

점유율을 이용한 대기행렬길이 추정 알고리즘 개발

The Development of Traffic Queue Length Estimation Algorithm Using the Occupancy Rates

강 지 훈*
(Jihoon Kang)

오 영 태**
(Young-Tae Oh)

강 증 식***
(Jeung-Sik Kang)

요 약

본 연구는 대기행렬길이를 보다 정확하게 측정하는데 목적을 두고 있다. 현재 서울시 실시간 신호제어시스템(COSMOS)에서 적용되는 대기행렬산출 알고리즘은 평균차량길이와 점유시간을 이용하여 속도를 산출하고 이를 다시 밀도 개념의 정체도로 환산하여 대기행렬길이를 구하고 있다. 평균차량길이에 의한 속도산출로 인하여 오차가 발생되고, 운영자가 지정해 주어야 하는 값이 산재되어 그 값을 최적화하기가 어려워 정확한 대기행렬길이를 구하기가 어렵다.

따라서 본 연구에서는 정지선으로부터의 거리와 대기검지기에서부터 수집되는 점유율 간의 관계를 밝혀, 이를 대기행렬길이 산출 알고리즘에 적용하였다. 대기행렬길이 추정 알고리즘을 사용할 경우 루프 검지기에서 많은 가공단계가 필요하지 않은 기본 데이터인 점유율을 이용하여 대기행렬길이를 예측할 수 있다고 할 수가 있다. 그리고 운영자 지정값이 없어 현장 적용에 있어서 그 값에 대한 최적화 작업이 필요가 없어 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있다.

개발된 대기행렬길이 추정알고리즘을 COSMOS시스템이 운영중인 사이트(Site)에 적용할 결과 현재 사용 중인 대기행렬길이 추정 알고리즘 보다 우수한 것을 확인 할 수가 있었다. 하지만, 본 연구에서 개발된 대기행렬길이 추정 알고리즘을 일반적으로 적용하기 위해서는 다양한 현장 및 경우에 대하여 적용하여 검증할 하여야 할 것이다. 이에 관련한 연구가 향후 진행될 경우 현재 대기행렬길이 추정 알고리즘 보다 적용이 쉽고, 정확한 값을 얻는 알고리즘으로 완성될 것으로 기대한다.

Abstract

The purpose of this research is how to estimate the traffic queue length in the signal intersection accurately. The current traffic queue length algorithm in COSMOS has been using the congestion diagram which comes from the speed of an average separated vehicle - using average vehicle length and the occupancy time from loop detectors. So some errors were occurred by the speed estimation method using average vehicle lengths. And Operators had been difficult to optimize some variables for measuring the traffic queue length estimation algorithm in COSMOS. Therefore the traffic queue length estimation algorithm on the basis of the relation between distances and occupancy rates from loop detectors was developed in this thesis. This thesis had the advantage of using occupancy rates which came out from loop detectors easily and no need to optimize some variables for the established algorithm in COSMOS. And the results of testing this algorithm in some sites which had installed COSMOS system showed better results than COSMOS system's results. But it was noted that further studies which carry it out in various sites and under various cases are necessary for applying to actual intersections.

Key Words : Queue Length, Occupancy rate, COSMOS, Traffic Signal, Loop detector

* 주저자 : 아주대학교 일반대학원 건설교통공학과 박사과정

** 공저자 : 아주대학교 환경건설교통공학부 교수

*** 공저자 : 유틸정보 이사

† 논문접수일 : 2005년 3월 24일

1. 서 론

서울시에서는 다른 도시에 비해 차량증가로 인한 교통난이 심화되자, 이를 해소하기 위해 1991년부터 1993년까지 현장의 교통상황에 따라 실시간으로 신호시간을 산출해 주는 이른바 한국형 실시간 교통신호제어시스템 (이하 “실시간 신호제어시스템, COSMOS : Cycle, Offset, Split Model for Seoul”이라 칭함)의 개발을 완료하고, 1993년부터 1995년까지 현장시험과 시스템 검증을 거쳐 1997년 강남, 서초, 일원 61개 지점에 개발 시스템을 설치하여 시범운영을 실시하였다. 시범운영 결과 시스템 성능 면에서 도입 전의 전자신호시스템에 비하여 우월한 결과를 보였으나 여러 부분에서 보완해야 할 사항도 도출되었고, 이의 일환으로 1999년, 2000년, 2001년에 걸친 실시간 신호제어 시스템 기능개선사업으로, 현시점에서는 시스템의 효율성 검증 및 안정화가 어느 정도 이뤄졌다고 할 수 있다. 이러한 지속된 관심과 연구에 대한 투자로 인해 운영자의 편의성 향상, 시스템 안정성 제고는 물론 교통류의 효율적인 관리로 인해 자원절약과 환경오염감소 차원 및 통행시간감소 등 사회 전반적인 부분에서 큰 효과를 보고 있다.

