

교통량 가중평균 방법을 적용한 COSMOS 속도 추정

Speed Estimation by Applying Volume Weighted Average Methods in COSMOS

이 상 수*
(Sang-soo, Lee)

이 승 환**
(Seung-hwan, Lee)

오 영 태**
(Young-Tae Oh)

송 성 주****
(Sung-ju Song)

요 약

국내에서 사용되는 실시간 신호제어시스템은 각 차로별로 계산된 지점속도를 산술평균 모형을 적용하여 접근로의 속도로 추정하고, 이를 대기길이 추정 모형 과정에 중요 변수로 사용한다. 본 연구에서는 현재의 산술모형의 적정성을 검토하고 하나의 대안으로서 교통량 가중평균 모형을 제시하였다. 그리고 교통량 가중평균 모형과 평균 개별차량 지점속도의 이론적 관계를 해석하고, 이를 관계식으로 표현하였다. 제시된 관계식으로부터, 가중평균 모형은 각 차로의 교통량 이용비율과 평균속도 차이에 따라 산술평균과 선형적인 차이를 갖는 것을 파악하였다.

두 가지 모형에 대한 평가를 위하여 실시간 신호제어시스템으로 운영되는 한 개 교차로로부터 자료를 수집하여 각각 적용하였다. 분석 결과, 가중평균 모형이 현재의 산술평균 모형보다 현장 상황을 합리적이고 안정적으로 나타내는 대기행렬 추정값을 제시하였다. 따라서 가중평균 모형을 실제 운영에 적용하는 것이 실시간 신호제어시스템의 기능적 안정성에 도움을 줄 수 있다고 판단된다.

Abstract

COSMOS(Cycle, Offset, Split Model for Seoul), a real-time traffic adaptive signal system, estimates queue lengths on each approach on the basis of arithmetic average spot speeds calculated on loop detectors installed at each of two adjacent lanes.

In this paper, A new method, a traffic volume-weighted average method, was studied and compared with the existing arithmetic average method. It was found that the relationship between the ratio of volumes of two lanes and the difference of average speed of each lane has a linear form. With field data, The two methods were applied and the proposed method shows more stable and reasonable queue estimation results.

Key Words : 실시간 신호시스템, 지점속도, 산술평균, 가중평균, 대기행렬 산출 알고리즘

1. 서 론

서울시는 1991년부터 1993년까지 3년간에 걸쳐 현장의 교통상황을 반영하여 자동으로 신호시간을 산출하는 한국형 실시간 교통신호제어 시스템(이하 “실

시간 신호제어시스템, COSMOS”라 함)의 개발을 완료하였다(서울지방경찰청, 1991, 1992). 아울러 1993년부터 1995년까지 현장시험과 시스템 검증을 병행하여 수행하였고, 1997년부터 강남, 서초 일원 61개 지점에 설치를 시작하여 현재 409개소(교차로)에서

* 회원 : 아주대학교, 환경·도시공학부, 조교수

** 회원 : 아주대학교, 환경·도시공학부, 교수

*** 회원 : 아주대학교, 건설교통공학과, 석사과정

† 논문접수일 : 2003년 4월 26일

† 이 논문은 2002학년도 1학기 아주대학교 정작연구비 지원에 의하여 연구되었음.

성공적으로 운영을 하고 있다. 그리고 3차례에 걸친 기능개선 사업을 통하여 운영자의 편의성 향상, 시스템의 안정성 제고 및 운영의 효율성을 향상하기 위한 제어 알고리즘의 보완을 수행하여 보다 안정화된 운영 환경을 갖추게 되었다(서울지방경찰청, 1999, 2000, 2001). 또한 시스템의 체계적인 발전을 위한 중·장기적인 발전기본계획을 수립하여 제시하였다(서울지방경찰청, 2001).

실시간 신호제어시스템은 포화도(Degree of Saturation)를 기반으로 한 교통류 제어방법을 채택하였고, 이는 비포화화 및 근포화화의 교통상황에서는 상당히 효율적인 제어가 되고 있지만, 포화도가 '1'을 넘는 상황에서는 실제 교통수요나 혼잡도를 반영하지 못하는 한계가 있다. 최근에 수행된 기능개선 과제에서는 특별히 과포화제어에 대한 연구가 활발히 진행이 되었고, 이와 같은 한계점을 보완하기 위해서 과포화시에는 대기행렬 길이를 고려하여 신호시간 계획을 수행하도록 개선하였다. 이와 같은 전략을 효과적으로 수행하기 위해서는 우선적으로 정확한 대기행렬 길이의 측정이 요구된다.

현재 실시간 신호제어시스템의 경우 대기행렬길이 추정값은 현장의 대기행렬 예측용 검지기에서 수집되는 주기단위의 점유시간을 이용하여 계산된 지점속도에 의해서 수행되어진다. 검지기에 의해 수집된 점유 및 비점유시간 정보는 지역제어기(Local Control, L/C)에서 주기평균의 차로별 지점 속도로 가공이 되어지고, 이는 다시 신호제어 컴퓨터(Regional Computer, R/C)로 보내져 각 차로별 지점속도를 산술평균하여 접근로별 평균 속도로 변환이 되어 신호제어에 이용된다.

