

통행시간과 점유율 기반의 실시간 신호운영 알고리즘

A Real-time Traffic Signal Control Algorithm based on Travel Time and Occupancy Rate

박순용, 정영제
도로교통공단 교통과학연구원

Soon-Yong Park(psy@koroad.or.kr), Young-Je Jeong(sleep108@koroad.or.kr)

요약

본 연구에서는 통행시간과 점유율의 융합 정보를 이용하는 새로운 실시간 신호제어 알고리즘을 제시하였다. 교통정보시스템의 통행시간 정보를 신호운영에 적용하였으며, 통행시간으로 부터 산정한 포화도를 신호제어에 이용하기 위한 프로세스를 개발하였다. 결정적 지체모형을 이용해 통행시간으로부터 대기행렬 길이를 생성하고, 대기행렬 길이를 다시 포화도로 변환하는 과정이 적용되었다. 또한 통행시간 기반 포화도와 루프검지기 포화도를 융합해 신호시간이 산정되도록 하였다. 신호제어 알고리즘의 효과평가를 위해 미시적 시뮬레이션 분석을 시행하였으며, 과포화 상태에서 기존 루프검지기 기반 실시간 신호제어 대비 최대 27%의 지체 감소 효과를 확인하였다. 또한 과포화 및 검지기 고장상황에 대한 효과적이고, 유용한 대응이 가능함을 확인하였다. 본 연구에서는 교통신호제어시스템과 교통정보시스템의 교통정보 통합이용 방안을 제시하였다는데 의의가 있겠다.

■ 중심어 : | 실시간 신호제어 | COSMOS | 포화도 | 통행시간 | 대기행렬 |

Abstract

This research suggested a new real-time traffic signal control algorithm using fusion data of the travel time and the occupancy rate. This research applied the travel time data of traffic information system to traffic signal operation, and developed the signal control process using the degree of saturation that was estimated from the travel time data. This algorithm estimates a queue length from the travel time based on a deterministic delay model, and includes the process to change from the queue length to the degree of saturation. In addition, this model can calculate the traffic signal timings using fusion data of the travel time and the occupancy rate based on the saturation degree. The micro simulation analysis was conducted for effectiveness evaluation. We checked that the average delay decreased by up to 27 percent. In addition, we checked that this signal control algorithm could respond to a traffic condition of oversaturation and detector breakdown effectively and usefully. This research has important contribution to apply the traffic information system to traffic signal operation sectors.

■ keyword : | Real-time Traffic Signal Control | COSMOS | Saturation | Travel Time | Queue Length |

1. 서론

교차로 신호운영방법에는 시간대별로 고정된 최적 신호시간을 적용하는 시각제어(TOD: Time-Of-Day), 차량의 유무에 따라 현시의 삭제 또는 조기종결이 적용되는 감응제어(Actuation), 교통 패턴을 파악하여 실시간으로 신호시간을 갱신하는 대응제어(Traffic Responsive Control)로 구분된다[1][2]. 최근 자율주행을 고려해 신호등 없이 차량을 직접 제어하는 Signal Free 개념이 제시되고 있으나, 도로가 자율주행차량만으로 채워지기까지 신호등에 의한 전통적 교차로 통행권 부여방식은 지속될 것으로 보인다.

현재 국제적으로 대표적인 실시간 신호시스템은 SCATS(Sydney Coordinated Adaptive Traffic System), SCOOT(Split Cycle Offset Optimisation Technique) 등이 있으며[1], 국내에서는 COSMOS(Cycle, Offset, Split model of Seoul)가 경찰청 표준 교통신호시스템으로 운용되고 있다. COSMOS는 1991년부터 연구개발을 시작해 다양한 현장실험과 4차에 걸친 기능개선으로 TOD, 감응제어와 실시간 신호제어가 통합된 시스템으로 개발되었다[3]. COSMOS에서는 실시간 신호제어를 위해 정지선 루프검지기로부터 해당 이동류의 포화도를 추정해 신호시간을 산정한다. 이론적으로 교통정체를 실시간으로 반영하는 합리적 신호운영이 가능하나, 다음과 같은 문제가 있다.

첫째, 모든 이동류 및 차로별로 검지기 설치가 요구되며, 특히 광로의 다차로 구간에서는 과도한 검지기 설치로 시스템 유지관리에 어려움이 있다.

둘째, 특정 검지기에서 오류정보 또는 단선이 발생하는 경우 포화도 비율로 신호시간을 결정하는 특성상 교차로 전체의 합리적 신호운영이 어렵다.

셋째, 과포화 시에는 이론적으로 포화도가 1.0을 초과할 수 없어 합리적 신호운영이 어려우며, 이를 보완하기 위해 상류부에 교통류 속도를 수집하기 위한 별도의 검지기를 설치해 대기행렬을 추정하여 대기행렬을 균형화 시키는 신호제어를 수행한다. 하지만 루프검지기의 지점속도로 링크의 대기행렬을 추정함에 따라 대기행렬의 정확한 계측이 어려워 과포화시 합리적 신호운

영에는 한계가 있다.