이 시스템은 매 주기마다 수집되는 차량검지기 자료를 이용 현장의 교통상황에 적합한 신호주기길이, 녹색시간을 산출하고, 연동패턴을 선택하여 현장의 교통수요에 탄력적으로 대응하도록 되어 있다. 제어 원리에 있어서는 정지선 부근에 설치된 검지기를 통해 포화도(degree of saturation)를 계산하고 이 포화도에 따라 주기길이, 녹색시간, 연동값을 산출하게 되지만, 포화도는 주어진 녹색시간 동안 방출되는 차량에 의해서만 계속되는 지표이므로 결국 과포화시의 교통상황까지를 설명하지는 못한다. 따라서 도시부 신호교차로에서 과포화시 주기단위로 정확한 대기행렬길이를 계속 혹은 추정하여 포화도와 상호 보완적으로 활용하여, 보다 교통수요에 탄력적으로 적용할 수 있는 신호제어를 하고 있다.

대기행렬길이 추정 알고리즘은 대기행렬 검지기로부터 기초 자료를 제공받아 대기행렬길이를 예측

하여 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.

현재 속도를 이용한 정제도 모형에서 대기행렬 길이를 추정하고 있다. 이 방법의 경우 속도 산출시 단일루프 사용으로 인한 평균차량길이 사용으로 오차가 수반되어 있다. 그러므로 본 연구의 목적은 정확한 대기행렬길이를 구하기 위해 거리와 점유율 간의 관계를 이용한 대기행렬길이 추정 알고리즘 개발에 있다.

II. 이론적 고찰

1. 개별차량의 점유시간 기반 대기행렬길이 추정 모형

COSMOS 개발 초기(99년 기능개선 이전 모형)에 사용된 대기행렬길이 추정 모형으로 현장조사를 통해 점유시간과 그 때의 검지기 하류부 차량길이의 관계식을 회귀식으로 구축하여 추정하는 방식이다. 이 모형의 기본원리는 차량추종 모형으로부터 착안한 것으로 차량이 대기검지기를 통과할 때, 전방에 장애물(정지된 대기행렬길이의 후미차량)이 존재하는 경우, 장애물과의 거리가 영향거리 이내 이면 운전자는 장애물 뒤에 안전하게 정지할 수 있는 속도로 감속할 것이며, 이러한 감속율은 장애물과의 거리가 가까울수록 커진다. 여기서 영향거리는 장애물(정지된 대기차량)에 의하여 주행 차량의 반응에 영향을 주는 한계 거리라 할 수 있다. 이 모형의 유효 이격거리는 80~100m 정도로서 자료의 신뢰성을 고려할 때 최저치인 80m를 한계 이격거리로 사용한다. 이격거리(대기차량 끝단 ~ 대기 길이용 검지기 사이의 거리)와 점유시간의 회귀식은 다음과 같다.

$$Queue = -0.5 CummOcc^2 + 14.60 CummOcc - 5.656$$

$$이격거리 = 110 - Queue$$

여기서 주의할 점은 상기 모형식에서 Occ는 누적 점유시간(Cumulative Occupancy time)이고 실제 현장에서 수집되는 자료는 개개 차량단위의 점유율을 누적점유시간으로 변환하여 상기 모형식에 적용해야 한다. 모형식 결과도 모형 개발시 대기행렬길이이므로 이를 대기행렬길이 위치와 관계없이 적용하기 위해 이격거리로 일반화시켜 사용한다[6].

2. 정체도를 이용한 대기행렬길이 추정모형

1) 개요

99년 기능개선이후 단일 검지기만을 가지고 계속하는 문제점을 보완하기 위해, 최대 3 ~ 4지점(정지선으로부터 100m, 200m, 400m, 앞막힘검지기)에 설치하여 대기길이를 산출하였다. (99년 이후 기능개선에서는 정체도를 이용한 모형의 안정화에 대한 연구를 계속적으로 시행하였다[1,2].

현 COSMOS시스템에서는 대기행렬길이를 산정하기 위해 정체도를 산정하며, 정체도는 밀도와 속도 관계식에서 밀도를 대체한다. 각 대기 검지기에서 속도는 검지기에서 수집되는 점유시간을 속도로 환산하여 정체도를 구하고 임계 정체도에 해당하는 지점까지 정체 길이로 판단 이를 대기행렬길이로 사용한다[2].

2) 평균속도산출

속도산출 알고리즘은 상류부 검지기에 적용되는 알고리즘으로서 교통상태를 직간접적으로 설명해주는 정보이며, 대기행렬길이 산출시에 고려되는 전략적 측면에서 매우 중요한 자료가 된다. 속도를 산출하는 방법은 크게 점유율에 의한 방법과 개별 차량 속도 산정방법이 있다.

