

교통조건, 기하구조 조건 및 검지기 설치위치에 따른 실시간신호제어시스템 포화도 산출방식 진단

김준용 · 김진태*

한국교통대학교 교통정책교통시스템공학과

Diagnosis on Degree of Saturation Model of COSMOS Affected by Geometric and Detection Conditions and Detector Placements

KIM, Jun-Young · KIM, Jin Tae*

Department of Transportation Systems Engineering, Korea National University of Transportation, Uiwang 437-763, Korea

*Corresponding author: jtkim@ut.ac.kr

Abstract

The Korean real-time traffic responsive control systems, Cycle Offset Split Model of Seoul (COSMOS), employs a single theoretical model to estimate the degree-of-saturation (DS) on approaches. However, the deployment of the system has been accomplished without practical consideration of its field performance. This paper delivers a diagnosis study performed to find the relationships yet known on the DS values against the operational conditions unproved in theory but ordinarily observed in field practice. Based on the analysis of the historical log data (476,505 cycles) obtained from the COSMOS server, it was found; (1) full coverage of lane detections should perform better than the sample coverage of detection in ordinary conditions, (2) the sample coverage of detection perform better than the other case with an exclusive bus lane, (3) detection in which a shared lane is involved provide poor estimation of DS, (4) poor DS estimation when a detection lane is adjacent to a shared lane, and (5) the DS values obtained during a day can hardly be stable all time. The findings suggest traffic engineers a progressive direction to move forward for the next real-time traffic control systems.

Keywords: COSMOS, degree of saturation, detection, geometric condition, traffic responsive control

초록

교통신호를 가변 운영하는 실시간신호제어시스템은 방향별 움직임 포화도 추정을 위해 이론 기반 모형을 활용하나, 현장구축 실무에선 지침 부재로 모형에 고려되지 않은 운영상황에도 시스템을 설치하여 왔다. 본 연구는 서울시 실시간신호제어시스템 서버 운영 이력자료를 활용하여 교통조건, 기하구조 조건, 검지기 설치위치 등 현장여건에 따른 실시간신호제어시스템 포화도 모형의 포화도 추정 패턴을 진단한다. 총 476,505 신호주기 이력자료를 분석하여 직진 움직임 포화도를 진단한 결과 (1) 검지기가 모든 직진차로에 설치될 때 일부차로에 표본 설치되는

상황보다 포화도 추정이 안정적으로 판단되고, (2) 가로변버스전용차로가 존재하는 경우는 오히려 검지기를 일부 차로 표본 설치하는 것이 안정적으로 분석되며, (3) 공유차로 포함 차로군 검지기가 활용되는 경우 차량간섭으로 인해 포화도 추정이 정상적이지 않은 것으로 분석되고, (4) 검지기가 전용차로에 설치되더라도 공유차로에 인접한 경우도 차량간섭에 지속 영향 받아 포화도 추정이 어렵고, (5) 하루 24시간 중 특정시간은 교통흐름 속성에 따라 포화도 추정이 안정적이지 않을 수 있다는 내용이 진단되었다. 이러한 진단결과를 종합하여 향후 포화도 추정모형 개발단계 및 시스템 현장구축 단계에서 참조 가능한 기술발전 방향을 제언한다.

주요어: 실시간신호제어시스템, 포화도, 검지, 기하구조조건, 교통대응제어

서론

실시간신호제어시스템(Cycle offset split model of Seoul; COSMOS)은 1990년대에 개발된 교통신호시스템이다. 수시로 변화하는 교통수요에 따라 교통신호 시간이 실시간 갱신되는 지능형 서비스를 지향한다(Seoul Metropolitan Police Agency, 2001). 시행착오를 통한 내부 알고리즘 개선 등의 노력이 존재하였으며, 첨단 지능형 교통신호제어(Traffic Responsive Control; TRC) 효과에 대한 기대로 2000년대 초중반 국내 지방자치단체 현장에 널리 설치된 바 있다. 그러나 COSMOS TRC 교통신호운영을 경험한 지방자치단체는 TRC 운영에 대한 신뢰를 주지 않고 있으며 현장에서도 TRC 운영모드는 현재 사용되지 않고 있다.