본 연구에서는 루프검지기의 포화도를 이용하는 현행 신호시스템의 구조적 문제를 해결하기 위한 방법으로 경찰청의 UTIS(Urban Traffic Information System)와 같은 교통정보시스템을 활용한 실시간 신호운영 알고리즘을 제시하였다. 또한 미시적 시뮬레이션 분석을 시행하며, 정지선 검지기의 포화도 기반 실시간 신호제어와 성능비교를 수행하였다.

교통정보시스템의 통행시간으로부터 해당 이동류의 포화도를 추정하고, 기존 정지선 검지기의 포화도와 융합해 실시간 신호운영을 수행하는 방식을 적용하였다. 이를 통해 루프검지기 기반 실시간 신호시스템의 구조적 취약점을 개선하고, 기존 교통정보시스템의 소통정보를 실시간 신호운영에 활용함으로써 시스템 활용도를 제고할 수 있다. 또한 본 연구는 향후 교통정보시스템과 신호시스템의 통합에 대비한 통행시간 기반 신호운영을 위한 기초연구에 해당한다.

II. 실시간 신호제어시스템 사례 고찰

1. COSMOS의 실시간 신호운영 기능

국내 표준신호시스템에 해당하는 COSMOS에서는 실시간으로 주기 및 현시를 산정하기 위해 전체 녹색시간과 차량통행에 사용되어진 녹색시간의 비율을 의미하는 포화도를 이용한다. 포화도는 식 (1)과 같이 녹색시간 중 차량통행에 이용된 시간의 비율을 이용하며, 포화도를 용량 대비 교통량으로 정의한 식 (2)를 이용하여 현재 주기 포화도를 식 (3)과 같이 포화교통류용 대비 교통량의 형태로 산정한다.

$$DS = \frac{g - (\sum Space - N \times t)}{g} \quad (1)$$

$$DS = v/c = \frac{v}{s \frac{g}{C}} = \frac{v/s}{g/C} \quad (2)$$

$$CDS = DS \frac{g}{C} = v/s \quad (3)$$

여기에서,

DS : 포화도(Degree of Saturation)

CDS : 임계 포화도(Critical DS)

g : 유효녹색시간(sec)

C : 주기길이(sec)

$\Sigma Space$: 비점유시간의 합(sec)

N : 비점유시간의 개수(veh)

t : 포화교통류율 상태의 평균비점유시간(sec)

v : 교통량(veh/hr)

c : 용량(veh/hr)

s : 포화교통류율(veh/hr)

이동류별로 설치된 정지선 검지기를 이용해 포화도를 산정하여 이동평균법으로 장래 DS를 의미하는 FDS(Future DS)를 산정한다. 이후 교차로 전체 포화도 변화에 따라 주기 증감량을 결정하고, FDS 비율에 따라 현시를 배분하는 과정으로 실시간 신호제어를 수행한다. 또한 COSMOS에서는 과포화시 [그림 1]과 같이 정지선에서 150, 300m에 설치된 대기행렬 검지기에서 지점속도를 수집하고, 접근로 별로 대기행렬 길이를 추정하여 대기행렬 균형 제어를 수행한다[3][4]. COSMOS는 포화도를 이용해 추정한 교통류율에 따라 신호운영이 가능하나, 다차로 구간에서는 많은 수의 검지기 설치에 따른 유지관리의 어려움과 일부 검지기의 오류 시 교차로 전체의 신호운영에 어려움이 있다. 과포화시 지점속도로부터 추정한 대기행렬 만으로 신호시간이 결정되어야 하는 제약이 있다.

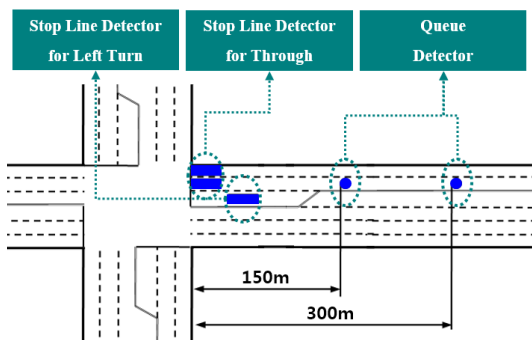


그림 1. COSMOS의 검지체계 구성

2. 국외 실시간 신호제어시스템

실시간 신호제어에 대한 구상은 1963년 Miller에 의해 처음으로 제시되었으며[5], 1970년대 이후부터 호주의 SCATS, 영국의 SCOOT 등 상용화된 신호제어시스템이 개발되기 시작하였다. 또한 1990년대부터 미국에서는 OPAC(Optimized Policies for Adaptive Control), RHODES(Real-Time Hierarchical Optimized Distributed Effective System), ACS Lite(Adaptive Control Software) 등의 시스템이 제시된바 있다[6]. 이들 시스템은 공통적으로 루프검지기와 같은 지점검지체계를 이용해 수집한 교통류율 또는 포화도 정보를 기반으로 신호시간을 산정한다. SCOOT은 링크 상류의 도착교통류율을 이용하며, Transyt-7F에서와 동일한 방법으로 지체 및 정지수를 합산해 산정되는 Performance Index를 최소화하는 신호시간을 산정한다. SCATS에서는 COSMOS과 유사한 방식으로 정지선에 설치된 검지기에서 포화도 정보를 수집해 지체를 최소화하기 위한 신호제어를 수행한다[5][6].