(1) 점유율에 의한 방법

속도는 교통과 밀도와와의 관계로 표현할 수 있고, 밀도는 점유율과의 관계를 갖는다. 이러한 관계를 이용하여 속도를 산정한다.

$$\text{속도} = \frac{\text{교통량}}{\text{밀도}} = \frac{\text{교통량}}{\text{상수값}(G) \times \text{점유율}}$$

여기서 상수값(G)은 기하학적 특성에 따라 매우 민감하게 변화되는 값으로서 주로 차량의 수와 구배로 인하여 많은 영향을 받는다. 운영자가 임의로 설정해주는 2.5 ~ 3.5 사이의 비교적 높은 값으로 과거 COSMOS 시스템에서 검지기가 하나만 매설되어 있을 때 사용하였던 알고리즘으로서 현재는 그 효용이 없다.

(2) 개별차량 속도에 의한 방법

개별차량 속도 산정방법은 차량이 검지될 때마다 점유시간만을 가지고 검지기 통과시간을 구하여 평균차량길이와 평균유효검지기길이를 이용하여 속도를 계산한 후 모든 차량에 대하여 평균값을 구한다.

$$\text{속도} = \frac{\sum \frac{\text{평균차량길이}(m) + \text{유효검지기길이}(m)}{\text{점유시간}}}{\text{교통량}}$$

현재 COSMOS 시스템에서 이용되는 속도산출 알고리즘으로서 평균차량길이는 4.5m ~ 5m 사이의 값으로 고정 입력되어 사용하고 있다. 이는 승용차들의 일반 평균값으로 화물차, 버스, 특수차량 등의 차량길이의 평균값은 아니고, 또한 평균차량길이 값의 입력은 검지기가 설치된 지역마다 설치한 제작회사마다 틀리기 때문에 이를 바탕으로 한 속도는 정확할 수는 없다고 할 것이다.

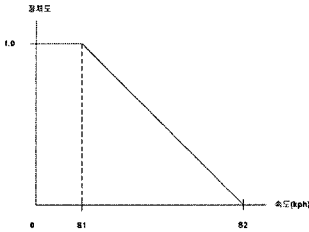
3) 정체도 산출

매 차량이 통과할 때마다 각 검지기별로 주기별 평균속도를 이용하여 정체도를 산출하되 각 검지기 사이의 정체도는 주어진 S1과 S2를 이용하여 선형으로 처리한다.

$$DOC(i) = -\frac{V(i) - S_1}{S_2 - S_1} + 1$$

DOC(i): 검지기 정체도(0~1.0)

- i: 검지기 순서(상류부부터 1,2 ~ n)
- V(i): 검지기별 속도 (kph)
- S1: 정체도 1.0과 대응되는 속도 (default:15, 접근로별 운전자 지정값)
- S2: 정체도 0과 대응되는 속도 (default:70, 접근로별 운전자 지정값)



<그림 1> 속도와 정체도와와의 관계

<Fig. 1> The relation between speed and congestion

4) 대기행렬길이 산출

임계정체도는 대기길이의 끝에서 나타나는 정체도이다. 즉 임계정체도가 나타나는 지점을 찾으면 대기행렬길이를 예측할 수 있게 된다. 임계정체도가 나타나는 지점은 각 대기 검지기에서 측정된 속도에 의해 산정된 정체도를 기반으로 찾으며, 다음과 같이 임계정체도가 나타나는 지점을 분류할 수 있으며 이 위치에 따라 대기행렬길이 산정식이 달라진다.

(1) 복수 검지기

- 임계정체도가 두 검지기 사이에 있을 경우

$$LOC_i = D(n-1) + [D(n) - D(n-1)] \cdot \frac{DOC(n-1) - THdoc}{DOC(n-1) - DOC(n)}$$

LOC_i : i주기의 정체길이

D(n) : n번째 검지기 설치위치(m)

DOC(n) : n번째 검지기 정체도 (0 - 1.0)

THdoc : 임계정체도 (default : 0.7, 운전자 지정)

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

$$LOC_i = D(n) + [D(n) - D(n-1)] \cdot \frac{DOC(n) - THdoc}{THdoc}$$

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

$$LOC_i = a \cdot \frac{D(1) \cdot DOC(1)}{THdoc}$$

a : 조정계수 (default 0.6, 운전자 지정)

(2) 단일 검지기

단일 검지기는 추세선을 이용할 수 없기 때문에 이 경우에는 임계 정체도가 위치하는 지점을 수치적 계산으로 정확하게 파악하는데 어려움이 있다. 이에 첫 번째 검지기의 정체도와 임계정체도의 비를 이용하여 개략적인 정체길이를 구한 후 조정계수 a로 보정하는 방식을 사용한다.

$$LOC_i = a \cdot \frac{D(1) \cdot DOC(1)}{THdoc}$$

a : 조정계수 (default 0.6, 운전자 지정)

5) 최종대기행렬길이 산출

산출된 정체도를 바탕으로 임계정체도를 포함하는 검지기 구간을 결정하고 검지기 구간내에서 대기행렬길이를 다음 식에 의하여 구하고 구해진 대기행렬길이와 과거 2주기의 정체길이를 이동평균하여 금번주기의 최종 대기행렬길이를 구한다.