그러나 COSMOS에서 적용하는 접근로 속도산출 방법이 실제 교통상황을 적절히 반영하는가에 대한 논란이 지속되어 왔다. 현재의 산술평균방법은 각 차로별 교통상황을 동일한 조건이라고 가정하여 적용한 결과이다. 현실적으로 이러한 가정은 설득력이 낮으며, 이를 반증하는 사례는 쉽게 찾을 수 있다. 그리고 이러한 가정 하에 산정된 추정값이 실제 교통상황을 어느 정도로 적정히 반영하는 지에 대한 것도 명확한 결론이 내려 있지 않다.

본 연구에서는 실시간 신호제어시스템의 대기행렬 길이를 결정하는 중요한 변수로서 사용하는 지점속도의 의미를 분석하여 제시한다. 그리고 지점속도 산정하기 위해 현재 사용되는 산술평균 모형의 의미를 정의하고 하나의 대안으로서 교통량을 이용한 가중평균 모형을 제시한다. 또한 가중평균과 개별속도의 관계를 파악하여 하나의 선형적인 모형으로 나타내었다. 마지막으로 제시된 두 가지 모형에 대하여 실시간 신호제어를 통하여 현장에서 수집된 일일운영자료를 이용하여 각 모형이 제시하는 추정값의 적정성을 평가하였다.

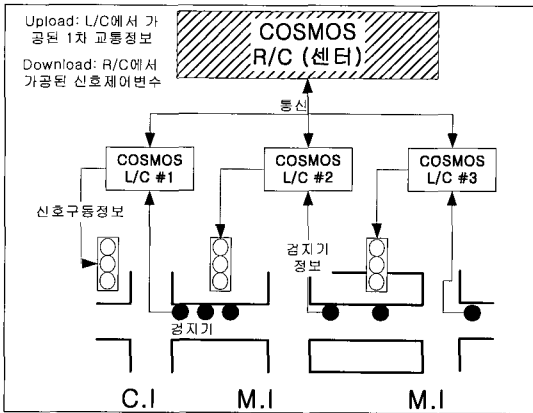
개별 차량 지점속도는 단일루프검지기에서 수집되는 점유시간과 평균차량의 길이를 이용하여 추정되며(May, 1990), 국내에서도 이를 적용하고 있다. 그러나 이는 단일 차로에 대한 가정에서 시작된 것으로 본 연구의 내용적 범위인 다 차로 접근로의 지점속도를 가공하는 방안에 대한 연구는 국내·외적으로 이루어지지 않았다.

2장에는 실시간 신호제어시스템의 속도가공 흐름이 개략적으로 설명되고 3장에는 두 모형의 이론적인 관계식이 제시된다. 4장에는 두 모형에 대한 비교, 평가 결과를 설명하고, 마지막장에는 본 연구의 결론이 제시된다.

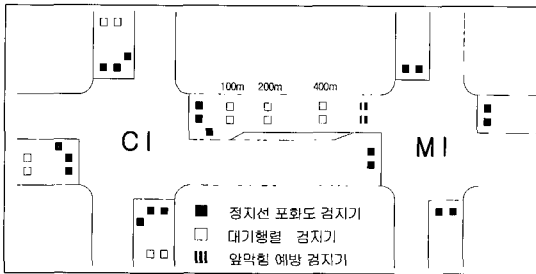
II. 이론적 고찰

1. 실시간 신호제어시스템 개요

서울시 실시간 신호제어시스템의 개념적인 구성체계는 그림 1과 같다. 이는 신호제어 컴퓨터(R/C)와 현장의 지역제어기(L/C), 검지기 등 크게 3개의 서브시스템으로 분류할 수 있다. 현장에 설치된 검지기를 통하여 실시간 교통정보를 수집하여 지역제어기로 보내고, 지역제어기에서는 검지기에서 수집된 교통정보를 가공하여 각 교차로의 매 주기 끝단에서 신호제어 컴퓨터로 보낸다. 신호제어 컴퓨터에서는 각 지역제어기에서 올라오는 정보를 종합하여 최적의 신호시간을 계산하여 다시 지역제어기로 신호제어 변수를 보내고 지역제어기에서는 이를 이용하여 신호기를 구동한다.



〈그림 1〉 실시간 신호제어시스템 체계



〈그림 2〉 실시간 신호제어시스템 검지기 체계

1.1 지역제어기(L/C): 1차 교통 정보 가공

국내에서 사용되는 실시간 신호제어시스템의 일반적인 검지기 체계는 그림 2와 같다. 각 검지기는 전략적인 용도에 따라 정지선 및 링크중간에 매설되어 있고, 이들 검지기는 근접한 지역제어기에 우선으로 연결되어 통과 차량의 점유시간과 비점유시간 정보를 보내고 있다. 현재 검지기는 접근로의 각 지점별로 2개 차로 이하에 설치되어 있다.

이 검지기들을 매설위치별 및 용도별로 구분하여 보면, 다음 표 1과 같다. 정지선에 매설되어 있는 검지기는 점유 및 비점유 정보를 이용하여 split, cycle, offset 등 신호 계획의 주요 변수를 결정하는 DS값을 제공한다. 또한 상류부에 있는 검지기는 점유시간을 수집하여 대기행렬길이 예측과 앞막힘 예방제어를 하는데 중요한 변수로 사용되는 지점속도를 제공한다.