3. 통행시간을 이용한 실시간 신호제어

통행시간 기반의 실시간 신호제어는 비콘 등 비매설식 검지기의 적용이 활발한 일본에서 CARREN(Control Algorithm Retuning paRameters with self performance Evaluation) 등의 신호운영 전략이 제시된바 있다. 통행시간을 지체모형에 적용해 지체 총량을 최소화하는 녹색시간 증감량을 결정할 수 있도록 하였다[7]. 통행시간과 지체모형을 결합한 또 다른 연구로 Jeong(2012)은 통행시간으로부터 지체를 산정하고, 녹색시간에 따른 지체 변화량 산정모형을 개발해 교차로 지체를 최소화하는 신호시간 최적화 모형을 제시한바 있다[8]. 또한 2015년 연구에 착수한 SMART SIGNAL(Smartest Model of Adaptive Road Traffic SIGNAL)에서는 교통정보시스템의 통행시간 정보들을 신호시스템과 연계해 교통정보 빅데이터로 형태로 통합하고, 신호교차로 정체패턴을 예측해 정체를 사전에 방하는 신호제어를 수행한다[9].

III. 융합정보 기반 신호제어모형

경찰청에서 운영중인 도시교통정보시스템 UTIS (Urban Traffic Information System)와 같은 교통정보 시스템의 통행시간 정보를 이용하는 신호제어 대안으로 COSMOS TRC(Traffic Responsive Control) 기능에 대해 지점정보와 구간정보의 융합형 실시간 신호제어 방법을 제시하였다. 구간정보에 해당하는 통행시간과 지점정보에 해당하는 루프검지기 점유율을 융합하여 구간소통상태가 반영된 점유율 정보를 적용하는 융합형 신호제어에 해당한다. 현행 COSMOS에서는 [그림 2]와 같이 루프검지기의 포화도를 수집해 차로별 평균 포화도 ADS(Average DS), 이동류의 임계포화도 CDS(Critical DS), 단기시계열 예측포화도 FDS(Future DS)를 차례로 산정하며, 이후 주기길이 결정, 현시배분의 신호시간 최적화 과정이 적용된다. 이때 과도한 검지기 설치에서 발생하는 정보오류 및 단선 문제와 지점정보가 과포화를 표현하지 못하는 문제를 개선하기 위해 통행시간으로부터 대기행렬을 추정하고, 대기행렬 기반 포화도를 루프검지기 포화도와 융합하는 신호운영 프로세스를 적용하였다.

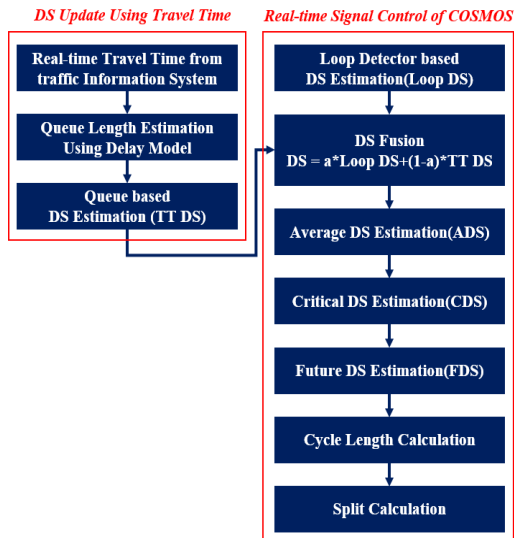


그림 2. 통행시간과 점유율 융합 신호제어 프로세스

COSMOS에서는 해당 이동류의 차로별 DS를 평균하여 t 시점에 i 이동류의 평균포화도 ADS_i^t 를 산정하며, 임계포화도 CDS_i^t 를 식 (4)와 같이 현시길이에 비해 산정한다. 이후 장래 예측 포화도 FDS_i^t 를 3주기 CDS를 이용해 식 (5)와 같이 이동평균법으로 산정한다. 이후 이전 주기 FDS의 추이에 따라 식 (6)과 같이 주기길이의 증감여부를 결정하며, FDS의 비율에 따라 식 (7)과 같이 녹색시간을 배분한다.

$$CDS_i^t = ADS_i^t \frac{g_i^t}{C^t} \tag{4}$$

$$FDS_i^t = w1 * CDS_i^{t-2} + w2 * CDS_i^{t-1} + w3 * CDS_i^t \tag{5}$$

$$C^{t+1} = \begin{cases} C^t - \Delta C; & \sum_{i=1}^n FDS_i^t < \delta \sum_{i=1}^n FDS_i^{t-1} \\ C^t + \Delta C; & \sum_{i=1}^n FDS_i^t > \epsilon \sum_{i=1}^n FDS_i^{t-1} \\ C^t; & \text{others} \end{cases} \tag{6}$$

$$g_i^{t+1} = C^{t+1} \frac{FDS_i^t}{\sum_{i=1}^n FDS_i^t} \tag{7}$$

여기에서,

i : 현시 번호($i = 1, \dots, n$)

t : 주기 번호

w : 이동평균 가중치($w1 + w2 + w3 = 1.0$)

