

노변영상장비를 활용한 과포화 신호제어전략 개발

Development of Signal Control Strategy for Oversaturated Intersections Using Wayside Video Equipment

이 현* 김 원 호**
(Hyun Lee) (Won-ho Kim)

요 약

교차로 과포화 시 대응할 수 있는 실시간 신호제어전략은 전방향 및 대기행렬 감지를 위해 많은 감지기가 필요하며, 높은 설치비용이 요구된다. 또한, 기존 앞막힘 예방제어는 해당 접근로의 현시시간을 축소하는 단편적인 전략으로 대응하기 때문에 그 효과가 일시적으로 제한된다.

본 연구에서는 현장에 설치된 ITS영상정보를 활용한 과포화 신호제어전략을 개발하였다. 교차로 과포화 시 발생하는 대기행렬을 영상분석으로 추출하여 이를 기반으로 포화도 비를 산출하여 포화도 비에 따른 신호제어전략을 수립하였다. 신호제어전략은 과포화를 2단계로 나누어 과포화 1단계는 대기행렬 기반 주방향 신호개선, 과포화 2단계는 과포화 시 발생하는 꼬리물기 현상에 대응할 수 있는 신호제어기법을 개발하였다. 신호제어전략의 현장 적용성을 높이기 위해 기존 현시순서, 읍셋, 주기 등을 고정시키고 운영변수의 미세조정전략을 채택하였고, 주도로 위주의 감지 체계를 구축하였다. 신호제어전략별 모의실험 결과, 과포화 상황에서 지체감소 효과가 뚜렷하였고 실시간신호제어인 COSMOS와 비교하여 비용 대비 효율이 더 높은 것으로 확인하였다.

핵심어 : 과포화, 신호제어, 꼬리물기, 대기행렬, 영상감지

Abstract

The conventional real-time signal control strategy for oversaturated situation generally requires a number of detectors at the intersection in order to identify the queue length at each approach. Also, existing strategy for the spillback has limited effect due to the temporal spillback control which only reduce the green split at the approach.

In this study, a signal control system utilizing the imagery information from ITS roadside equipment is developed for operation of oversaturated intersections. The strategy calculates the saturation ratio based on the queue length extracted from ITS RSE, and designs the signal control variables according to the saturation ratio. The signal control strategy is divided into two phases: oversaturated and supersaturated. In oversaturated conditions, timing plan for main approach is optimized by the queue length. In oversaturated conditions where spillback might occur, the signal timing is designed in order to avoid the spillback. To increase field adaptability, the strategy is designed to adjust the split length, all-red-time, and clearance time, and keep the major signal control variables intact. The result of the simulation shows that in oversaturated conditions, the improvement is similar to the real-time signal control system. In case of, oversaturated conditions, however, the effect of the strategy is superior to that of a real-time system.

Key words : Oversaturated, Signal Control, Spillback, Queue, Image detection

† 본 연구는 국토교통과학기술진흥원 연구과제(11교통체계-지능01) 지원에 의해 수행하였습니다.

* 주저자 : 서울연구원 교통시스템연구실 연구원

** 교신저자 : 서울연구원 교통시스템연구실 연구위원

† 논문접수일 : 2013년 06월 13일

† 논문심사일 : 2013년 07월 22일

† 게재확정일 : 2013년 08월 01일

I. 서론

지속적인 교통수요 증가로 인해 대도시 도로 네트워크에서 만성적인 정체구간이 확대되고 있으며, 특히 주요 교차로는 첨두시간대에 과도한 통행 집중으로 인해 통제불능 현상이 발생하기도 한다. 일단 교차로가 과포화를 경험하게 되면 대기행렬 증가로 인해 차량 지체는 급속도로 증가하게 되고 이때 형성된 대기행렬은 교차로 꼬리물기의 원인이 된다. 꼬리물기 현상이 발생하면 녹색시간대에 차량방출이 원활하게 이루어지지 않아 상류부 교차로까지 혼잡의 범위가 증가하게 되어 네트워크 혼잡(Grid-lock)의 원인이 되기도 한다.

이러한 교차로의 과포화 현상을 해결하고자 국내에서 개발된 실시간 신호제어시스템인 COS-MOS(Cycle, Offset, Split Model for Seoul)는 교통대응형 신호제어시스템으로 교통수요에 따라 주기, 녹색시간 등 신호제어변수를 조절하며, 과포화 시에는 앞막힘 예방제어 기법과 형평오프셋 제어 기법으로 대응할 수 있도록 설계되었다. 그러나 실시간 신호제어 전략은 전방향 교통류 자료 수집 및 대기행렬 감지를 위해 많은 감지기가 필요하며, 이는 높은 설치비용이 요구된다. 앞막힘 예방제어 기법은 상류부 교차로의 현시시간을 감소하는 일시적인 대응방법으로 상류부 교차로 및 주변 교차로의 지체를 증가시켜 또다른 과포화를 일으킬 수 있다. 형평오프셋 제어는 과포화 교차로에 유입되는 직진현시에 대해서만 제어하여 직진교통량 이외에 유입되는 좌회전 및 우회전 교통량은 제어되지 않아 효율성이 제한되고 있다.