실시간신호제어시스템의 교통신호제어 알고리즘은 이론적으로 정형화된 교차로 기하구조 및 교통상황을 토대로 개발되었다. 그러나 현장에서 관측되는 신호교차로 기하구조 및 교통 상황은 이론과 달리 정형화되어 있지 않다. 정지선 검지기가 모든 차로 또는 일부 차로에 설치되기도 하고, 전용차로가 아닌 공유차로에 설치되기도 한다. 가로변 버스전용차로가 있기도 또 없기도 하며, 경우에 따라 직진과 우회전 차로 사이에 위치하기도 한다. 교통여건도 마찬가지이다. 장기 불법주정차 차량을 피하려는 차량들의 비정상적 차로운행 상황이 장시간 검지기에 감지되기도 한다.

실시간신호제어시스템은 다양한 현장 교통흐름 상황을 해석하기 위해서 하나의 단일 DS (degree of saturation) 추정모형을 사용하고 있다. 이는 복잡한 현장 교통흐름 상황을 하나의 DS 추정모형 적용만으로도 해석이 충분하다는 가정을 포함한다. 여기서 DS 변수는 ‘차량들이 이용한 녹색시간-대비-주어진 녹색시간의 비율’로 교통량-대-용량 비율 (volume-to-capacity ratio, X) 추정에 실시간 용량 산정이 어려워 대신 사용되는 대체변수이다. DS 변수 값은 접근로 교통흐름 영향이 반영된 시간의 비율이기 때문에 단일 모형으로 충분할 수도 있을 것이나 그렇지 않을 수도 있다. 해당 가정에 대한 학술적 진단 및 검증이 지금까지 수행된 바 없다.

1. 연구목적

본 연구는 기존 실시간신호제어시스템의 DS 추정모형에 내재된 ‘다양한 현장상황에 대한 DS 값 추정을 하나의 모형 적용만으로도 해석이 충분하다고 가정’하는 기존 방법론에 대한 진단을 목적으로 한다. 본 연구의 세부 목적은 아래와 같이 구분된다.

- (1) 다양한 현장상황별 DS 추정모형 성능 진단을 통한 기존 접근방식에 내재된 이론적 가정 적정성 검증
- (2) 다양한 현장상황별 DS 추정모형 개발 시 반영이 필요한 기반정보 제시

세부 연구목적을 달성하기 위해 현장에서 관측되는 다양한 기하구조 및 교통조건 자료를 수집 및 구분하고, 실시간신호제어시스템으로부터 수집된 현장 자료를 해당 상황별 구분하여 비교 분석한다. 비교분석 결과를 해석하며 기존 DS 추정모형의 한계를 점검하고, 신규 DS 추정모형 개발 시 참조될 기반 정보를 검토한다.

2. 기대효과

DS 변수는 실시간 상황에서 X 변수의 추정을 대체하는 변수이기 때문에 COSMOS 뿐만 아니라 새롭게 마련되는 신규 실시간신호제어시스템에서도 지속 사용될 것으로 예견된다. 그렇기 때문에 현재 COSMOS DS 추정방식에 내재된 기존 가정에 대한 검토는 미래에 개발될 실시간신호제어시스템의 오류를 미연에 방지할 수 있는 학술적 연구의 초석을 제공한다.

3. 연구범위

본 연구에서 분석하고자 하는 실시간신호제어시스템의 다양한 현장운영 상황은 아래 세 가지 경우로 구분된다.

- 정지선검지기가 현장 여건에 따라 이동류 전체 차로에 설치되는 경우와 일부 차로에만 설치되는 경우에 DS 추정 패턴에 차이가 있는지 여부 진단
- 실시간신호제어시스템 DS 추정모형이 접근로별 상이한 다양한 기하구조 조건과, 시간대별로 상이한 다양한 교통조건을 포용하며 공학적으로 합리적인 DS 변화패턴을 유지하는지 여부 진단
- 실시간신호제어시스템 정지선검지기가 현장 여건에 따라 일반적이지 않은 방식으로 운영되는 차로에 설치된 경우, 추정되는 DS 변화 패턴에 차이가 발생하는지 여부 진단

본 연구는 연구범위로 직진 움직임만을 포함하며 좌회전 움직임은 제외한다. 또한 국내 지방자치단체에 설치된 여러 실시간신호제어시스템 중 서울특별시에 구축된 실시간신호제어시스템 운영교차로를 연구범위로 한정한다.