δ, ϵ : 주기 증감량 결정을 위한 가중치

본 연구의 융합형 실시간 신호제어 모형에서는 포화도 DS를 식 (8)과 같이 기존 루프검지기에서 수집한 DS와 통행시간에서 대기행렬을 생성하여 추정한 DS를 융합하여 산정하였다. 이때 대기행렬 길이로부터 추정한 DS는 식 (9)와 같이 녹색시간 g 와 대기행렬 QL 이 모두 해소되는 시간의 비율에 해당한다.

$$ADS = \phi LoopDS + (1 - \phi) QueueDS \tag{8}$$

$$QueueDS = (QL \times DH + LT) / g \tag{9}$$

여기에서,

$LoopDS$: 루프검지기 기반 포화도

$QueueDS$: 대기행렬 기반 포화도

ϕ : 평균 포화도 산정 가중치($\phi < 1.0$)

DH : 포화차두간격(sec)

LT : 손실시간(sec)

통행시간으로부터 포화도 DS 를 산정하기 위해 식 (10)과 같이 지체시간을 산정한다. 도시교통정보시스템과 같은 교통정보제공시스템에서 생성되는 이동류별 평균 통행시간 정보에서 자유속도 주행 통행시간을 제외하여 교차로 지체를 산정한다.

$$AD = AT - FT \quad (10)$$

여기에서,

AD : 평균 지체(sec/veh)

AT : 평균 통행시간(sec)

FT : 자유속도 주행 시 통행시간(sec)

지체로부터 대기행렬을 산정하기 위해 결정적 지체 모형을 이용하였으며, 비포화과 포화 상태로 구분하여 모형을 적용하였다.

첫째, 비포화 상태에서는 균일지체 모형을 기반으로 도착교통류율을 산정하고, 대기행렬 길이를 추정해 $QueueDS$ 를 산정한다. 평균 지체 AD 에 연동계수 PF 를 적용해 식 (11)과 같이 독립교차로 상태의 지체 D 를 산정하며, 식 (12)와 같은 균일지체 모형은 식 (13)과 같이 도착교통류율 λ 로 정리된다. 출발교통류율 s , 녹색 시간 g , 주기길이 C 를 상수로 처리해 지체 D 의 크기에 따라 도착교통류율 λ 가 산정되며, 이후 식 (14)와 같이 대기행렬 길이를 산정할 수 있다. 본 연구에서는 지체 모형을 이용해 통행시간을 실시간 신호운영에 적용하는데 의의를 두어 균일지체 모형(Uniform Delay)만을 고려하였으며, 증분지체모형(Incremental Delay)은 제외하였다.

$$D = AD / PF \quad (11)$$

$$D = \frac{C(1-g/C)^2}{2(1-\lambda/s)} \quad (12)$$

$$\lambda = s \left[1 - \frac{C}{2D} \left(1 - \frac{g}{C} \right)^2 \right] \quad (13)$$

$$QL = C \left(1 - \frac{g}{C} \right) \left(\frac{\lambda s}{s - \lambda} \right) \quad (14)$$

여기에서,

D : 차량 당 평균지체(sec/veh)

PF : 연동계수

λ : 도착교통류율(veh/hr)

s : 출발교통류율(veh/hr)

QL : 대기행렬 길이(veh)

둘째, 과포화 상태에서는 식 (15)와 같이 균일지체와 과포화지체 모형을 이용한 도착교통류율을 추정하고, 비포화 상태와 동일한 방식으로 대기행렬 길이를 추정하였다. 포화도가 1.0 상태인 균일지체 $UD_{X=1.0}$ 은 식 (12)의 균일지체에서 $v/s = (g/C)X$ 관계를 이용해 식 (16)과 같이 정리된다. 이때 과포화 지체 OD 는 식 (17)과 같이 분석시간 길이 T 를 이용해 산정할 수 있으며, 식 (16)과 식 (17)을 합산해 도착교통류율 λ 로 정리하여 식 (18)과 같이 표현된다. 이후 과포화 상태에서 대기행렬 QL 은 식 (19)와 같이 분석시간 길이 T , 도착교통류율 λ , 용량 c 를 이용해 산정한다.

$$D = UD_{X=1.0} + OD \quad (15)$$

$$UD_{X=1.0} = 0.5C(1-g/C) \quad (16)$$

$$OD = 0.5T(\lambda/c - 1) \quad (17)$$

$$\lambda = \frac{2c}{T} [D - 0.5C(1-g/C) + 0.5T] \quad (18)$$

$$QL = T(\lambda - c) \quad (19)$$

여기에서,

UD : 균일지체(Uniform Delay, sec/veh)

OD : 과포화 지체(Overflow Delay, sec/veh)

T : 분석시간(hr)

본 연구에서는 통행시간을 실시간 신호제어에 활용하기 위한 방법으로 COSMOS의 신호제어 수정알고리즘을 제시하였으며, 지체모형을 이용해 통행시간 정보를 대기행렬로 변환하여 구간교통정보를 반영한 포화도를 신호제어에 반영할 수 있도록 하였다. 루프검지기의 포화도와 구간소통정보 기반 포화도를 융합해 안정적인 신호운영이 가능하다.