본 연구에서는 과포화 시의 근본적인 문제인 교차로의 용량초과 문제에 대응하고자 과포화 시 발생하는 대기행렬을 기반으로 포화도 비를 산출하여 포화도 비에 따른 신호제어전략을 수립하였다. 신호제어전략은 과포화 현상을 2단계로 나누어 각 상황에 따라 과포화 1단계는 대기행렬 기반 주방향 신호개선 전략을 수립하였으며, 과포화 2단계에서는 과포화 시 발생하는 꼬리물기에 대한 신호제어 기법을 수립하였다. 신호제어전략은 신호변동에 따른 충격을 최소화 하고 현황 ITS 시설물을 최대한

활용하기 위해 현황 TOD 신호제어변수를 반영한 과포화 신호제어 개선 방안을 수립하였다.

본 연구에서는 기존문헌을 통해 알고리즘 활용과 개선사항을 확인하고 교통상황에 따른 제어단계별 신호제어를 정의하였다. 이에 따른 신호제어의 효과를 확인하기 위해 과포화로 교차로 혼잡이 발생하고 있는 현황 대상지를 선정하여 효과평가를 수행하였다.

II. 기존문헌고찰

1. 대기행렬 감지에 관한 연구

대기행렬 감지를 위해 단일 또는 복수의 감지기로 속도, 점유율 등의 교통류 변수를 감지하여 대기행렬을 추론하며, 이를 기반으로 신호제어에 활용하는 연구가 진행되고 있다.

COSMOS(2001)에서는 정체도에 따른 대기행렬길이 산정하였다. 정체도는 주기별 평균속도를 구하여 정체도와 대응되는 속도를 기준으로 정체도를 구분하였다.

박현석(2007)은 기존 COSMOS 시스템이 속도값을 산정하여 대기행렬길이를 추정하나 평균차량길이를 가정하게 됨으로 속도값에 근본적인 오차를 포함하게 되고, 대기행렬길이 추정값에 대한 신뢰도 감소를 보완하고자 평균점유시간을 변수로 사용하여 대기행렬길이 추정의 신뢰도를 높였다.

본 연구의 신호제어전략은 대기행렬 길이를 기반으로 운영됨에 따라 대기행렬 측정이 중요한 변수로 활용된다. 따라서, 기존 시스템 및 현장에서 충분히 검증되고 수정된 COSMOS 대기행렬 감지 알고리즘을 사용하였다. 수정된 COSMOS 알고리즘은 대기행렬을 측정할 때 점유율을 변수로 사용하여 속도측정의 내포된 문제점 보완하고, 활용성을 증대시킨다.

2. 과포화 시 신호제어모형에 관한 연구

과포화시 신호제어를 위해 과포화 신호제어전략, 내부미터링, 앞막힘 예방제어 등의 다양한 연구가

진행되고 있다.

COSMOS(2001)에서는 과포화 상태에서 현시배분을 위해 정지선 포화도, 대기길이를 반영하여 현시배분 방안을 구축하였으며, 앞막힘 예방제어와 형평웁셋을 수립하였다.

김영찬(1995)은 혼잡도로의 신호제어를 위해서 내부미터링기법을 국내에 적용하는 방법에 대하여 고찰하였다. 이 신호제어 방법은 상류부 교차로의 스펠백(queue spillback)이 발생하지 않도록 대기차량길이를 관리하는 동시에 이상적인 웁셋값을 제시하여 차량의 유출율을 극대화하는 알고리즘을 제안하였다.

이승환(2003)은 현재 서울시에서 운영 중인 실시간 신호제어시스템에서 포화도(DS)가 1이 넘어가는 시점부터 앞막힘 현상이 일어날 때까지의 상황에 대한 대기행렬 성장관리가 미흡하다는 점에 착안하여, 실시간 신호제어시스템 하에 내부미터링(Internal Metering) 기법을 도입하여 새로운 신호제어 전략을 제시하였다. 기존 COSMOS 시스템의 제어그룹(Sub-Area)을 유지한 상태에서 제어 전략을 제시하였으며 그 제어전략의 기본개념은 상류부의 유입량과 하류부의 유입량이 같도록 유입차량의 수요를 미터링하는 하는 것이다.

과포화시 신호제어모형 검토결과 COSMOS에서는 과포화 상태를 위한 현시배분 등의 방안을 수립하였으나 기초 변수로 제시된 점유시간, 비점유시간, 차두간격 등의 수집을 위해 전방향 검지가 필요하여 높은 설치비용이 요구되며, 조정이 필요한 계수가 많아 파라미터 설정에 어려움이 있다. 신호시간 감소에 기반한 앞막힘 예방제어와 웁셋을 변경하는 형평웁셋은 한시적인 대응방법이 될 수 있다. 이외에 몇몇 모형에서는 실시간 신호제어로 인해 신호변환 시 교통류에 대한 충격이 발생할 것으로 예상되었다. 본 연구에서는 과포화 축의 지체해소를 위해 COSMOS의 대기길이를 고려한 보정방법을 일부 반영하여 간선축 위주의 신호제어를 개선하였으며, 실시간 신호제어로 인한 차량 충격을 최소화하고자 기존 TOD 제어변수를 반영하여 효율성을 증대시켰다. 또한, 전방향 검지체계가 아닌 과포화 축으로 검지체계를 설계하여 실용성을 증대하고자 하였다. COSMOS와 본 연구의 주요 차이점은 <표 1>과 같다.