1.2 신호제어 컴퓨터(R/C): 2차 교통정보 가공

신호제어 컴퓨터에서는 지역제어기에서 매주기

〈표 1〉 실시간 신호제어시스템 검지기별 수집정보

구분	용도	수집자료	적용알고리즘
정지선	좌회전	비점유 수, 비점유시간	좌회전포화도, 오정보판단
	직진	교통량, 점유/비점유시간	검지기 Active, 직진포화도, 오정보판단, 포화교통류율
상류부	앞막힘 예방용	점유시간	검지기 Active, 지점속도
	대기행렬 예측용	점유율, 점유시간, 교통량	검지기 Active, 지점속도

모뎀통신을 통하여 각 교차로별, 각 차로별, 각 위치별로 올라오는 1차 가공 교통정보를 각 교차로별, 각 접근로별, 각 위치별로 교통정보를 정렬 및 가공한다. 이를 이용하여 다음주기 최적의 신호계획을 설계하여 다시 지역제어기로 보내주는 역할을 한다.

2. 차로별 지점속도 산정 모형

개별 차량을 이용한 지점 속도 산정방법은 차량이 검지될 때마다 점유시간만을 가지고 검지기 통과시간을 구하여 운영자가 지정한 평균 차량길이와 평균 유효검지길이를 이용하여 속도를 계산한 후 모든 차량에 대하여 동일한 평균값으로 나타낸다. 현재 실시간 신호제어시스템에서 사용하는 모형은 식 (1)과 같다(서울시 지방경찰청, 2001).

$$V_i = \frac{\sum (L_{Veh} + L_{Sensor})}{N \cdot Occ_i} \times 3.6 \quad (1)$$

V_i : 주기 평균 개별차량 지점속도(km/h)

L_{Veh} : 차량의 평균 길이(m)

L_{Sensor} : 검지기의 평균 유효 검지길이(m)

Occ_i : i 번째 개별 차량 점유시간(sec)

N : 주기 누적 통과 차량교통량(veh)

3. 접근로 평균 지점속도 산정 방법

링크 상류부에 매설되어있는 대기행렬 예측용 검지기에서 수집되는 점유 정보를 이용하여 주기 누적 교통량과 주기 평균 점유율을 가공한다. 이들

정보를 이용하여 지역제어기에서 각 검지기의 주기 평균 지점속도를 만들어 낸다. 지역제어기에서 계산된 각 검지기의 주기평균 지점속도는 신호제어 컴퓨터로 전송되어 각 차로로별, 각 접근로별, 각 매설위치별, 각 차로로별 검지기정보가 정렬이 된다. 이것은 다시 신호제어 컴퓨터에서 동일위치의 각 차로들의 주기 평균속도를 아래의 식 (2)와 같이 산술 평균하여 그 지점의 접근로별 주기평균 속도를 나타낸다.

$$V_{am} = \frac{V_a + V_b}{2} \quad (2)$$

V_{am} : 접근로별 산술평균 지점속도 (km/h)

V_a : a차로의 주기평균 지점속도 (km/h)

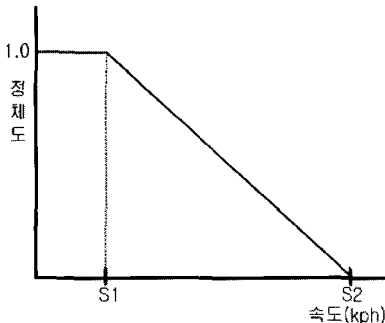
V_b : b차로의 주기평균 지점속도 (km/h)

4. 지점속도를 이용한 대기길이 추정모형

실시간 신호제어시스템은 지점속도와 정체도, 그리고 운영자가 지정하는 여러 파라미터를 이용하여 대기행렬을 추정하는 모형을 사용하고 있다(서울시 지방경찰청, 2000).

4.1 정체도 산출

앞에서 제시된 식 (2)를 이용하여 계산된 각 검지기 100m, 200m, 400m 위치별 산술평균속도를 이용하여 아래의 식 (3)을 통해 해당 검지기 위치별 정체도로 환산하며 그림 3은 모형에서 가정하는 속도와 정체도와의 관계를 나타내고 있다.



〈그림 3〉 정체도와 속도관계

$$DOC(i) = -\frac{V(i) - S1}{S2 - S1} + 1 \quad (3)$$

여기서,

i = 검지기 순서(상류부부터 1, 2, ... n)

$V(i)$ = 위치별 산술평균 속도(kph),

$D(i)$ = 검지기 설치위치(m)

$DOC(i)$ = 검지기 위치별 정체도(0 - 1.0)

$S1$ = 정체도 1.0과 대응되는 속도

(default: 15, 접근로별로 운영자 지정값)

$S2$ = 정체도 0과 대응되는 속도

(default: 70, 접근로별로 운영자 지정값)

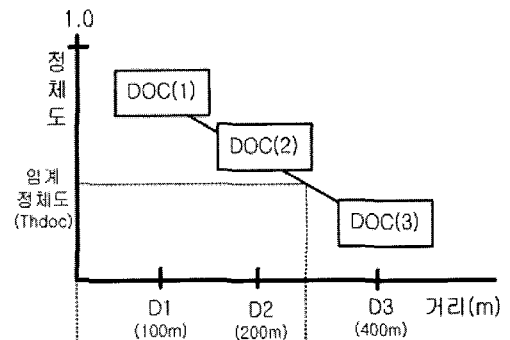
4.2 현 주기 대기길이 산출

위의 식 (3)에서 산출된 각 위치별 정체도를 바탕으로 사전에 운영자가 지정한 임계정체도를 포함하는 검지기구간을 결정하고 검지기 구간 내에서 현 주기의 대기행렬길이를 식 (4)를 이용하여 구한다. 다음 그림 4는 정체도와 대기길이의 관계를 도시하고 있다.