문헌고찰

실시간신호제어시스템 개발 이후 내부 기능을 강화하는 연구개발 단계에서 DS 산출모형의 개선 및 DS 값 신뢰성 확보를 위한 노력이 수행된 바 있다(Lee, 1995; Lee et al., 2006; Son, 2012)(Equation 1). 과거 2000년대 초반 이러한 실시간신호제어시스템 기능개선 연구가 중단된 이후로 실시간신호제어 효율성 확보를 위한 별도로 수행된 추가연구는 부재하다.

$$DS = \frac{G - (\sum Space - (N - hk)t - Enocc)}{G} \quad (1)$$

- G : Displayed green time,
 $\sum Space$: Sum of unoccupied time (sec)
 N : The number of vehicles (veh)
 t : The average unoccupied time when saturated
 hk : the number of vehicles experiencing startup-lost time
 $Enocc$: Total unoccupied green time of vehicles experiencing start-up lost time

실시간신호제어시스템이 사용하는 DS 변수는 교통공학에서 사용하는 고전적 v/c (volume to capacity ratio, X) 변수의 사용을 대체하는 대체변수이다. 여기서 X 변수는 한 시간 또는 15분 단위 거시적인 서비스 수준을 평가하는 거시 평가(macroscopic evaluation)에 사용되는 변수이다. 실시간으로 신호주기 또는 더 짧은 시간 단위로 용량(capacity)을 수치 및 반복 추정하는 과정에 X 변수를 사용하는 것이 불가능하여 DS 가 이를 대체하기 위해 사용된다.

실시간신호제어시스템이 적용되는 신호교차로 서비스수준(level of service; LOS) 분석방법으로 Kim et al.

(2008)이 DS 추정방법을 제안하였다. 이들은 실시간으로 변화하는 녹색신호시간의 평균값을 순환 계산(iterative computation)을 통한 ‘수렴 녹색시간’으로 추정하기 위해 우선적으로 ‘단위 녹색시간 대비 교통량 비율 (volume to green time ratio, v/g)’ 변수를 사용하여 실시간신호제어시스템 DS 값을 추정할 것을 제안하였다. 이후 해당 결과를 활용하여 추정된 DS 값을 신호시간 설계에 활용하고자 하는 노력이 존재하였으며, Kim and Kim(2015)은 이에 대하여 v/g 변수는 신호시간 ‘평가(evaluation)’ 범주 내로 제한하여 사용하는 것이 적합하다고 제안하였다.

본 연구에서도 실시간신호제어시스템의 DS 값 패턴 분석 및 평가(evaluation)를 위하여 교통량과 녹색신호 길이 변화에 따른 영향을 동시에 설명할 수 있는 v/g 변수와 DS 값과의 관계를 활용하는 방법을 선행연구를 참조하며 적용하였다.

연구방법

서울특별시 내 신호교차로 중 과거 실시간신호제어시스템 TRC 모드로 운영되었던 신호교차로들의 이력자료(Database; DB)를 서울지방경찰청 신호제어센터로 선별적으로 수집하고 분석하였다. 신호교차로 기하구조 조건 및 교통상황 조건에 따른 DS 변화 패턴을 구분 및 분석을 위해 연구절차를 다음 4단계로 구분하였다.

- 이력자료 수집
- 분석자료 추출(Data reduction)
- 운영상황 구분(기하구조 조건, 교통 조건, 제어 조건)
- DS 변화 패턴 분석

상기 4 단계로 구분된 연구내용을 아래 세부단락으로 정리하여 제시하였다.

1. 이력자료 수집

서울특별시 ‘교통신호운영센터’로부터 과거 실시간신호제어시스템 TRC 운영 이력자료 (서울시 강남 및 강북권역에 위치한 총 14개 신호교차로)를 수집하였다. 과거 이력자료에 해당하지만 서울특별시에서 노면검지기 운영관리가 수행되던 시기의 자료로서 현재로서 활용 가능한 가장 최신의 TRC 운영 이력자료이다(현재 TRC 모드 운영되고 있지 않음). 수집된 운영이력 자료는 아래 DB를 포함하고 있다.

- 주기별 교통정보DB
- 주기별 신호정보DB
- 교차로 신호운영DB
- 교차로 기하구조DB

수집된 자료는 2006년 9월, 10월, 총 2개월 동안 운영된 총 14개 신호교차로의 TRC 로그자료(log data)를 포함한다. 분석에 사용된 자료를 환산하면 총 20,496 시간·교차로에 해당하는 분량이며 교통신호 주기로 계산하면 전체 476,505 신호주기(cycle)에 해당한다.