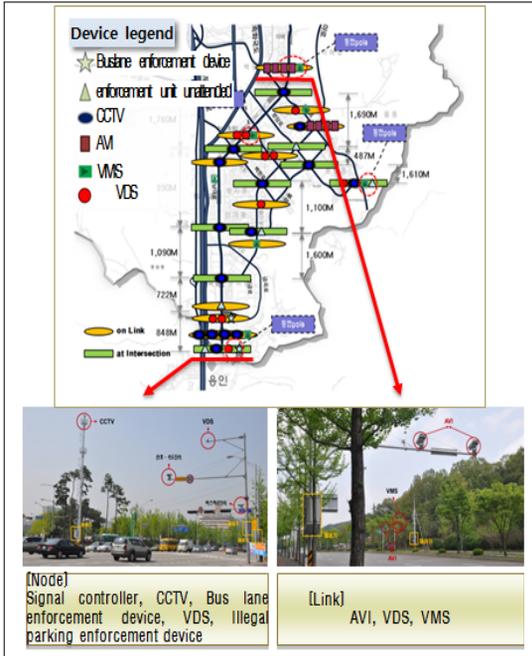
Ⅲ. 노변영상장비를 활용한 과포화 신호제어전략

본 연구의 목적은 과포화에 따른 신호제어전략을 수립하는 것으로 현장 ITS 시설물을 최대한 활용하여 신호제어 개선을 수행 하였으며, Spillback 상황에서 꼬리물기의 근본적인 원인인 차량들의 무리한 교차로 진입에 대한 신호제어 대응전략을 수립하였다.

현장 ITS 시설물을 반영하기 위해 설치지점 및 설치위치 등을 확인하였다. 현장 ITS Layout을 살펴보면 CCTV의 설치율이 가장 높았으며, 노드 및 링 크별로 동일한 ITS 시설물이 한 장소에 집중적으로 설치된 경우는 미미하였고, 대부분 주도로 위주로 설치되어 있었다. 본 연구에서는 ITS 시설물 중 설치율이 높은 CCTV의 영상정보를 기반으로 하여 기존 ITS 시설물을 활용하기 위해 주도로 위주의 검지체계를 구축하였다. ITS 시설물을 활용한 검지체계는 기존 COSMOS 실시간 신호제어의 교차로

<표 1> COSMOS와 과포화신호제어전략의 주요 차이점
<Table 1> The main differences of COSMOS and oversaturated signal control strategy

Division	COSMOS	Oversaturated signal control strategy
Detection system	Whole access road detection	Video data based oversaturated access road detection
Signal calibration parameters at oversaturated	Whole stop line degree of saturation Queue-length	Queue-length TOD signal time
Spillback prevention control	Early termination control Equalization offset	All-red control

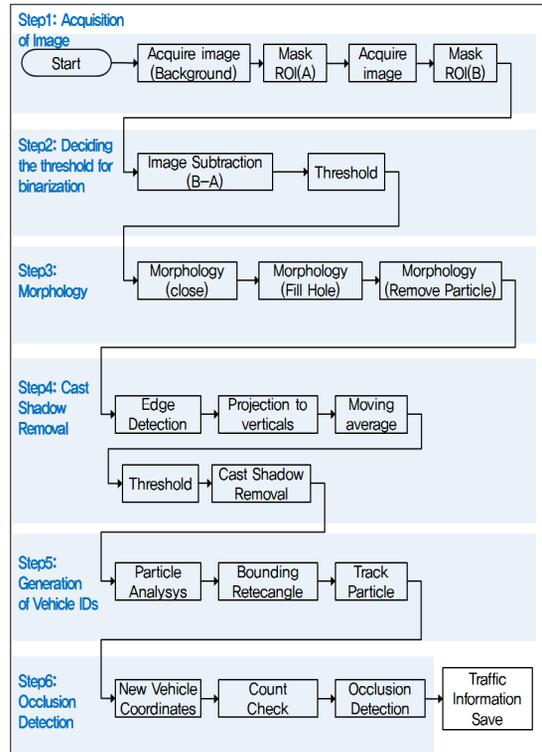


〈그림 1〉 성남시 ITS 현장장비 설치현황
 〈Fig. 1〉 Seongnam city ITS field equipment installation status

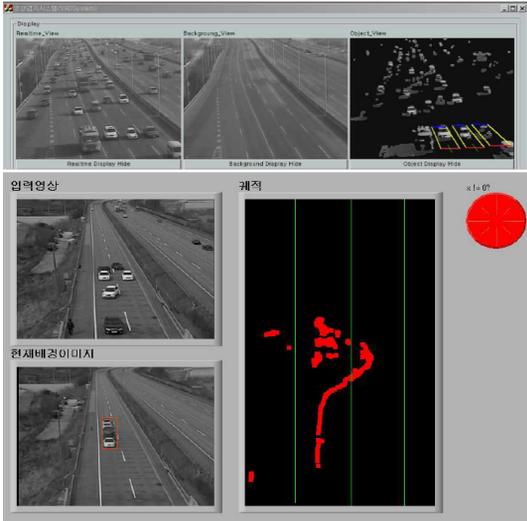
전방향, 과포화 접근로 등의 intersection 검지체계와 대비하여 신호제어 도입이 용이하며 구축비용이 절감된다.