$$\text{대기길이} = D(i-1) + \frac{[(D(i) - D(i-1))] \times [THdoc - DOC(i-1)]}{[DOC(i) - DOC(i-1)]} \quad (4)$$

여기서,

$THdoc$ = 임계정체도(default: 0.7, 운영자 지정)



〈그림 4〉 정체도와 대기길이관계

4.3 대기행렬길이 산출

앞에서 산정된 현주기 대기행렬길이를 아래 식

(5)와 같이 과거 2주기의 대기행렬길이와 이동 평균하여 금번주기의 최종 대기행렬 길이로 추정한다.

$$CLOC(i) = LOC(i) \times f_0 + LOC(i-1) \times f_1 + LOC(i-2) \times f_2 \quad (5)$$

여기서,

$$CLOC(i) = \text{최종 조정된 금번주기의 대기길이(m)}$$

$$LOC(i) = i\text{주기의 대기길이(m)}$$

$$f_i = i\text{주기의 가중치}(f_0=0.5, f_1=0.3, f_2=0.2, \sum f_i=1.0)$$

Ⅲ. 가중평균 지점속도 모형

1. 산술평군을 이용한 지점속도 가공의 의미

각 차로별 지점속도를 동일지점의 접근로별 지점속도로 가공하는 과정에서 산술평군을 사용하는 것은 '각 차로의 교통 상황이 동일하다'라는 가정을 기반으로 하고 있다. 즉 해당 접근로의 모든 차로이 미치는 영향을 동일하게 적용하는 것이다. 그러나 실제 현장에서 접근로의 각 차로별 교통상황이 다른 경우가 많이 발생하며, 이러한 경우에는 산술평군으로 계산된 지점속도 값은 그 지점 상황을 적절하게 대표하는 값이 아닐 수 있다.

예를 들어 한 접근로가 2차로로 구성되며, 한 주기 동안에 1차로를 1대의 차량이 지점속도 10km/h로 통과하고, 2차로는 20대의 차량이 평균지점속도 70km/h로 통과하였다. 이러한 경우 현재의 시스템은 해당접근로의 평균속도로 40km/h로 추정하게 된다. 그러나 이러한 추정값이 해당 접근로에서 주기 동안 발생한 교통속도(상황)를 나타낸다고 보기에 합리적인 근거가 미약하다.

2. 교통량 가중평균 지점속도

산술평군에 의한 지점속도 추정방법을 개선할 수 있는 방법 중 하나는 교통량에 기반한 가중평균

방법을 적용하는 것이다. 즉 각 차로의 상대적인 교통량 이용비율을 고려한 가중평균으로 해당 접근로의 속도를 나타내면 위에서 제시한 예에서 나타나는 한계점을 극복할 수 있다. 2개 차로를 갖는 접근로에서 교통량을 이용하여 가중평균값을 계산하는 방법은 다음 식 (6)과 같다.

$$V_{wa} = \frac{N_a \times V_a + N_b \times V_b}{N_a + N_b} \quad (6)$$

V_{wa} : 접근로별 가중평균 지점 속도 (km/h)

V_a : a차로의 주기 평균 지점속도 (km/h)

V_b : b차로의 주기 평균 지점속도 (km/h)

N_a : a차로의 주기 누적 교통량 (veh)

N_b : b차로의 주기 누적 교통량 (veh)

3. 교통량 가중평균 지점속도의 해석

식 (1)을 사용하여 두 개 차로의 지점속도를 나타내면 다음 식 (7)과 식 (8)로 각각 표현된다.

$$V_a = \frac{\sum_{N_a} \left(\frac{L_{Veh} + L_{Sensor}}{Occ_a} \right)}{N_a} \times 3.6 \quad (7)$$

$$V_b = \frac{\sum_{N_b} \left(\frac{L_{Veh} + L_{Sensor}}{Occ_b} \right)}{N_b} \times 3.6 \quad (8)$$

식 (7)과 식 (8)를 식 (6)에 대입하면 식 (9)와 같다.

$$\begin{aligned} V_{wa} &= \frac{N_a \times \frac{\sum_{N_a} \frac{L_k}{Occ_a}}{N_a} \times 3.6 + N_b \times \frac{\sum_{N_b} \frac{L_k}{Occ_b}}{N_b} \times 3.6}{N_a + N_b} \\ &= \frac{\sum_{N_a} \frac{L_k}{Occ_a} \times 3.6 + \sum_{N_b} \frac{L_k}{Occ_b} \times 3.6}{N_a + N_b} \\ &= \frac{\left(\sum_{N_a} \frac{1}{Occ_a} + \sum_{N_b} \frac{1}{Occ_b} \right) \times L_k \times 3.6}{N_a + N_b} \quad (9) \end{aligned}$$

이때, $L_k = L_{Veh} + L_{Sensor}$

식 (9)에서 괄호로 표현된 부분은 각 차로에서 계산된 개별 차량 점유시간의 역수의 합이며, 다음

과 같이 표현 할 수 있다.

$$\sum_{j=1}^{N_i} \frac{1}{Occ_j} = \sum_{a=1}^{N_a} \frac{1}{Occ_a} + \sum_{b=1}^{N_b} \frac{1}{Occ_b} \quad (10)$$

이때, Occ_j : 접근로 차량 j의 개별 점유시간 (sec)

N_i : 접근로 두 차로의 교통량 합(=Na+Nb)

식 (10)을 이용하여 가중평균 속도값은 다음 식 (11)과 같이 정리될 수 있다.

$$V_{wa} = \frac{\sum_{j=1}^{N_i} \left(\frac{L_k}{Occ_j} \right) \times 3.6}{N_i} \quad (11)$$

식 (11)은 앞에서 제시한 하나의 차로에 대한 지점속도를 산정하는 식 (1)과 동일하다. 따라서 차로별 교통량을 이용하여 가중평균을 한다는 것은 해당 접근로의 차로를 구별하지 않고 하나의 접근로로 가정하여 평균속도를 구하는 것과 같다.