2. 분석자료 추출

수집된 자료는 각 주기별 ‘교통정보DB’와 ‘신호정보DB’로 구분된다. ‘교통정보DB’는 접근로별 검지 교통량, DS , 주행속도, 운영모드, 통신성공여부 등의 자료를 포함한다. ‘신호정보DB’는 교통신호주기 길이, 현시 길이, 옴셋 값 등의 자료를 포함한다. TRC 운영모드 이력자료의 해석을 위해 이들 ‘교통정보DB’와 ‘신호정보

DB' 이력자료들 간의 상호 참조가 필요하다.

이들 두 개 DB 이력자료를 상호 참조하며 본 연구 수행에 필요한 분석 자료를 추출하기 위해 Visual Basic .NET 프로그래밍언어를 사용하여 COSMOS Historical Data Management Software (CHDMS) 프로그램을 개발하였다. 해당 프로그램을 활용하여 각 요소 DB에 저장된 실시간신호제어시스템 로그(log)자료를 연계하여 본 연구를 위한 DB를 별도 구축하였다(Figure 1 참조).

별도의 DB를 구축하는 과정에서 본 연구의 관심범위를 벗어나는 자료 및 이상치(outlier)에 해당하는 자료를 제외(data reduction)하였으며 그 대상은 다음과 같다.

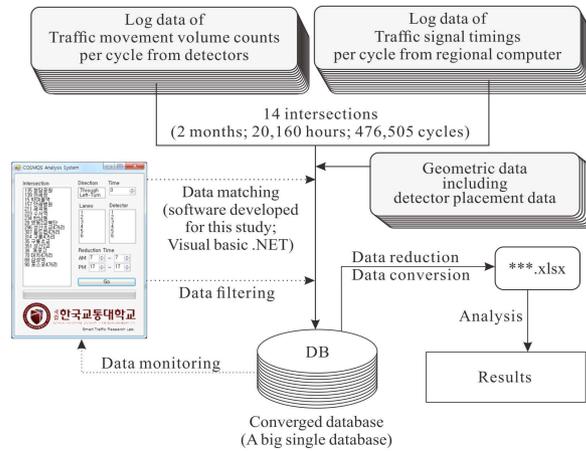


Figure 1. Data manipulation and analysis process

- 통신장애 자료 : 일시적 통신장애로 현장 신호제어기와 센터 서버 간 통신이 완벽하지 않는 신호주기 이력자료 배제
- Time of Day (TOD) 자료 : 실시간신호제어 TRC 운영모드 운영 중 일시적 운영자 개입 및 고정주기 운영 시간대의 TOD 모드 운영 이력자료 배제
- 전이시간(Transition) 자료 : 교통신호가 모드 간 전환이 발생하는 시간 동안의 이력자료 배제
- DS 1.0 초과 자료 : 이론적으로 DS 변수는 '가용 가능한 녹색신호시간' 대비 '실제 차량이 사용한 녹색 시간'의 비율이므로 그 비율이 1.0을 초과할 수 없으므로 DS 값 1.0 초과 자료 배제 (검지기 이상 상황으로 구분)
- v/g 0.6 초과 자료 : 우리나라 도로용량편람이 제시하는 포화차두시간 (1.63 초) 기준 적용 시, 차두시간의 역수 개념인 v/g 는 약 0.6 을 초과할 수 없기 때문에 v/g 값 0.6 초과 자료 배제 (검지기 이상 상황으로 구분)

3. 운영상황 구분

'교통정보DB'와 '신호정보DB'와 함께 수집된 '신호운영DB'와 '기하구조DB'자료를 교차 열람하여 교차로 접근근로 별 운영상황을 구분하였다. 자료 교차열람을 통하여 (1) 접근근로 차로 수, (2) 가로변 버스전용차로 유무, (2) 버스전용차로 위치, (3) 전용차로 또는 공유차로 여부, (4) 차로별 검지기 존재 유무, (5) 우회전부 횡단보도 존재 유무를 기준으로 운영상황을 구분하였다.

상기 구분된 운영상황별 CHDMS를 활용하며 이력자료를 별도 구분하였다. 기하구조 및 교통조건에 따라 구분된 각 운영상황별로 DS 변화 패턴 분석 수행이 가능하도록 마련된 이력자료를 토대로 분석을 수행하였다.