영상자료를 기반으로 대기행렬을 측정하기 위해 영상검지 알고리즘인 Tracking 알고리즘을 활용하였다. Tracking 알고리즘은 영상 화면내의 차선별 또는 도로 내에 설정된 검지선과 검지영역 내에 주행하는 차량에 의하여 발생하는 영상화소(Pixels)의 움직임을 컴퓨터가 추적하여 차량의 속도 등 교통정보를 산출하는 방식이다. 이 방식은 유고감지, 개별차량 위치정보, 교통류 정보수집 등에 대한 검지 및 정보수집이 가능하다.[9] 본 연구에서는 Tracking 알고리즘 중 영역기반(region based) Tracking 알고리즘을 기반으로 하였다. 이는 부분적 차량 폐색(vehicle partially occluded)에 따른 개별차량 분할의 약점이 있기는 하나 대부분의 상용화된 트래킹 기반 영상 검지기가 영역기반 트래킹으로 개발되었고, 그림자처리 차량 폐색 처리와 동시에 교통정보 수집을 하기 위해서는 처리속도(processing time)를

고려해야 하므로 다른 방법보다는 영역기반 Tracking이 효과적이기 때문이다. 차량검지를 위한 Tracking 기법은 6단계로 구분되어 수행된다. 첫째, CCTV 영상을 추출하여 배경을 인식한다. 둘째, 각 차로별 검지영역 ROI(Region of Interest)을 정한다. 셋째, 배경영상 차영상을 구한 뒤 임계값(threshold)을 정하고, 이진화를 한다. 여기서 배경영상 차영상은 상대적으로 계산시간이 적고, 조명 조건에 따라 변화가 없는 알고리즘이 요구된다. 넷째, 모포로지 연산으로 물체의 윤곽(shape)을 구체화하며, 작은 조각(small particles)들은 노이즈로 간주하여 제거한다. 다섯째, 정확한 차량을 추출하기 위한 그림자를 제거한다. 마지막으로 개별 차량의 ID를 부여하는 라벨링 단계로 이 ID를 기준으로 차량의 위치정보, 즉 개별차량별로 그려지는 분할사각형(bounding rectangle)의 좌표값이 저장되어 개별차량에 대한 추적을 수행하게 된다.[10]



〈그림 2〉 Tracking 알고리즘 운영도
 〈Fig. 2〉 Tracking algorithms flowchart



〈그림 3〉 Tracking 알고리즘 운영영상
 〈Fig. 3〉 Tracking algorithms operating video

신호제어전략은 해당 링크상의 대기행렬을 기반으로 하여 과포화 시 제어전략을 수행한다. 과포화 검지를 위해 검지기에서는 지속적인 대기행렬이 측

〈표 2〉 교통상황 정의 및 제어목표
 〈Table 2〉 Traffic status definition and control objectives

Situation		Definition	Target
Saturation	Saturated shear modulus	The situations in which all waiting vehicles are released within one cycle	Minimize delays and interlocking
	Step 1	The situations in which waiting vehicles are not cleared within two cycles(Queue length is more than about 70% of the waiting area)	Control of oversaturated axis peak traffic spill and situation switch up to two steps
Over-saturated	Step 2	Specific vehicle occupies spillback prevention detect area of upstream detector for a certain amount of time(more than about 5 seconds)	Spillback prevent Signal control

정되며, 과포화가 발생할 시에 신호제어전략을 수립하게 된다. 과포화의 기준은 <표 2>와 같이 대기행렬 길이에 따라 1단계, 2단계로 구분되며, 과포화 1단계에서는 대기행렬 기반 신호제어 개선, 과포화 2단계에서는 앞막힘 방지 신호제어를 수행한다.

1. 대기행렬 검지방안

교통상황을 확인하기 위해 대기행렬 검지를 수행하게 된다. 대기행렬 측정은 점유율을 기반으로 정체도를 측정하여 정체도 유형에 따라 대기행렬 산정식을 적용하였다. 정체도 산정 시 정체도 설정에 적용되는 S1과 S2는 정체도 1.0과 0에 대응되는 점유율 값을 나타내며, 임계정체도는 과포화 시점을 나타내며, 과포화 판정의 기준이 된다. 교차로 과포화 판정은 연속된 3주기가 같은 패턴의 과포화 교통상황으로 검지되는 경우에 과포화 신호제어 전략을 수립한다.

$$DOC(i) = \frac{OccRate(i) - S_1}{S_2 - S_1} \quad (1)$$

여기서, $DOC(i)$ =검지기 정체도(0 ~ 1.0)

i =검지기 순서(상류부부터 1, 2,..., n)

$OccRate(i)$ =검지기별 점유율(%)

$D(i)$ =검지기별 설치위치(m)