4. 산술평균과 가중평균 모형의 비교

가중평균 모형은 현장에서 계측된 각 차로별 속도값을 이용한 직접적인 관계식으로 표현할 수 있다. 앞 절에서 제시된 가중평균 식 (6)은 다음 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{wa} = \frac{N_a \times V_a + N_b \times V_b}{N_i} \quad (12)$$

이때, $N_b = N_i - N_a$ 이므로

$$V_{wa} = \frac{N_a \times V_a + (N_i - N_a) \times V_b}{N_i} \quad (13)$$

식 (13)을 N_a 에 대하여 정리하면 식 (14)와 같다.

$$\begin{aligned} V_{wa} &= \frac{(V_a - V_b) \times N_a + N_i \times V_b}{N_i} \\ &= \frac{(V_a - V_b) \times N_a}{N_i} + V_b \end{aligned} \quad (14)$$

이때, 전체교통량에 대한 하나의 차로 교통량의

비율을 다음과 같이 정의하면, 식 (15)를 얻는다.

$$V_{wa} = (V_a - V_b) \times r_a + V_b \quad (15)$$

$$\text{여기서, } r_a = \frac{N_a}{N_i}$$

식 (15)로부터 가중평균 지점속도 모형은 각 차로를 이용하는 상대적인 교통량의 비율과 각 차로의 속도차이에 따라 값이 결정됨을 알 수 있다. 식 (15)는 변수 변환을 통하여 다음 식 (16)과 같이 표현할 수 있다.

$$V_{wa} = \alpha \cdot X + \beta \quad (16)$$

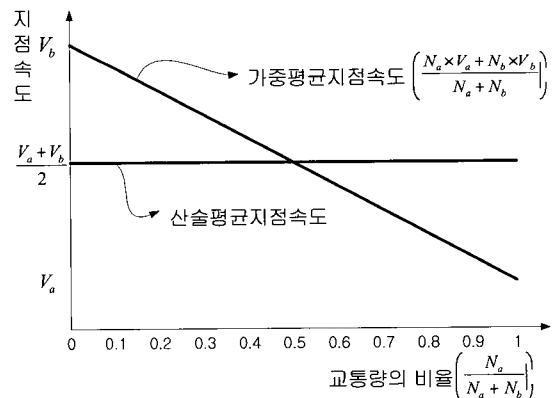
$$\text{이때, } \alpha = (V_a - V_b)$$

$$X = r_a$$

$$\beta = V_b$$

즉, 가중평균값은 한개 차로의 전체차로에 대한 교통량 비율을 독립변수로 하는 선형모형의 형태로 정리될 수 있다(Devore, 2000). 이때, 기울기는 두 차로의 지점속도 차이가 되고, 특정차로의 지점속도가 선형모형식의 절편값으로 나타난다.

다음 그림 5는 위에서 정리된 가중평균 모형과 산술평균 모형을 각각 표현한 결과이다. 산술평균 모형은 각 차로의 교통량의 비율 변화에 관계없는 기울기가 '0'인 상수 함수가 된다. 그러나 가중평균 모형은 교통량의 비율에 따라 선형적으로 나타난다.



〈그림 5〉 가중평균과 산술평균의 비교

<표 2> 가중평균과 산술평균 모형의 속도값 차이

속도 차이	V _{wa} - V _{am}										
	교통량 비율										
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
20	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10
30	-15	-12	-9	-6	-3	0	3	6	9	12	15
40	-20	-16	-12	-8	-4	0	4	8	12	16	20
50	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25
60	-30	-24	-18	-12	-6	0	6	12	18	24	30
70	-35	-28	-21	-14	-7	0	7	14	21	28	35
80	-40	-32	-24	-16	-8	0	8	16	24	32	40

가중평균모형과 산술평균모형은 교통량의 비율이 '0.5'일 지점에서 항상 교차한다. 즉, 각 차로의 교통량이 동일한 경우는 두 모형이 제시하는 값이 동일하다. 그러나, 각 차로의 교통량의 차이가 클수록, 그리고 각 차로의 속도의 차이가 클수록 두 모형이 제시하는 값은 선형적으로 차이가 발생하게 된다. 이와 같은 관계를 수량적으로 정리한 것은 표 2와 같다. 이를 이용하여 교통량 비율 및 차로별 평균속도의 분포에 따라 두 모형이 추정하는 속도 값의 차이를 확인 할 수 있다.

IV. 비교 및 평가

1. 자료수집 및 분석 방법

본 연구에서 논의된 두 가지 지점속도 산출방법에 대하여 현장자료를 이용하여 평가를 실시하였다.