IV. 시뮬레이션 효과평가

통행시간을 이용한 실시간 신호제어 수정 알고리즘에 대한 효과평가를 위해 미시적 시뮬레이션 분석을 수행하였으며, 독일 PTV사의 VISSIM(Verkehr In Städten SIMulationsmodell) 5.0과 Visual Basic 기반의 Cominterface를 이용하여 신호교차로 및 신호제어 알고리즘을 구현하였다. 분석대상은 [그림 3]와 같이 4지 교차로를 대상으로 하였으며, 직진 2차로, 좌우회전 각 1차로의 전형적인 간선도로 신호교차로의 형태에 4현시 신호체계를 적용하였다. 이때 링크 상류부 700m 지점과 교차로 진출부에 검지기를 설치해 통행시간을 수집하였으며, 지체로부터 대기행렬을 산정해 점유율 기반 실시간 신호제어에 적용하였다. 또한 본 분석에서는 통행시간 정보를 실시간 신호제어에 적용하는데 의의를 두어 시뮬레이션에 투입된 모든 차량의 통행시간 수집이 가능함을 가정하였다.

분석 시나리오는 [표 1]과 같이 교차로의 포화상태와 검지기 고장상태를 가정하여 3가지 상황으로 구분하였다. S1에서는 3,600초의 분석시간 동안 비포화상태가 균일하게 유지되는 조건을 적용하였으며, S2에는 3,600초의 분석기간 중 1,200초 부터 2400초 까지 동서측 접근로에서 일시적으로 과포화 상태가 발생하는 조건에 해당한다. 또한 S3에서는 S2와 동일한 교통상황으로 일시적으로 과포화 상태가 발생하나, 과포화 이동류의 루프검지기가 고장상태로 검지기 기본 정보만 수집되는 상황을 가정하였다. 본 분석에서는 실시간 신호제어에 구간통행시간 적용에 따른 과포화 및 검지기 고장 상황의 대응능력을 확인하고자 하였다. 분석대안은 다음과 같이 COSMOS의 실시간 신호제어와 통행시간 융합 신호제어로 구분하였다.

- 대안1-COSMOS의 TRC 적용(COSMOS TRC)
- 대안2-통행시간 융합정보 기반의 TRC 적용 (Travel Time Based TRC)

표 1. 시뮬레이션 분석 시나리오

시나리오	시뮬레이션 시간(sec)	동측접근로 (vph)	서측접근로 (vph)	북측접근로 (vph)	남측접근로 (vph)	교차로 교통량 (vph)	비고
S1	0-3,600	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000	비포화 상태 지속
S2	0-1,200	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000	일시적 과포화 발생
	1,200-2,400	2,500	2,500	1,000	1,000	7,000	
S3	0-1,200	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000	동서측 접근로의 검지기 고장 발생
	1,200-2,400	2,500	2,500	1,000	1,000	7,000	
	2,400-3,600	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000	

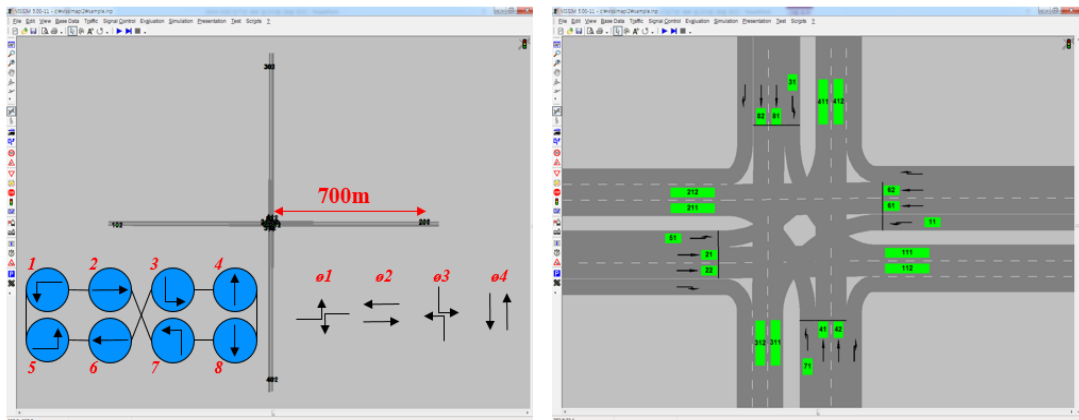


그림 3. 시뮬레이션 효과평가를 위한 교차로 구조 및 현시체계

COSMOS의 실시간 신호제어의 경우 과포화 발생시 대기행렬 검지기를 이용해 대기행렬 균형화 제어를 수행하나, 본 연구에서는 통행시간의 신호제어 적용 가능성을 평가하기 위해 정지선 검지기정보만을 이용하는 형태의 신호제어를 적용하였다.