4. DS 변화 패턴 분석

DS 는 ‘교통류율’과 ‘녹색시간’ 모두에 영향을 받는다. 교통류율과의 관계에서 교통류율이 증가하면 DS 도 증가하고, 교통류율이 감소하면 DS 가 감소하는 비례관계를 가진다. 반대로 녹색시간은 길어질수록 DS 가 감소하고, 짧아지면 DS 가 증가하는 반비례 관계를 가진다. 교통류율과 DS 의 비례관계, 녹색시간과의 반비례 관계를 동시에 설명하는 v/g 변수는 DS 변수와의 상관관계에서 비례 관계를 나타낸다. 본 연구는 해당특성을 반영하여 DS 패턴 분석을 위해 DS 값과 ‘교통류율’과 ‘녹색시간’의 비율(v/g)로 비교 분석하였다.

여기에서 신호교차로의 서비스수준 평가 시 일반적으로 사용되는 X 변수는 실시간신호제어시스템의 경우 매 주기 단위 또는 더 짧은 시간단위로 용량을 수시 및 반복 추정하는 것이 불가하여 사용되고 있지 않다 (Kim et al., 2005). 본 연구 목적은 실시간신호제어시스템의 신호시간 설계에 사용되는 DS 산출 모형에 대한 진단 수행이므로 용량을 기반으로 한 v/c ratio 변수를 사용한 분석은 제외한다.

DS 변화 패턴 분석은 Figure 2와 같이 전체 3개 범주 내 총 6 개 운영상황을 대상으로 수행하였다.

Graphical comparison of DS against v/g ratio (thru movement)

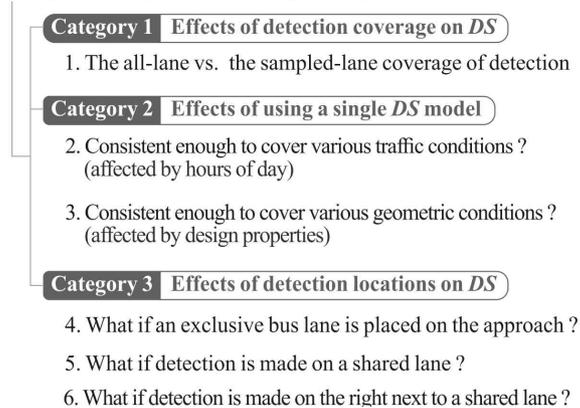


Figure 2. Composition of study subjects

1) 검지범위 고려

“검지범위 고려” 부분에서는 접근로의 ‘정지선 검지기’ 설치상황에 따른 DS 산출결과 패턴 비교 분석을 수행한다. 실시간신호제어시스템 정지선 검지기는 현장 여건에 따라 모든 직진차로에 설치되기도 하며 상황에 따라 일부 차로에만 설치되어 운영되기도 한다. 이들 두 가지 검지기 설치 운영상황에 대한 차이를 DS 패턴 변화로 진단한다.

2) 교통조건 및 기하구조 조건 다양성 고려

신호교차로 접근로별로 차로 조건은 다양하게 나타난다. 다양한 현장 기하구조 조건 하에서 DS 추정모형에 의해 도출된 DS 산출결과 패턴이 안정적인지 진단한다. 시간대별(새벽, 주간, 야간)로 교통상황은 변화하며, 접근로별 기하구조 특성은 모두 다르다. 특정 접근로가 실제로는 한산한 상황임에도 불구하고 DS 산출결과가 높게 나타난다거나 변동 폭이 커질 경우 그만큼 녹색시간이 불필요하게 길어질 수 있는 가능성을 갖게 된다. 이로 인하여 다른 방향의 접근로 대기차량 지체를 늘어나게 하며 교차로 전체의 신호운영 효율성을 저하시키는 결과를 초래할 수 있다. “교통조건 및 기하구조 조건 부문”에서는 접근로의 시간대별, 기하구조별 다양한 조건에 따라 DS 산출결과가 안정적인지에 대한 진단을 수행한다.