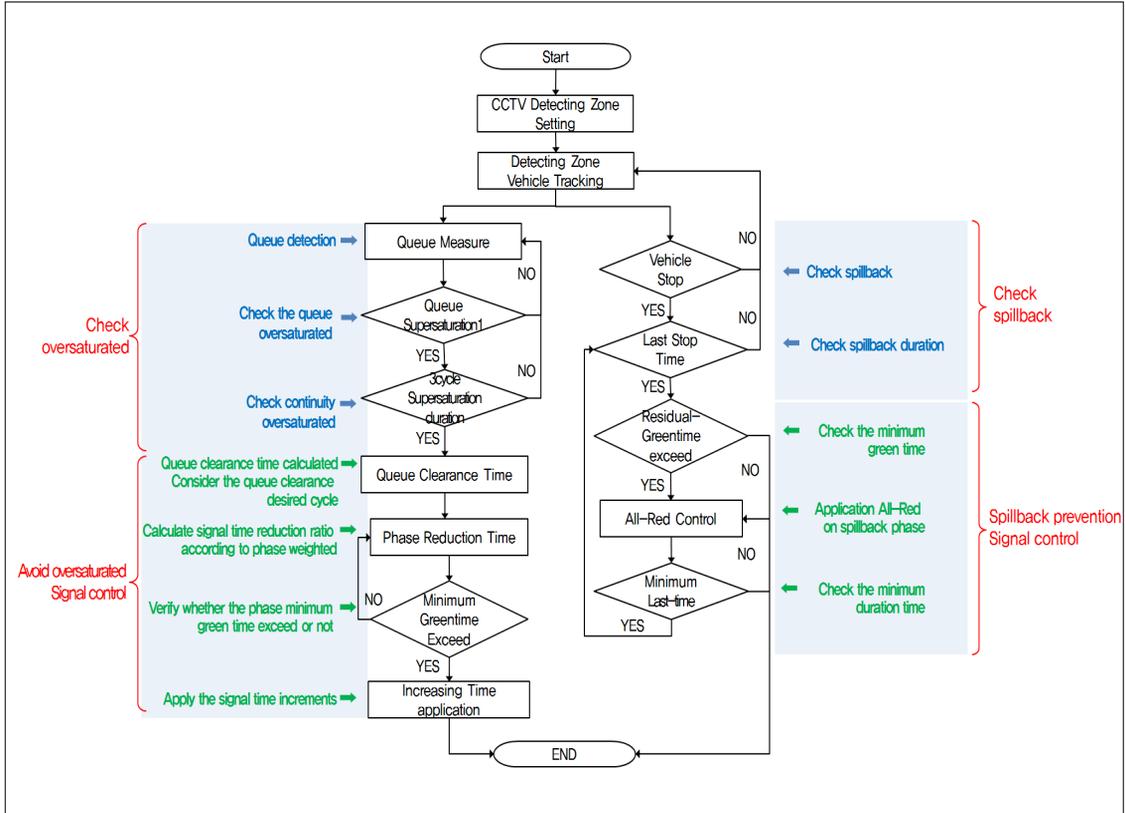
S_1 =정체도 1.0과 대응되는 점유율 (default: 95, 접근로별로 운영자 지정값)

S_2 =정체도 0과 대응되는 점유율 (default: 10, 접근로별로 운영자 지정값)

$THdoc$ =임계정체도(default: 0.7, 운영자 지정)

- 임계정체도가 두 검지기 사이에 있을 경우

$$정체길이(LOC_i) = D(n-1) + [D(n) - D(n-1)] * \left(\frac{DOC(n-1) - THdoc}{DOC(n-1) - DOC(n)} \right) \quad (2)$$



〈그림 4〉 영상검지 기반 과포화 신호제어전략
 〈Fig. 4〉 Oversaturated signal control strategy based video detection

- 전체 검지기의 정체도가 임계정체도보다 큰 경우

$$\text{정체길이}(LOC_i) = D(n) + [(D(n) - D(n-1)) * \frac{DOC(n) - THdoc}{THdoc}] \quad (3)$$

- 전체 검지기의 정체도가 임계정체도보다 낮은 경우

$$\text{정체길이}(LOC_i) = a * \frac{D(1) - DOC(1)}{THdoc} \quad (4)$$

여기서, a: 조정계수(default 0.6)

2. 신호제어전략 운영방안

과포화 1단계인 과포화 방지 신호제어 개선은 과포화 접근로 검지와 대기행렬을 반영한 신호제어 개선으로 구성된다. 과포화 접근로 검지에서는 과

포화가 발생하는 구간에 대한 교통류 변수 검지가 수행된다. 대기행렬을 반영한 신호제어 개선에서는 <그림 4>와 같이 측정된 교통류 변수를 기반으로 과포화 임계도에 따라 대기행렬을 산정하는 과포화 확인 구간, 기존 TOD 운영시간과 교통류 자료 등에 대기행렬을 반영하여 신호를 개선하는 대기행렬 기반 신호최적화 구간을 수립한다.

1) 대기행렬 소거시간 산정

대기행렬 소거시간은 대기행렬 길이에 평균차량 소거시간을 나누어 산정한다. 대기행렬 소거시간에서 과포화 접근로 신호시간을 제외하고 대기길이 소거 희망주기를 반영함으로써 과포화 접근로의 대기행렬 감소를 위한 신호시간이 도출된다.

$$q_{prereq} = LOC_i / \tau \quad (5)$$

$$q_{req} = (q_{prereq} - o_{phasetime}) * a \quad (6)$$

여기서, q_{req} =대기행렬 소거시간(S)
 q_{prereq} =접근로 총 요구시간(S)
 $o_{phasetime}$ =과포화 현시신호 시간
 a =반영상수(Defalut = 0.3)
 =1/대기길이 소거 희망주기 수
 τ =녹색시간 1초당 소거되는 대기행렬 길이(Defalut = 3.5)

2) 현시별 축소시간 산출

과포화 접근로의 대기행렬 감소를 위한 현시별 축소시간이 산정된다. 현재의 TOD가 접근로별 교통량 비율을 반영하였다는 가정 하에 주기와 현시 시간을 고려하여 현시별 신호시간 감소율이 도출된다.

$$Reduction_rate_j = S_j * (phasetime_j / cycle) \quad (7)$$

$$Reduction_Time_j = (Reduction_rate_j * (\sum_{t=1}^n Reduction_rate_t)) * q_{req} \quad (8)$$