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

CLOC(i) : 최종 조정된 금번주기의 정체길이(m)

LOC(i) : i주기의 정체길이(m)

f_i : i주기의 가중치

$$(f_0 = 0.5, f_1 = 0.3, f_2 = 0.2, \sum f_i = 1.0)$$

3. 기타 대기행렬길이 추정 모형

기타 대기행렬길이 추정 모형으로는 충격과 이론을 이용한 방법[8], 교통류 이론을 이용한 방법, 시공도법을 이용한 방법[9] 등이 있으나, 국내 교차로의 특성을 고려하여 경찰청에서 실험한 결과 점

유시간과 정체도 모형을 이용한 방법을 사용하였다 [4]. 그리고 교차로의 기하구조 등의 영향을 고려하여, 대기행렬길이를 추정하는 방법의 논문도 제시되었다[5].

Ⅲ. 대기행렬길이 알고리즘 개발

1. 한계점 도출 및 개발방향

COSMOS 초기에 도입되었던 개별차량의 점유 시간기반 대기행렬길이 추정 모형은 많은 Sample 을 가지고 회귀식을 이용하여 속도에 따른 점유시간을 이용하여 대기행렬길이를 산정하는 방식이다. 이는 일정거리에서 검지기를 매설 후, 검지기를 통과하는 점유시간이 길어진다는 원리에 따라 각 차량이 통과할 때 개략적인 대기행렬길이를 산출하는 것이다. 이 알고리즘의 한계점은 하나의 검지기만을 가지고 대기행렬길이를 추정하므로, 실제 상황과는 상당한 오차를 수반하게 된다는 것이다. 그리고 대기행렬길이의 재추 범위가 역시 국지적이다. 산출 대기행렬길이 값이 산출 알고리즘의 회귀식의 계수값에 따라 너무 민감한 결과를 가져온다.

개별차량의 점유시간 기반 대기행렬길이 추정모형의 한계점은 여러 차례의 기능개선 이후 현재 COSMOS에서는 그 한계점을 극복하고자 많은 연구와 시도가 도입되었다. 현재 COSMOS에서 사용되는 정체도를 이용한 대기행렬길이 추정 알고리즘은 정지선으로부터 100m, 200m, 400m 및 앞막힘 검지기 등의 여러 개의 검지기를 설치하여 대기행렬길이를 산출하고 있다. 개별차량의 평균 속도를 이용하여 산출된 정체도를 이용하여 대기행렬길이를 산출하고 있고, 다양한 여러 경우에 대한 수식이 나와 있어 보다 효과적으로 대기행렬길이를 구할 수가 있다. 그리고 이상값의 출현을 대비하여 과거 2주기의 대기행렬길이를 이동평균하여 급변주기의 대기행렬길이를 산정하고 있다.

하지만, 정체도 산출시 사용되는 개별차량의 속도 산출에서 평균차량길이를 이용하여 속도산출 단계에서 어느 정도의 오차를 수반한다고 할 수 있

다. 그리고 정체도값, 임계정체도, 조정계수 등의 운영자 지정값이 산재되어 이를 최적화 하는데 운영자들이 어려움을 겪고 있다.

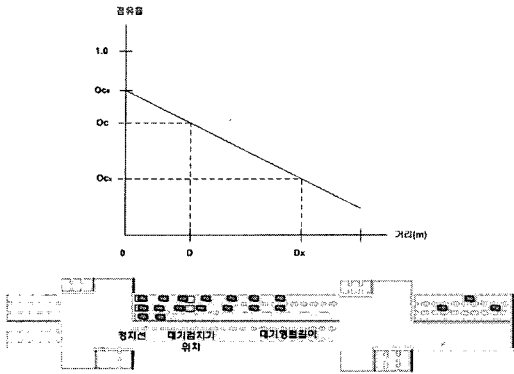
현재 사용되는 COSMOS시스템의 경우 평균차량길이를 이용한 속도 산출 단계에서부터 어느 정도의 오차를 수반된다고 할 수 있다. 검지기에서도 출될 수 있는 값 중에서 가공절차가 거의 없는 데이터를 이용한다면 오차는 상당히 줄어들 것으로 판단된다. 점유율은 검지기의 기초 자료로 많은 가공과정을 가지지 않을뿐더러, 값은 0 ~ 1 사이로 현재 정체도 모형과 비슷한 형태를 가져 현재 사용 중인 모형에 약간의 수정을 가한다면 사용가능 할 것이다. 그리고 현재 산재 되어 있는 운영자 지정값에 대하여 연구가 필요할 것이다. 여러 가지의 운영자 지정값이 존재하여 최적화에도 어려움이 있다. 점유율을 사용할 경우 정체도 산출시 사용되는 사용자 지정값이 사라질 것이다. 점유율과 거리간의 특징을 살펴볼 경우 운영자 지정값이 없는 알고리즘도 개발 가능 할 것이라고 생각이 된다.