<표 3> '연세대앞' 교차로 일일운영정보 수집정보

구분	'연세대앞' 교차로
교차로기능	중요교차로(C.I.)
조사일시	2003년3월20일 00:00~24:00
검지기위치 (설치차로)	100m(2, 3차로) 200m(2, 3차로) 400m(2, 3차로)
운영과라미터 설정값	THdoc=0.6, a=0.6 S1= 15, S2= 75
수집정보	검지기별 교통량 검지기별 지점속도 접근로별 대기행렬길이

이를 위하여는 실시간 신호제어시스템이 운영이 되고 있는 교차로를 가운데, 대기행렬 검지기가 2개 차로에 각 위치별로 설치되어 있고(100m, 200m, 400m, 앞막힘), 검지기 정보가 통신오류 없이 전송되는 교차로가 선정되어야 한다.

위와 같은 조건을 만족하는 교차로들 가운데, 서울시 경찰청의 COSMOS 운영팀의 협조를 얻어 "연세대앞" 교차로를 자료 수집을 위한 대상교차로로 선정하였다. 대상교차로의 동쪽과 서쪽 두 접근로로부터 교통정보센터로 저장되는 일일운영정보 데이터베이스를 이용하여 표 3에서 설명된 운영 및 기하구조 관련 자료를 수집하였다. 수집된 자료를 사전 분석한 결과, 해당지역의 대기행렬 산출 알고리즘은 실시간 신호제어시스템에서 제시된 여러 정체도 형태 중에서 그림 4와 같은 음의 직선형태를 갖는 정체도로 분석되었다.

2. 분석 결과

수집된 자료를 이용하여 우선 각 차로별 교통량의 차이와 평균 지점속도의 차이를 계산하여 거시적인 통계량을 제시하였다. 그리고 각 차로의 지점속도를 이용하여 두 가지 방법으로 접근로의 속도를 각각 계산하고, 이를 대기행렬 추정 모형에 적용하여 실제적인 차이를 파악하였다.

"연세대앞" 교차로의 각 검지기 위치에 따른 일 평균 차로별 교통량의 차이는 다음 표 4와 같다. 우선 각 차로별로 모든 검지기 위치에서 교통량의 차이가 존재함을 알 수 있다. 동쪽 접근로의 경우 주기당 평균적으로 6.6대의 차이가 나타났고, 서쪽 접근로의 경우 평균 6.8대의 차이를 보였다. 따라서 만약 주기당 평균 통과 교통량이 30대라면 각 차로별로 약 22%의 차이가 나타날 수 있음을 알 수 있다.

표 5는 교차로의 각 검지기 위치에 따른 일 평균 차로별 지점속도를 분석한 결과이다. 지점속도의 경우도 교통량과 마찬가지로 각 차로별로 모든 검지기 위치에서 차이가 존재함을 알 수 있다. 각 접근로 별로 차이가 있으나 평균적으로 약 9.5km/h의 차이가 나타남을 알 수 있다.

〈표 4〉 '연세대앞' 교차로 차로별 교통량차이

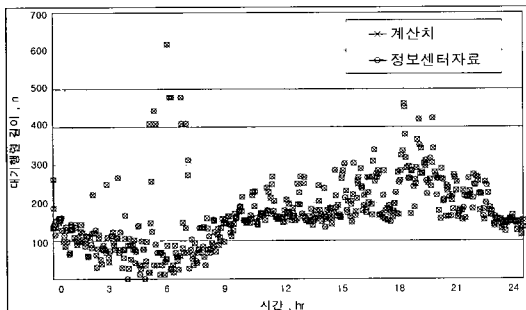
검지기 위치	일 평균 신호주기단위 교통량 차이: $ N_a - N_b $ (단위: vehicle/cycle)	
	동쪽접근로	서쪽접근로
100 m	6.8	4.3
200 m	7.5	8.3
400 m	5.6	7.7

〈표 5〉 '연세대앞' 교차로 차로별 지점속도차이

검지기 위치	일 평균 신호주기단위 속도차이: $ V_a - V_b $ (단위: km/h)	
	동쪽접근로	서쪽접근로
100 m	9.9	7.7
200 m	13.0	8.5
400 m	12.0	6.0

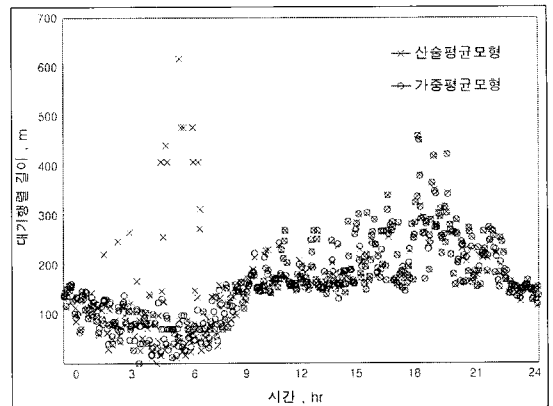
위의 표에서 제시된 바와 같이 일반적으로 접근로의 각 차로별로 교통량과 지점속도의 차이가 있음이 파악되었다. 그러므로 두 가지 모형의 적용에 의한 대기길이 추정값이 다를 수 있음을 알 수 있다. 하지만 이러한 차이가 대기길이 추정에 어느 정도의 영향을 미치는지는 직접적으로 알 수 없다. 이를 정확히 파악하기 위하여는 수집된 자료에 대하여 두 가지 모형을 적용하여 대기길이 추정값을 계산하고 비교하여야 한다.