여기서, $Reduction_rate_j$ =j번째 현시 비율
 S_j =j번째 현시 이동류의 포화교통류율
 $phasetime_j$ =j번째 현시 신호시간(s)
 $cycle$ =주기(s)
 $Reduction_Time_j$ =j번째 현시 감소시간
 $t = t$ 번째 현시(1, 2, ..., n)

3) 최소녹색시간 비교 및 신호시간 산출

산정된 현시별 녹색신호시간을 최소녹색시간과 비교하여 최소녹색시간 이하로 신호시간이 감소된 현시는 최소녹색시간이 부여되며, 그 밖의(최소녹색시간 이상)경우는 현시별 축소시간을 재산출하게 된다. 최종적으로 현시별 최소녹색시간 이상의 신호시간을 도출하여 신호제어를 수행한다.

4) 꼬리물기 방지 신호제어

꼬리물기 방지 신호제어는 과포화로 인한 앞막힘 현상에 대한 제어로 CCTV 기반 Tracking 검지와 All-Red 신호제어로 구분된다. 교차로 과포화로 인해 발생하는 교차로 꼬리물기 현상을 CCTV 영상자료를 통해 차량 Tracking을 수행하여 검지구간 내에 차량들의 행태를 검지하며, 꼬리물기 검지 시 All-Red 제어로 차량 진출입을 제어한다.

① 꼬리물기 검지구간 설정 및 발생유무 확인

꼬리물기 검지를 위해 CCTV 화각 및 검지구간은 교차로 내부와 꼬리물기가 발생하는 접근로의 끝단이 되어 꼬리물기의 발생 검지 및 차량 진출입 결정에 대한 기준이 된다. 꼬리물기 발생 기준은 COSMOS에서 앞막힘에 대한 기준을 반영하여 검지구간 내의 3대 이상의 차량들이 5km/h 이하의 속력으로 운행될 시에 앞막힘으로 판단한다.

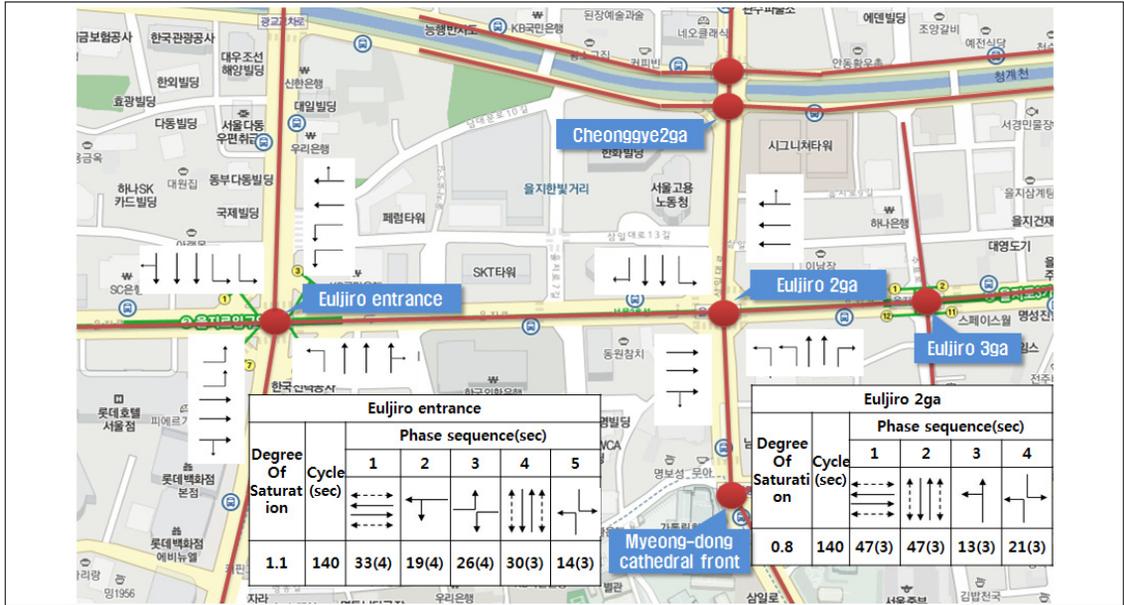
② 꼬리물기 방지 신호제어

꼬리물기가 검지되면 해당 진행현시의 잔여녹색시간을 확인하여 차량 통제여부를 판단하게 된다. 차량 통제를 위해 전방향 ALL-RED 신호가 부여되어 꼬리물기 발생을 억제하며, 최소지속시간 동안 운영된다. 최소지속시간 이후에는 꼬리물기에 대한 검지 재확인 후 동일한 제어가 수행되며, 잔여녹색시간이 기준치 이하일 경우에는 운행되고 있는 제어가 지속적으로 수행되어 해당현시가 종료된다.