결론적으로 점유율과 거리간의 관계를 이용하여 정확한 대기행렬길이를 구할 수 있는 알고리즘을 개발함과 동시에 운영자의 지정값 설정 없이 대기행렬길이를 구할 수 있는 알고리즘을 개발하는 것이 필요하다고 사료된다.

2. 대기행렬길이 알고리즘 기본원리

본 연구의 대기행렬길이 추정 알고리즘은 정지선으로부터의 거리와 점유율 간의 관계를 이용하여 개발한다.

점유율은 측정시간 동안의 점유시간의 비율로써 0 ~ 1의 값을 가진다. 점유율이 커진다는 것은 측정시간 동안의 점유시간이 증가를 의미하게 된다. 점유시간은 측정 차량의 길이와 속도에 영향을 받게 된다. 도심지 가로의 경우 승용차량이 거의 주종을 이루므로, 차량 길이가 거의 비슷하여 점유시간은 해당 검지기 위를 지나가는 차량의 속도에 영향을 받게 된다. 즉, 속도가 느린 차량이 해당 검지기 위를 통과하는 경우에는 점유시간이 증가하게



<그림 2> 정지선에서의 거리와 점유율간의 관계
<Fig. 2> The relation distances and occupancy rates from the stop line

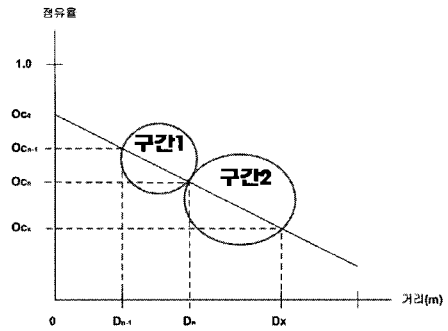
- 단, O_c : 대기검지기의 점유율 (0 ~ 1)
- O_{c_0} : 정지선의 점유율 (0 ~ 1)
- O_{c_x} : 대기행렬종단 점유율 (0 ~ 1)
- D : 검지기 설치위치 (m)
- D_x : 대기행렬길이 (m)

되고, 속도가 빠른 차량이 통과할 경우에는 점유시간이 감소하게 된다.

한 교차로의 접근로에서 진행 방향의 신호등에 적색 등화가 켜지는 경우, 해당 링크를 운행하는 차량은 정지선에 가까울수록 감속하면서 정지하게 된다. 정지선 가까이에서 감속을 한다는 것은 정지선에 가까울수록 점유시간이 늘어날 것이다. 결과적으로 점유율은 정지선에 가까울수록 1에 근접하고 정지선에 멀수록 점유율은 0에 근접하게 될 것이다. 즉, 일반적인 상황(일반적인 기하구조의 정상 교통류 상황)에서는 <그림 2>와 같이 정지선으로부터의 거리와 점유율은 반비례의 관계를 가지게 된다. [4] 이와 같은 거리와 점유율간의 관계를 이용하여 대기행렬길이 추정알고리즘을 개발한다.

3. 대기행렬길이 알고리즘 모형 구축

앞에서 일반적인 교통상황에는 정지선으로부터의 거리와 점유율은 반비례함을 알 수가 있었다. 이 원리를 이용하여 대기행렬길이 추정알고리즘은 <그



<그림 3> 대기검지기위치와 점유율간의 관계
<Fig. 3> The relation between the position of detectors and Occupancy rates

- 단, $O_{c_{n-1}}$: n-1번째 대기검지기의 점유율 (0~1)
- O_{c_n} : n번째 대기검지기의 점유율 (0~1)
- O_{c_x} : 대기행렬종단 점유율 (0~1)
- D_{n-1} : n-1번째 대기검지기 설치위치 (m)
- D_n : n번째 대기검지기 설치위치 (m)
- D_x : 대기행렬길이 (m)

림 3>과 같이 표현할 수 있다.