우선 산술평균 방법을 적용하여 대기길이 추정값을 계산하였고, 이를 교통정보센터에서 수집된 대기행렬길이 자료와 주기별로 비교하였다. 두 자료의 비교 결과는 아래의 그림 6과 같고, 그림에서 보듯이 모든 주기에서 두 자료가 동일한 결과로 나타났다. 이를 통하여, 산술평균 속도를 계산하는 모델이 정확히 구현되었음을 검증하였다.



〈그림 6〉 정보센터자료와 계산된 대기길이 비교

그리고 동일한 자료에 대하여 가중평균 방법을 적용하여 대기길이 추정값을 계산하였다. 두 방법 모두 현재 실시간 신호제어시스템에서 사용하고 있는 대기길이 예측 모형을 적용하였으며, 시간대별 대기행렬 예측길이 추정값은 다음 그림 7과 같다.



〈그림 7〉 가중평균과 산술평균 방법에 의한 대기길이

그림 7로부터 차량의 증가가 시작되는 오전 7시부터 오후 12시 사이에는 산술평균 방법과 가중평균 방법에 따른 대기길이 추정값의 차이가 대부분의 주기에서 크게 나타나지 않았다. 대기길이 추정값이 20m 이상의 차이를 나타낸 몇 주기가 있으나, 대부분의 경우에 10m 이내의 차이가 발생하였다. 이것은 해당 교차로를 이용하는 차량의 수요가 증가하면서 각 차로별 교통량과 개별차량별 속도의 산포가 크게 나타나지 않았기 때문이다.

그러나 새벽시간대(02:00~06:00)에는 산술평균 방법과 가중평균 방법에 따른 대기길이 추정값의 차이가 큰 주기가 많이 나타났다. 이는 교통상황이 한산한 경우 특정 차로를 이용하는 교통량 집중이 되는 현상이 발생할 가능성이 많기 때문이다. 동 시간대의 전체 170주기 중에서 두 방법의 추정값이 20m 이상 차이가 나타난 것은 30개 주기였다. 즉 새벽시간대 전체 주기의 18%가 20m 이상의 차이값을 나타내었다. 이중 20개 주기는 50m 이상의 차이가 나타났고, 200m 이상의 차이가 나타난 것도 12 주기였다.

그리고 그림 7에서 보듯이, 차로의 이용도를 고

려하지 않는 현재의 산술평균 방법은 새벽 2시~6시의 한산한 교통상황에서 300m 이상이 넘는 대기행렬길이 예측값을 많은 주기에서 산정한다. 이는 일반적인 교통상황에 대한 상식에서 벗어나는 것이라고 생각할 수 있다. 예로서 오전 4시 37분에 해당하는 주기에 대하여 교통정보센터에 저장된 각 검지기 위치별, 각 차로별 교통량 정보와 지점속도 정보를 이용하여 산술평균 방법과 가중평균 방법을 적용하여 산출한 대기길이가 추정값은 다음 <표 6>과 같다.

대기행렬 검지기의 위치가 100m인 지점에서 2차로의 교통량은 0대이고 지점속도는 0km/h이며, 3차로의 교통량은 8대이고 지점속도가 70km/h인 경우에 현재 시스템은 산술평균 방법을 적용하여 100m 위치의 지점속도를 가공하여 35km/h의 접근로 속도값을 제시하고 있다. 그러나 가중평균 방법을 적용하여 접근로 속도를 계산하면 70km/h의 값을 얻을 수 있다. 이때 산술평균을 이용한 대기길이가 추정값은 477m이고 가중평균을 이용한 대기길이가 추정값은 70m이다. 일반적으로 한산한 상황에서 477m의 대기길이를 예측하는 것은 부정확한 추정치라고 판단된다.

<표 6> 산술평균과 가중평균의 대기길이 비교

검지기 위치	2003년 3월 20일 오전 4시 37분 주기 운영정보								
	차로	교통량	지점 속도	산술평균			가중평균		
				지점 속도	정체도	대기 길이	지점 속도	정체도	대기 길이
100m	2	0	0	35.0	0.66	477m	70.0	0.08	70m
	3	8	70						
200m	2	0	0	29.0	0.76	477m	58.0	0.28	70m
	3	7	58						
400m	2	0	0	25.0	0.83	477m	50.0	0.41	70m
	3	9	50						

현실적인 측면에서 이러한 결과는 만약 실시간 신호시스템이 교통감응제어(TRC) 모드로 제어가 이루어지고 있는 경우, 그림 7에서 제시된 새벽 2시~6시 사이와 같은 극히 한산한 교통상황에서 과포화 모드로 전환될 수 있다. 즉 현재의 단순 산술평균 방법은 현실수요와 관계없는 과도한 대기길이가 예측되어 의도하지 않는 과포화모드로 변경되어 특정

방향으로 현시가 집중될 수가 있다. 이것은 전반적인 실시간 교통감응 제어시스템의 운영 안정성에 큰 문제를 발생시킬 수 있는 부분이라고 판단된다.

그러므로 교통량을 고려한 가중평균 방법을 적용하는 것은 현재의 산술평균 방법으로 인해 예측될 수 있는 비정상적인 대기길이 추정치를 보완할 수 있는 보다 정확한 모형이라고 판단된다.