IV. 모의실험

1. 모의실험 개요

과포화에 따른 신호제어전략에 대한 효과를 분석하기 위해 VISSIM 시뮬레이션을 이용하였으며, 다양한 신호제어를 위해 VISVAP과 연동하여 제어를 수행하였다. 평가지표로는 지체와 통행시간을 선정하였다. 분석 대상지로는 서울시에서 교차로 과포화로 인해 상습적인 꼬리물기가 발생되고 있는



〈그림 5〉 분석 대상구간 현황
 〈Fig. 5〉 Analysis location status

을지로 입구와 을지로 2가 교차로를 대상으로 선정하였으며, 교차로 과포화가 발생되면 주변 교차로에 영향을 미치기 때문에 분석 대상지에 인접한 영향권 교차로도 추가로 구축하였다. 교통량은 과포화 이전의 근포화 시 교통량과 현황 첨두시(07:00~09:00)에 과포화로 인해 꼬리물기가 발생하는 교통량을 조사하여 시뮬레이션에 적용하였다. 시뮬레이션 시나리오는 현황 TOD 신호제어, T7F 신호최적화, 과포화 신호제어1(꼬리물기 방지 신호제어), 과포화 신호제어2(대기행렬 기반 신호제어+꼬리물기 방지 신호제어)로 구성하였다. 신호최적화는 다수의

〈표 3〉 분석 시나리오
 〈Table 3〉 Analysis scenario

scenario	contents
scenario1	• status(TOD)
scenario2	• T7F based signal optimization(step-wise)
scenario3	• oversaturated signal control1 - spillback prevention signal control
scenario4	• oversaturated signal control2 - spillback prevention signal control - queue-based signal control

논문 및 현장 적용에 널리 쓰이고 있는 TRANSYT-7F를 이용하였다. 과포화 신호제어의 경우 꼬리물기에 대한 All-red 제어의 효과를 확인하기 위해 과포화 신호제어1, 과포화 신호제어2로 구성하였다.

2. 모의실험 평가

1) 네트워크 지체 및 통행속도

분석 대상지 및 주변 영향권 교차로의 지체분석 결과 근포화 시에 현황 대비 시나리오2와 시나리오 3, 4에서 지체 개선 효과를 나타내었다. 지체 개선 효과는 신호최적화와 과포화 신호제어전략이 유사한 효과를 나타내었다.

과포화 교통상황에서는 현황 대비 시나리오2, 시나리오3, 시나리오4에서 신호제어로 인한 지체 개선 효과를 나타내었다. 시나리오3의 경우 꼬리물기를 방지함에 따라 지체가 개선되었으며, 시나리오4의 경우는 신호개선과 꼬리물기 방지를 동시에 수행함에 따라 가장 높은 지체 개선율을 나타내었다. 또한, 근포화 시 보다 과포화 시에 더 높은 개선율

〈표 4〉 시나리오별 분석 대상지 교차로 지체 (s/v)
 〈Table 4〉 Analysis location intersection delay by scenario

Scenario	Nearly saturated		Oversaturated	
	Delay	Ratio	Delay	Ratio
Status	85	-	169	-
T7F Signal Optimization	66	-23%	130	-23%
Oversaturated signal control1	-	-	139	-17%
Oversaturated signal control2	67	-20%	118	-30%

을 나타내 과포화 시 신호제어전략을 통해 소통 상황을 효율적으로 향상시키는 것으로 확인되었다.

기존문헌에[8] 의하면 과포화 시 COSMOS 실시간 신호제어를 수행할 경우 현황 대비 평균 약 30~35%의 개선효과가 나타났다. 과포화 방지 신호 제어방안이 기존 ITS 시설물을 활용하면서 COSMOS 실시간 신호제어시스템과 유사한 지체 개선효과를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 도로교통공단에서 COSMOS 실시간 신호시스템을 평가한 문헌에[7] 의하면 앞막힘 예방제어 중 가장 효과가 뚜렷한 형평읍셋의 경우 본 모의실험과 유사한 조건인 연속되는 교차로 구조 및 과포화로 인한 꼬리물기 발생 시에 알고리즘에 대한 모의 테스트 수행 결과 약 5~13%의 개선효과를 나타내 본 전략의 꼬리물기 방지 신호제어의 지체 개선효과가 COSMOS 신호제어와 대비하여 비용 대비 효율이 더 높은 것으로 확인되었다.

2) 과포화 상황에 대한 교차로 접근로별 지체

과포화 신호제어전략에 대해 방향별 지체값을 확인한 결과 을지로입구의 지정체로 인해 꼬리물기가 발생하는 을지로2가에 대한 꼬리물기 방지 신호 제어 시 꼬리물기가 진행되는 동측접근로(WB)를 제외한 접근로에서 지체가 개선되었다. 꼬리물기를

〈표 5〉 교통상황 정의 및 제어목표 (s/v)
 〈Table 5〉 Traffic situation definition and control objectives

Division		EB	WB	SB	NB
Eulji-ro 2ga	Status	39.8	83.7	98.6	65.1
	Oversaturated signal control1	44.2	123.2	63.3	35.4
	Oversaturated signal control2	44.1	45.1	58.6	39
Eulji-ro Entrance	Status	44.6	123.2	190.2	38.6
	Oversaturated signal control1	50.1	62.2	180.7	37.1
	Oversaturated signal control2	55.2	28.4	157.8	77.4

방지함으로써 통과교통량이 감소하여 WB의 지체가 증가하였지만 WB 이외의 접근로에서 지체감소율이 더 높아 전체적인 교차로 지체는 감소한 것으로 나타났다. 교차로 과포화가 발생하는 을지로 입구 교차로에 대해서는 과포화 방지 신호최적화를 수행하였으며, 과포화 접근로인 WB의 지체가 약 77% 개선된 것으로 확인하였다. WB 이외의 접근로는 과포화 접근로에 시간할당이 되어 지체가 증가하였으나 과포화 접근로의 지체 개선폭이 더 높아 전체적으로 교차로 지체가 감소하였다.