대기검지기위치와 점유율간의 관계를 나타낸 <그림 3>에서 구간1($D_{n-1} \sim D_n$)은 n-1번째 대기검지기에서 n번째 대기검지기까지의 거리이고, 구간2($D_n \sim D_x$)는 n번째 대기검지기에서 대기행렬 종단까지의 거리이다. 거리와 점유율간의 관계에 따라서 두 구간의 기울기는 동일하다. 이 원리를 이용하여 다음과 같이 정리한다.

$$\frac{O_{c_{n-1}} - O_{c_n}}{D_n - D_{n-1}} = \frac{O_{c_n} - O_{c_x}}{D_x - D_n}$$

$$D_x = D_n + (D_n - D_{n-1}) \cdot \frac{(O_{c_n} - O_{c_x})}{(O_{c_{n-1}} - O_{c_n})}$$

(단, D_x 는 $0 \leq D_x \leq \text{Link길이}$)

여기서,

- $O_{c_{n-1}}$: n-1번째 대기검지기의 점유율 (0~1)
- O_{c_n} : n번째 대기검지기의 점유율 (0~1)
- O_{c_x} : 대기행렬종단 점유율 (0~1)
- D_{n-1} : n-1번째 대기검지기 설치위치 (m)

D_n : n번째 대기검지기 설치위치 (m)

D_x : 대기행렬길이 (m)

Oc_x 는 대기행렬종단 점유율로서 대기행렬길이의 마지막 차량이 위치한 곳에 점유율을 의미한다. 이 점유율은 현재 사용 중인 임계점유율($THdoc$)와 비슷한 개념을 갖는다. 이 값은 0.1 ~ 0.3 정도로 하여 적용현장에 따라 최적화하여 사용한다[4].

앞의 알고리즘은 대기행렬종단 점유율을 운영자가 지정함으로써 이 값의 변화에 따라 대기행렬길이 가 변하게 되는 결과를 가져왔다. 따라서 본 연구의 알고리즘은 대기행렬 종단점유율을 사용하지 않고 대기검지기에서 수집되는 점유율간의 관계식을 이용하여 대기행렬길이를 추정한다.

<그림 3>에서 n-1번째 대기검지기에서 수집된 점유율과 n번째 대기검지기에서 수집된 점유율의 차이는 대기행렬길이 종단점유율과 동일함을 실험 결과에서 얻을 수가 있었다. <표 1>은 각 실험사이트에서 얻은 데이터를 바탕으로 하여 얻은 점유율 차와 대기행렬종단 점유율간의 동일성을 검증하였다.

<표1>은 4개의 사이트에서 얻은 두 개의 대기행렬검지기의 점유율의 차($Oc_{n-1} - \alpha_n$)와 앞의 식에서 운영자가 지정하였던 대기행렬종단 점유율(α_x : 대기행렬길이의 마지막 차량이 위치할 것이라는 곳의 점유율값)이 신뢰수준 95% 내에서 동일하다는 것을 보여 주고 있다.

즉, 앞의 식의 대기행렬종단 점유율(Oc_x : 운영자 지정값)을 사용하지 않고, 두 대기행렬 검지기의 점유율 차이를 이용하여 대기행렬길이를 추정할 수 있다는 결론을 얻을 수 있다.

위의 결과에 따라서

$$\alpha_x = Oc_{n-1} - \alpha_n \text{ 이라고 할 수 있다.}$$

이를 이전의 알고리즘에 대입하면 다음과 같은 알고리즘을 얻을 수 있다.

$$D_x = D_n + (D_n - D_{n-1}) \cdot \frac{(2\alpha_n - \alpha_{n-1})}{(\alpha_{n-1} - \alpha_n)}$$

(단, D_x 는 $0 \leq D_x \leq Link$ 길이)

<표 1> 대기검지기의 점유율과 대기행렬 종단 점유율의 비교

<Table. 1> Queueing occupancy rates and setting Default for the queue length

구분	현대체육관 (WB)		현대체육관 (EB)		삼성역		영동세브란스	
	점유율차	종단점유율	점유율차	종단점유율	점유율차	종단점유율	점유율차	종단점유율
표본크기	30	30	30	30	30	30	30	30
평균	0.145	0.149	0.131	0.132	0.206	0.210	0.086	0.094
표준편차	0.029	0.026	0.020	0.024	0.035	0.035	0.016	0.020
검정통계량Z	0.572		0.281		0.465		1.769	
유의수준 5%검정 결과	유의수준내 두 값은 동일		유의수준내 두 값은 동일		유의수준내 두 값은 동일		유의수준내 두 값은 동일	

단, 점유율차 및 점유율은 정규분포를 따른다고 가정, 유의수준 5% 일때 $Z = 1.96$

여기서,

Oc_{n-1} : n-1번째 대기검지기의 점유율 (0~1)

Oc_n : n번째 대기검지기의 점유율 (0~1)

D_{n-1} : n-1번째 대기검지기 설치위치 (m)

D_n : n번째 대기검지기 설치위치 (m)

D_x : 대기행렬길이 (m)

이전의 알고리즘과 비교하여 사용자 지정값인 대기행렬종단 점유율을 사용하지 않으므로 운영자는 사이트별로 상수값을 최적화 할 필요 없이 바로 적용 가능 할 수 있을 것으로 기대된다. 그리고 고정값이 아니라 대기검지기에서 올라오는 점유율에 따라 변동하기 때문에 보다 정확한 대기행렬길이를 구할 수 있을 것이라고 판단된다.

