없이 점유율을 곧바로 정체도로 사용할 수 있다는 장점도 매력적일 수 있다.

본 고에서 제안하는 점유율 방식을 사용할 경우 물론 현장 상황에 따라 조정되어야 하겠지만 지정값으로는 기존 임계정체도에서 사용하는 값인 0.7 대신에 0.25 - 0.30 정도가 적당한 것으로 분석되었다.

단, 제안 모형의 한계로는 본 모형은 누적 점유시간을 계속 주기시간 동안의 점유율을 사용하기 때문에 만일 대기차량이 형성되어 있는 동안 차량이 검지기를 점유하지 않을 때는 상당한 오차를 가지게 된다는 문제가 있다.

따라서 제안방식의 모형의 추정 신뢰도를 제고하기 위해서는 현재 상류부 대기길이용 검지기인 1.8m X 1.8m 크기의 검지기의 차량흐름 방향으로 크게 하거나 아니면 아예 검지기를 쌍으로 설치하는 것이 필요하다고 하겠다.

아울러 본 고에서 다루지 못한 다음의 과제는 향후 연구과제로 남기고자 한다.

첫째, 본 고에서는 시뮬레이션만에 의한 결과이므로 향후 실제 현장 관측치에 의한 평가와 함께 앞서 지정값으로 제시한 임계정체도의 일반적인 값의 도출이 필요하다.

두 번째로는 링크 중간에 횡단보도가 존재할 때 이로 인한 영향은 하류교차로와 횡단보도의 연동값, 횡단보도 시간, 상류교차로부터의 차량 도착분포에 따라 달라질 것인 바, 이에 대한 연구가 필요하다.

마지막으로 신호제어시스템에서의 신뢰도 높은 대기길이 추정 기능은 과포하시 효율적인 신호제어에 필수적으로 요구되는 기능으로 향후 이와 관련된 후속연구가 활발히 진행되기를 바란다.

## 참고문헌

1. "신신호제어시스템 기술개발 2차년도 최종보고서", 1992, 도로교통안전관리공단
2. "신신호제어시스템 기술개발 3차년도 최종보고서", 1993, 도로교통안전관리공단
3. "1999년 신신호제어시스템 기능개선 최종보고서", 1999, 도로교통안전관리공단
4. "2000년 신신호제어시스템 기능개선 최종보고서", 2000, 도로교통안전관리공단
5. "Queue Estimation Algorithm for Real-time Control Policy Using Detector Data", 2000, Transportation Research Board's 79th Annual Meeting.