본 연구를 위하여 수집된 자료에는 현재 사용되고 있는 대기길이 추정 모형의 민감도에 크게 영향을 줄 만 큼의 차로별 교통량 및 지점속도의 차이가 교통량이 많은 시간대에는 확인되지 않았다. 그러나 이러한 차이는 실시간 신호제어시스템이 설치된 도시 내 교차로의 어느 부분이나 혹은 어느 시간대에 항상 나타날 수 있으며 이 결과로 대기길이가 추정값의 오차가 극대화 될 수 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 현재 국내에서 사용되고 있는 실시간 신호제어시스템에서 대기길이 추정모형에서 사용되는 지점속도에 대한 가공방법인 산술평균 방법의 의미와 한계성을 분석하였다. 그리고 다른 대안으로서 교통량을 이용한 가중평균 방법을 제시하였다. 그리고 제시된 두 가지 방법에 대하여 현장자료를 대상으로 대기길이 추정값의 차이를 비교·평가하였다.

현재 사용되는 산술평균 방법과 가중평균 방법은 각 차로의 교통량 이용비율이 같은 경우에는 동일한 값을 제시한다. 그러나 각 차로의 교통량 이용비율이 다른 경우에는 산술평균의 경우 상수함수값에 변화가 없으나 가중평균은 각 차로별 교통량의 변화 비율과 각 차로별 지점속도 차이에 따라 비례적으로 변하는 값을 나타내었다. 즉, 교통량 가중평균 방법으로 계산된 지점속도는 현재 사용되는 산술평균 지점속도를 포함하고 있다.

제시된 두 가지 방법을 평가하기 위하여 실시간 신호제어시스템 운영지역내의 한 개 교차로를 선정하여 자료를 수집하였다. 자료 분석결과 접근로의 각 차로별로 수집된 교통량과 지점속도가 차이가

있음이 파악되었다. 그리고 이와 같은 차이는 두 가지 방법 중 선택에 따라 대기길이 추정값이 다르게 나타나게 되는 것을 확인하였다.

현장자료를 통한 평가 결과, 교통량이 비교적 많은 시간대에는 각 차로별 교통량과 개별차량별 속도의 산포가 크게 나타나지 않았기 때문에 산술평균 방법과 가중평균 방법에 따른 대기길이 추정값의 차이가 대부분의 주기에서 크게 나타나지 않았다. 그러나 교통상황이 한산한 새벽시간에는 산술평균 방법과 가중평균 방법에 큰 차이를 보이는 주기가 많이 나타났다. 특히 현재 사용되는 산술평균 방법은 한산한 상태에서 과포화 상태의 대기길이 추정값을 산출함으로써 실시간 교통감응 제어시스템 운영의 안정성에 큰 문제를 발생시킬 수 있는 부분이 파악되었다. 그러나 가중평균 방법은 보다 현장상황에 적합하고 안정적인 대기길이 추정값을 제시하였다. 이는 이 방법이 각 차로별 교통량 이용 비율 및 지점속도에 따라 현장상황을 보다 정확히 반영할 수 있기 때문이며, 이 방법을 채택하여 실시간 신호시스템에 안정적인 운영을 도모 할 수 있을 것으로 판단된다.

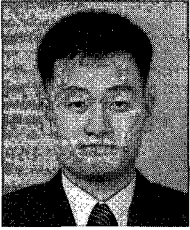
향후에는 보다 많은 교차로에서 현장자료를 수집하여 본 논문에서 제시한 결과를 확인하고, 평가 결과에 따라 보다 적합한 모형을 선정하여 실시간 신

호제어시스템의 기능성을 높이는 노력이 필요하다.

참고문헌

1. 서울시 지방경찰청(1991), “교통신호제어시스템 개발 연구 용역 1차년도 결과 보고서”
2. 서울시 지방경찰청(1992), “교통신호제어시스템 개발 연구 용역 2차년도 결과 보고서”
3. 서울시 지방경찰청(1999), “신신호시스템기능개선포함서”
4. 서울시 지방경찰청(2000), “2000년 신신호시스템 기능개선”
5. 서울시 지방경찰청(2001), “2001년 신신호시스템 기능개선”
6. 서울시 지방경찰청(2001), “서울시 교통신호제어시스템 발전 기본계획”
7. 서울시 지방경찰청(2001), “교통신호제어기 규격서”
8. Devore, J. L.(2000), “Probability and Statistics for Engineering and Sciences”, Duxbury, Brook/Cole.
9. May, A. D. (1990), “Traffic Flow Fundamentals”, New Jersey, Prentice-Hall. .
10. McShane, W. R., R. P. Roess and E. S. Prassas (1997), “Traffic Engineering”, New Jersey, Prentice-Hall.

〈저자소개〉



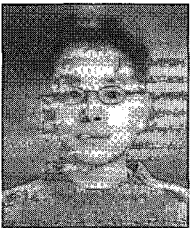
이 상 수(Lee, Sang-soo)
Texas A&M University 교통공학 박사
아주대학교 환경건설교통공학부 조교수



이 승 환(Lee, Seung-hwan)
Polytech University 교통공학 박사
아주대학교 환경건설교통공학부 교수
아주대학교 ITS대학원 대학원장
한국ITS학회 수석부회장



오 영 태(Oh, Young-Tae)
Polytech University 교통공학 박사
아주대학교 환경건설교통공학부 교수



송 성 주(Song, Sung-ju)
아주대학교 건설교통대학원 석사과정