IV. 알고리즘의 평가 및 검증

1. 평가 환경

본 연구에서 개발 알고리즘을 검증하기 위하여 비교하여할 대기행렬길이는 개발 알고리즘, COS-MOS 시스템(현재 운영 중), 실측 자료를 통해 구

할 수가 있다. 이에 따라서 수집해야 할 데이터는 다음과 같다.

1) 조사 교차로의 기하구조

조사 교차로는 COSMOS 시스템 설치기준에 따라 대기검지기가 설치되고 정상적인 운영을 보이면서 일반적인 상황을 대표할 수 있는 곳을 선정하였다. 조사대상 교차로는 서울시의 강남권의 현대체육관 사거리, 영동세브란스 사거리, 삼성역 사거리를 선정하였다.

2) 현 COSMOS 시스템 데이터

COSMOS 시스템에서 얻어야 할 데이터는 해당 링크의 대기검지기 점유율과 현재 COSMOS에서 산출되는 대기행렬길이이다. 이에 관련된 데이터는 서울경찰청 COSMOS 운영팀의 협조를 받았다. 실측 대기행렬길이 측정일시에 맞는 MOE & LOG REPORT 출력 FORM을 이용하였다. 이는 조사 구간의 교차로, 접근로, 이동류, 검지기, 모드의 5개의 파일로 구성되어 있고, 여기에는 조사 교차로의 여러 정보가 포함되어있다.

3) 실측 대기행렬길이

(1) 조사시간

실측 대기행렬길이는 대표적인 교통패턴을 찾기 위하여 주말과 휴일을 피하여 측정하였고, 30주기의 대기행렬길이를 측정하였다.

- 실측 조사일시

- 현대체육관 사거리 EB : 11월 17일 (수)
13:45 ~ 15:00
- 현대체육관 사거리 WB : 11월 17일 (수)
15:20 ~ 16:38
- 영동세브란스 사거리 : 11월 30일 (화) 16:48 ~ 18:00
- 삼성역 사거리 : 12월 7일 (화) 15:44 ~ 16:57

(2) 조사방법

미리 선정된 4개의 사이트에 대하여 검지기 설

치 도면을 이용하여 계획을 잡는다. 조사대상 사이트의 도면과 현장 기하구조에 대한 비교 및 수정을 한다.

굴렁자(Walking Measure)를 이용하여 조사링크의 연석에 5m간격으로 다양한 색의 락커로 표시하여 조사원이 거리를 파악할 때, 용이 하도록 하였다.

1명은 조사교차로 정지선 부근의 교통신호등이 용이하게 보이는 위치에서 링크 내 적색시간이 끝나는 시점(녹색시간의 시작시점)을 확인하여 상류부의 다른 조사원에게 이 시점을 무선기를 통하여 알려준다. 2명으로 구성된 대기행렬중점의 조사원은 무선기로 신호를 받으면 연석의 표시를 기준으로 하여 미리 준비된 시트에 실측 대기행렬길이를 기입한다. 이와 같은 방법으로 30주기 동안 연속으로 측정을 한다. (정상적이고 일반적인 상황에서의 교통데이터를 수집하였음. 사고와 같은 외부 요인이 존재하지 않음)

2. 자료 분석 방법

개발된 알고리즘의 평가를 위해 평균절대편차(MAD: Mean Absolute Deviation)와 평균절대비율오차(MAPE : Mean Absolute Percent Error)를 사용한다.

1) 평균절대편차 (MAD : Mean Absolute Deviation)

평균절대편차는 예측오차의 척도로서 가장 많이 쓰이며, 평균절대오차는 오차의 절대치를 모두 더한 다음 이를 데이터수로 나눈 값이다.

$$MAD = \frac{\sum |A_i - F_i|}{n}$$

A(Actual) : 관측값

F(Forecast) : 모형값

2) 평균절대비율오차 (MAPE : Mean Absolute Percent Error)

상대오차의 개념을 적용하여 데이터 수에 따라 추정값이 크게 달라질 경우 유용한 예측오차의 측

정방법이다.

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|A_i - F_i|}{A_i} \times 100}{n}$$

A(Actual) : 관측값

F(Forecast) : 모형값

3. 검증 결과

본 연구를 통해 구해진 대기행렬길이와 COSMOS를 통해 구해진 대기행렬길이를 실측자료와 비교하였다.