비포화상태가 균일하게 적용되는 S1에서는 모든 접근로 입력교통량이 시간당 1,000대 수준에 해당하며, 주기별 포화도는 COSMOS TRC와 통행시간 기반 TRC에서 [그림 4]의 ①, ②와 같이 평균 1.4의 동일한 패턴을 나타내었다. 이때 신호시간은 [그림 4]의 ③, ④와 같이 두 신호제어 대안 모두에서 주기길이 90초가 일정하게 유지된 결과를 나타내었으며, 지체와 대기행렬 또한 [그림 4]의 ⑤, ⑥과 같이 모든 이동류에서 유사한 패턴을 나타내어 비포화 상태에서 통행시간 기반 TRC로 COSMOS TRC에 상응하는 실시간 신호제어 성능을 확인하였다.

동서측 접근로에서 과포화 상태가 발생하는 S2에서는 동서측 접근로에 1,200초부터 2,400초 까지 입력교통량이 시간당 2,500대 수준으로 적용되었다. 과포화 발생에 따른 통행시간과 루프 점유율 융합정보 기반 신호제어의 효과를 확인하였다.

S2의 분석에서 주기별 포화도는 비포화상태의 경우 S1과 동일한 수준을 나타내었으나, 과포화 상태에서는 [그림 5]의 ①, ②와 같이 COSMOS TRC가 최대 1.7, 통행시간 기반 TRC가 최대 2.2로 대기행렬이 반영된 포화도가 과포화 상태의 효과적 표현이 가능함을 확인하였다. 이때 신호시간은 [그림 5]의 ③, ④와 같이 포화도 차이의 영향으로 최대주기길이가 COSMOS TRC에서 최대 140초, 통행시간 기반 TRC가 최대 180초를 나타내었다. 지체 또한 과포화가 발생한 동서측 접근로의 신호시간 할당에 따라 [그림 5]의 ⑤와 같이 COSMOS TRC에서 차량당 평균 61초, 통행시간 기반 TRC에서 차량당 평균 44초로 27%의 지체 감소효과를 확인하였다. 대기행렬 또한 지체와 동일한 경향으로 [그림 5]의 ⑥과 같이 동서측 접근로의 직전현시에 해당하는 2, 6번 현시에서 40% 이상 감소한 결과를 나타내었다.

S3의 분석에서는 S2와 동일한 교통상황으로 동서측 접근로에서 1,200초 동안 일시적인 과포화 상황이 발생되나, 과포화 상태에 해당하는 이동류의 검지기가 고장 상태임을 가정하여 통행시간과 루프검지기 융합정보 기반의 실시간 신호제어 효과를 확인하였다.

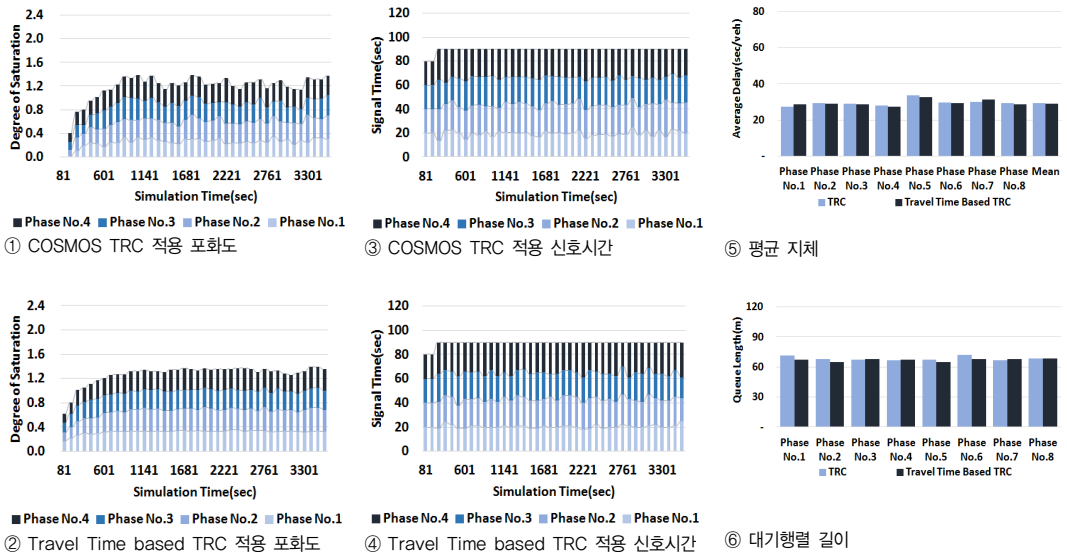


그림 4. 시나리오 1의 시뮬레이션 분석결과

S3에서는 동서측 접근로의 좌회전과 직진에 해당하는 1, 2 현시가 루프 검지기 고장으로 0.25의 고정된 포화도가 적용되었다. 이때 COSMOS TRC에서는 루프 검지기 정보만을 이용함에 따라 1, 2 현시의 과포화 상황이 관측되지 않았으며, 교차로 포화도는 [그림 6]의 ①과 같이 1.2 내외로 유지되었다.