3) 유의성 검정

모의실험 결과값에 대한 유의성 판단을 위해 통계적으로 차이값을 확인하는 T-test를 수행하였다. T-test는 Iteration 횟수를 각 시나리오별로 5회 이상 수행되었다. T-test 결과, 유의수준 0.05($z_{0.05}=2.13$)에서 지체 및 상충횟수가 모두 유의한 결과값으로 도출되었다.

〈표 6〉 유의성 검정 통계량
 〈Table 6〉 Significant test statistics

Division	Nearly saturated T-Test value	Oversaturated T-Test value
T7F Signal Optimization	3.20	8.20
Oversaturated signal control1	-	8.16
Oversaturated signal control2	3.14	8.29

V. 결론

본 연구에서는 과포화 시의 근본적인 문제인 교차로의 용량초과 문제에 대응하고자 노변영상장비에서 수집되는 영상정보를 기반으로 과포화 시의 교통류 자료를 수집하여 포화도 비에 따른 신호제어전략을 수립하였다. 신호제어전략은 대기행렬 기반의 신호제어와 꼬리물기 방지에 대한 신호제어기법을 수립하였다.

신호제어전략별 모의실험 결과, 과포화 시 및 과포화 시에 차량 지체가 개선되었으며, 과포화 시 보다 과포화 시에 지체 개선율이 높게 나타났다. 기존 문헌에서 제시하는 COSMOS 신호제어와 비교 결과 기존 ITS 시설물을 활용하면서 COSMOS 실시간 신호제어시스템과 유사하거나 높은 지체 개선효과를 나타내 비용 대비 효율성이 높은 것으로 확인되었다.

VI. 향후연구과제

본 연구에서는 과포화 시 현황적용이 용이한 신호제어전략을 수립하였으며, 이에 대한 향후연구과제는 다음과 같다. 첫째, 분석구간을 보다 확대할 필요가 있다. 현황 적용성을 증대시키기 위해 다양한 교차로 구간에 적용하여 파라미터 조정이 필요하다. 둘째, 영상기반 Tracking 검지방법에 대한 알고리즘 고도화가 필요하다. 꼬리물기 방지 신호제어를 위한 영상기반 차량 Tracking 검지방법은 높은 영상화질이 필요하므로 이를 보완할 수 있는 영상

검지방안 또는 알고리즘 고도화가 필요하다. 셋째, 과포화 방지 신호제어 알고리즘은 TOD 신호시간을 기반으로 수행되므로 신호제어의 효율성 증대를 위해서는 주기적인 TOD 신호최적화가 필요하다.

참고문헌

- [1] M. K. Song, Y. I. Lee, "A Study on Signal Control Algorithms using Internal Metering for an Oversaturated Network," *Korea Society of Transportation.*, vol. 25, pp.185-195, Dec. 2007.
- [2] Seoul metropolitan police agency, Cycle, Offset, Split Model for Seoul(COSMOS), pp.14-75, 2001.
- [3] H. S. Park, Y. C. Kim, H. Y. Moon, H. C. Kim, "A Development of Traffic Queue Length Estimation Model Using Occupancy Time Per Vehicle Based on COSMOS", vol.25, pp.159-164, *Korea Society of Transportation*, Mar. 2007.
- [4] S. H. Lee, S. S. Lee, S. H. Lee, "On the Introduction of the Internal Metering Policy in COSMOS", *Korea Society of Transportation*, vol. 21, Aug. 2003.
- [5] H. J. Kim, Y. C. Kim, J. H. Kim, "Development of Traffic Signal Control Strategy by Balancing Queue Lengths for Oversaturated Traffic Condition", *The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 2, pp.13-22, Sep. 2003.
- [6] Y. C. Kim, "Application of Internal Metering Technique to the Signal Control of Congested Street", *Traffic Safety Research Journal*, vol. 14, pp.123-135, 1995.
- [7] J. H. Jung, C. Y. Song, E. J. Kim, G. Y. GO, N. W. Hu, A study on the improvement of the new signal system operating software, *Traffic science institute*, 2002.
- [8] J. A. Lee, A study on the evaluation of adaptive control systems and development of improved algorithm using microscopic traffic simulation

models, 2003.

- [9] Korea Expressway Corporation, Video incident detection system performance evaluation methods tunnel built and extended Study, 2012.
- [10] J. T. Oh, J. Y. Min, B. D. Hu, B. H. Hwang, Development of Video-Detection Integration Algorithm on Vehicle Tracking, *Korea Society of Transportation*, vol. 29, pp.635-644, 2009.

저자소개



이 현 (Lee, Hyun)

2012년 2월 : 서울시립대학교 교통공학 석사

2012년 4월 ~ 현재 : 서울연구원 교통시스템연구실 연구원

E-mail : leehyun@si.re.kr

연락처 : 02) 2149-1151



김 원 호 (Kim, Won-Ho)

2005년 : Texas A&M University 교통공학 박사

1999년 6월 ~ 2004년 8월 : Texas Transportation Institute Graduate Research Assistant

2004년 10월 ~ 2005년 5월 : Texas Transportation Institute Research Associate

2005년 6월 ~ 현재 : 서울연구원 연구위원

E-mail : wonor@si.re.kr

연락처 : 02) 2149-1131