평균절대편차와 평균절대비율오차를 통한 검증 결과, 본 연구결과로 개발된 대기행렬길이 추정 알고리즘의 MAD의 값이 6.88, 8.16, 18.55, 1071이고, MAPE의 값은 3.14, 3.06, 4.55, 3.95로 확인할 수 있었다.

즉, MAD와 MAPE 값이 0에 가깝다는 뜻은 개발된 알고리즘을 통한 대기행렬길이 추정이 COSMOS에 비하여 우수함을 나타내고 있다.

<표 2> 개발 알고리즘 비교

<Table. 2> MAD and MAPE

구 분		현대체육관 (EB)	현대체육관(WB)	영동세 브란스	삼성역
MAD	본 연구	6.88	8.16	18.55	1071
	COSMOS	31.83	44.50	51.67	25.00
MAPE	본 연구	3.14	3.06	4.55	3.95
	COSMOS	13.73	17.29	12.52	9.72

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 정지선으로부터의 거리와 점유율의 관계를 이용하여 보다 정확한 대기행렬길이를 구하고자 하였다. 정지선에서의 거리가 증가 할수록 점유율이 감소하는 원리와 대기행렬길이의 종단 점유율을 고려하지 않고, 두 검지기 간의 점유율의 관계를 이용한 대기행렬길이 추정 알고리즘을 개발하였다.

3개의 사이트의 검증 결과 현재의 COSMOS 방

식보다 우수함을 확인하였다. 본 연구의 대기행렬길이 추정 알고리즘을 사용할 경우 루프 검지기에 많은 가공단계가 필요하지 않은 기본 데이터인 점유율을 이용하여 대기행렬길이를 예측할 수 있다고 할 수가 있다. 그리고 운영자 지정값이 없어 현장 적용에 있어서 그 값에 대한 최적화 작업이 필요가 없어 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있다.

하지만, 본 연구의 경우 가장 일반적인 상황과 일부 현장 사이트(Site)에 대해서만 개발된 대기행렬길이 추정알고리즘을 적용하였다. 본 연구에서 개발된 대기행렬길이 추정 알고리즘을 일반적으로 적용하기 위해서는 다양한 현장 사이트 및 경우에 대하여 적용하여 검증하여 할 것이다. 향후에 이러한 점에 대하여 본 연구에서 개발된 대기행렬길이 추정 알고리즘을 적용하여 타당성이 검토될 경우 현재 보다 더 정확하게 대기행렬길이를 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 서울지방경찰청, "실시간 신호제어시스템 기술 운영 보고서 (기술운영 및 주행사)", 2004
- [2] 서울지방경찰청, "신신호시스템 기능개선 용역", 2000
- [3] 서울지방경찰청, "COSMOS 2001 실시간 신호 제어시스템 실무해설집", 2002
- [4] 성기주, 이철기, 정준하, 이영인, 박대현, "실시간 신호제어시스템의 대기행렬길이 추정 알고리즘 개발", *한국ITS 학회논문지*, 제3권 제1호, 2004
- [5] 이용중, "실시간 신호제어시스템에서 대기행렬길이 산출 알고리즘 개발", *아주대학교 공학석사학위논문*, 2003
- [6] 이대원, "상류부검지기 점유특성에 의한 대기행렬 예측 모형", *아주대학교 공학석사학위논문*, 1994
- [7] Adof D. May, *Traffic Flow Fundamentals*, Prentice Hall, 1990
- [8] Zong Tian, Carroll Messer, Kevin Balke, "Modeling the Impact of Ramp Metering Queues on Diamond Interchange Operations",

〈 저자 소개 〉



강 지 훈 (Kang, Jihoon)

1995년 3월~2002년 2월 : 아주대학교 환경도시공학부 교통공학전공 졸업 (학사)
2001년 9월~2004년 3월 : (주)유티정보 시스템 개발부 대리
2003년 3월~2005년 2월 : 아주대학교 일반대학원 건설교통공학과 졸업 (석사)
2005년 3월~현재 : 아주대학교 교통연구센터 연구원
2005년 9월~현재 : 아주대학교 일반대학원 건설교통공학과 박사과정



오 영 태 (Oh, Young-Tae)

1983년 8월 : 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 도시계획석사
1985년 1월 : Polytechnic Institute of New York, U.S.A 교통공학석사
1989년 1월 : Polytechnic University 교통공학박사
현재 : 아주대학교 환경건설교통공학부 교수, 아주대학교 교육처장, 대한교통학회 부회장



강 증 식 (Kang, Jeung-Sik)

1991년 2월 : 아주대학교 공과대학 산업공학과 (학사)
1993년 2월 : 아주대학교 일반대학원 건설교통공학과 (석사)
2002년 2월 : 아주대학교 일반대학원 건설교통공학과 (박사수료)
현재 : (주)유티정보 이사