통행시간 기반 TRC에서는 S2에서와 동일한 경향의 1, 2현시 과포화 상태가 관측되어 [그림 6]의 ②와 같이 최대 2.4의 교차로 포화도를 나타내었다. 이때 주기 길이는 [그림 6]의 ③, ④와 같이 COSMOS TRC가 변동 없이 80초가 유지되었으며, 통행시간 기반 TRC가 최대 180초를 나타내었다.

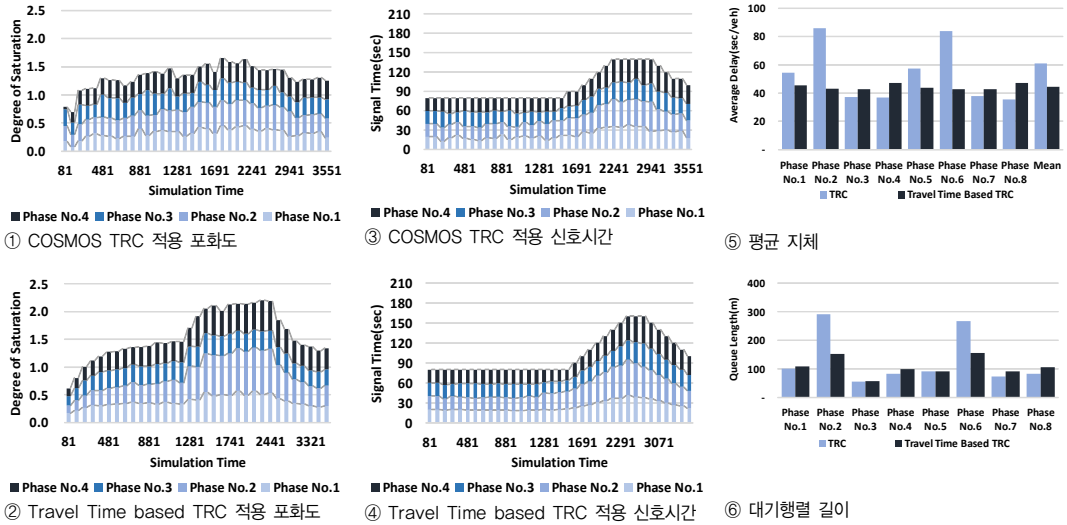


그림 5. 시나리오 2의 시뮬레이션 분석결과

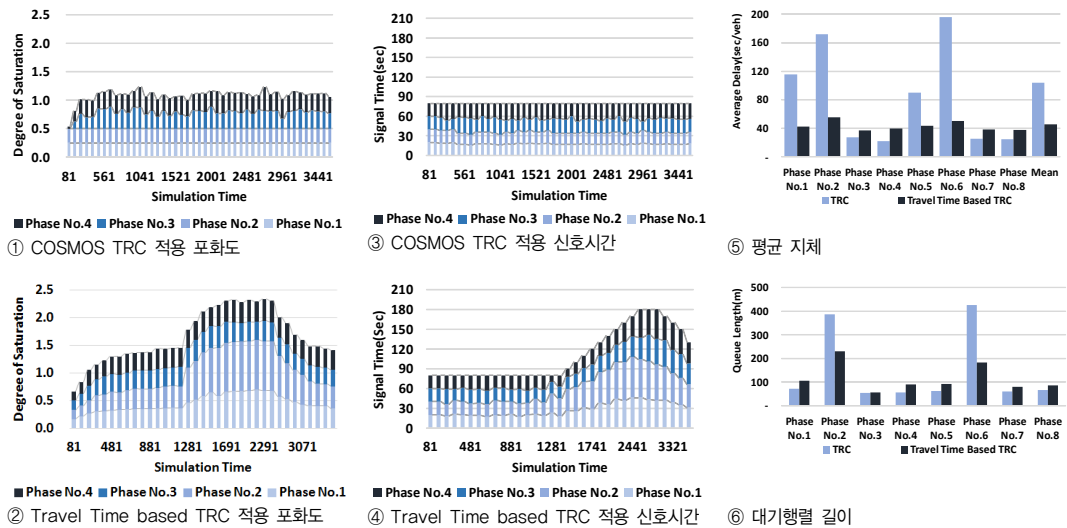


그림 6. 시나리오 3의 시뮬레이션 분석결과

지체는 [그림 6]의 ⑤와 같이 COSMOS TRC에서는 과포화가 발생한 동서측 접근로의 정보수집 불가로 신호시간 할당이 이뤄지지 못해 차량당 평균 104초의 과포화 상태로 분석되었으며, 통행시간 기반 TRC에서는 차량당 평균 45초로 비포화상태가 지속적으로 유지되고 있음을 확인하였다. 대기행렬 또한 [그림 6]의 ⑥과 같이 지체변화와 동일한 경향으로 동서측 접근로의 합리적 신호시간 할당에 따라 통행시간 기반 TRC의 적용으로 COSMOS TRC 대비 최대 57% 감소된 결과를 나타내었다.

VISSIM 기반의 미시적 시뮬레이션 분석으로 3가지 시나리오에 한정된 결과이나 통행시간을 이용한 COSMOS의 실시간 신호제어가 보완이 가능함을 확인하였다. 특히 정지선 루프검지기의 경우 이론적으로 포화도가 1.0을 초과할 수 없어 과포화 상태를 명확히 표현할 수 없으나, 대기행렬정보를 이용해 과포화의 표현과 현실적인 대응이 가능함을 확인하였다. 또한 일부 루프검지기의 고장 시에도 루프검지와 대기행렬 포화도의 융합 비율을 조정해 실시간 신호제어가 가능하다.

V. 결론

본 연구에서는 COSMOS의 점유율 기반 실시간 신호 제어 알고리즘을 보완하기 위한 방법으로 통행시간을 이용해 포화도를 산정하고, 루프검지기 포화도와 융합해 신호제어에 적용하기 위한 실시간 신호제어 수정 알고리즘을 제시하였다. COSMOS와 같은 루프검지기 기반의 신호제어시스템은 지점검지체계가 과포화 상황을 명확히 표현하지 못하고, 일부 검지기의 단선으로도 교차로 전체의 실시간 신호제어가 기능을 발휘하지 못하는 문제가 있다. 이를 개선하기 위해 본 연구에서는 교통정보시스템의 통행시간 정보를 이용해 대기행렬을 산정하고, 대기행렬을 포화도로 변환해 루프검지기의 포화도와 융합하여 실시간 신호운영에 적용하는 프로세스를 개발하였다.

시뮬레이션 분석을 통해 비포화 상태에서는 점유율 기반 신호제어에 필적하는 신호운영이 가능하며, 과포

화 상태에서는 대기행렬 길이를 포화도에 반영해 과포화 발생에 효과적으로 대응할 수 있는 구간정보 기반의 신호운영이 가능함을 확인하였다. 또한 통행시간 정보를 이용해 검지기 고장 및 단선과 같은 문제에도 효과적인 대응이 가능하다. 또한 본 연구는 교통정보시스템의 구간소통정보를 전통적인 실시간 신호시스템에 적용하기 위한 새로운 방법론을 제시하였는데 의의가 있으며, 교통정보시스템과 신호시스템의 통합시스템 구축에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

향후 연구과제는 다음과 같은 사항이 있다. 첫째, 실제 교통정보시스템 이력자료를 이용한 실시간 산정 결과 분석이 필요하다. 둘째, 신호제어를 위한 적정 Probe 비율에 대한 연구가 요구된다. 향후 알고리즘의 현장적용을 위해서는 신호제어를 위해 요구되는 최소 Probe 비율에 대한 공학적인 해석이 요구된다. 셋째, 연동교차로를 대상으로 하는 알고리즘 효과평가가 필요하다. 도시부 간선도로의 연동교차로를 이용한 시뮬레이션 효과평가가 요구된다.

참고 문헌

- [1] P. Koonce, R. Lee, K. Lee, S. Quayle, S. Beard, C. Braud, J. Bonneson, and T. Urbanik, *Traffic Signal Timing Manual*, FHWA, U.S. DOT, 2008.
- [2] R. P. Roess, S. E. Prassas, and R. W. McShane, *Traffic Engineering*, Prentice Hall, 2011.
- [3] 서울지방경찰청, *실시간 신호제어시스템 COSMOS*, 2001.
- [4] 정영제, 김영찬, 백현수, “구간검지체계의 통행시간정보를 이용한 신호제어 알고리즘 개발,” 대한교통학회지, 제23권, 제8호, pp.181-191, 2005.
- [5] B. Friedrich, “Adaptive Signal Control: An Overview,” Presented at 13th Mini Euro Conference Handling Uncertainty in the Analysis of Traffic and Transportation systems, 2002.
- [6] Y. Zhao and Z. Tian, “An Overview of the

Usage of Adaptive Signal Control System in the United States of America,” Applied Mechanics and Materials, Vol.178-181, pp.2591-2598, 2012.

- [7] M. Asano, R. Horiguchi, and M. Kuwahara, “Adaptive Traffic Signal Control Using Real-time Delay Measurement - Consideration of Stochastic Delay,” Presented at 11th ITS World Congress, 2004.
- [8] 정영제, 박상섭, 김영찬, “독립교차로의 통행시간 기반 신호제어 알고리즘,” 대한교통학회지, 제30권, 제6호, pp.71-80, 2011.
- [9] 도로교통공단, *교통정보 빅데이터를 활용한 스마트 신호운영알고리즘 개발*, 2014.

저 자 소 개

박 순 용(Soon-Yong Park)

정회원



- 2013년 2월 : 단국대학교 토목환경공학과 교통공학전공(공학박사)
- 2013년 6월 ~ 2015년 7월 : 한국건설기술연구원 수석연구원
- 2015년 8월 ~ 현재 : 도로교통

공단 교통과학연구원 선임연구원

<관심분야> : 교통운영 및 도로설계

정 영 제(Young-Je Jeong)

정회원



- 2011년 2월 : 서울시립대학교 교통공학과(공학박사)
- 2011년 3월 ~ 2013년 12월 : 서울시립대학교 교통공학과 연구교수
- 2013년 12월 ~ 현재 : 도로교통

공단 교통과학연구원 선임연구원

<관심분야> : 교통운영 및 ITS