3) 차로운영 고려

정지선검지기가 설치된 차로에 인접하여 버스전용차로가 존재하는 경우와 그렇지 않은 경우가 존재한다. 버스전용차로가 설치된 경우 해당 차로의 버스와 버스전용차로로 진입이 규제 되는 일반 차량들 간의 간섭이

검지기 자료에 반영될 수 있다. 검지기가 공유차로에 설치되거나 공유차로에 바로 인접한 차로에 설치되는 경우도 존재한다. 서로 다른 방향을 향하는 차량들이 차로를 공유함으로써 발생하는 상호 간섭 행태가 검지기 자료에 반영될 수 있다. “차로운영 부문”에서는 기하구조 요건 중 간섭상황이 발생하는 특정 조건에 대한 영향을 진단한다.

분석결과

앞서 구분된 Figure 2의 3 가지 범주 내 6 가지 운영상황에 대한 분석결과를 아래 세부단락으로 별도 구분하여 제시하였다.

1. 검지범위 부문

전체 56개 접근로 중 직진차로 전체 ‘정지선 검지기’를 설치한 경우(18개, 32%)와 일부 차로에 설치된 경우(38개, 68%)를 구분하여 Table 1에 제시하였다. Table 1에 제시된 상황지표(case index)의 앞자리 수는 직진차로 수를 의미하며, 뒷자리 수는 차로운영 및 검지기 설치 상황을 구분하는 지표이다.

가로변 버스전용차로가 설치된 접근로에서 버스전용차로 이용 차량은 버스로 한정되며 일반 직진차량 진입은 금지된다. 따라서 가로변 버스전용차로를 제외한 다른 모든 직진차로에 검지기가 전부 설치된 경우는 ‘정지선 검지기’가 모든 차로에 설치된 것으로 구분하였다.

Table 1. Cases observed for the all-lane and the sampled-lane coverages of detection

Case index	Coverage of detection	Number of through			Cases observed	
		Lanes	Detectors	Bus lane	All	Sampled
1-1	All	1	1	0	8	
2-1	Sampled	2	1	0	-	3
2-2	All		2	0	5	
3-1	Sampled	3	2	0	-	25
3-2	All			1	1	
4-1	Sampled	4	2	0	-	2
4-2	Sampled			1		1
4-3	Sampled		3	0	-	7
4-4	All			1	4	
Sum					18	38
Total					56	

1) 모든 차로 vs. 일부 차로 검지범위 (동일차로 수)

정지선검지기가 모든 직진차로에 설치된 경우와 일부 직진차로에 설치된 경우를 비교 하였다. Table 2는 직진차로가 2개인 접근로에서 1개 차로에만 검지기가 설치된 경우와 2개 차로 모두 검지기가 설치된 경우를 (Case index 2-1, 2-2) 비교 분석한 결과를 제시한다.

정지선검지기가 모든 직진차로에 설치된 경우 DS 와 v/g 변수 간 상관관계수(R^2)가 0.918로 높게 분석되었다. 검지기가 일부 대표차로에만 설치되어 있는 경우 해당 변수의 상관관계는 상대적으로 낮은 0.693으로 도출되었다. 해당 변수들 간의 회귀분석 추세선 기울기를 분석한 결과 각각 1.893 과 1.647로 상이한 것으로 분석되었다.

2) 모든 차로 vs. 일부 차로 검지범위 (유사차로 수)

직진차로 수가 4차로이고 그 중 3개 전용차로에 검지기가 설치되어 있으나 남은 1개 직진차로가 가로변 버

스전용차로인 경우(Case 4-4)와 일반 직진 차로인 경우(Case 4-3)를 비교 분석하였다. Table 3에서 분석 결과를 요약 제시하였다.

Table 2. Comparison of DS estimation for the cases of all-lane and sampled-lane detection on two-through-lane approaches

Coverage of detection	Computed values		R^2
	Constant	Coefficient (v/g)	
All-lane	0.101	1.893	0.918
Sampled-lane	0.105	1.647	0.693

Table 3. Comparison of DS estimation for the cases of all-lane and sampled-lane detection with extended data

Coverage of detection	Computed values		R^2
	Constant	Coefficient (v/g)	
All-lane	0.112	1.895	0.839
Sampled-lane	0.095	2.140	0.906

일부 차로에만 검지기가 설치된 경우(Case 4-3) v/g 와 DS 간 상관계수(R^2)는 0.906으로 나타났으나, 검지기가 모든 차로에 설치된 경우(Case 4-4; 가로변버스전용차로 일반차량 진입 규제)는 상대적으로 낮은 0.839인 것으로 분석되었다. 일부차로에만 검지기를 설치하는 경우, 가로변버스전용차로 주변의 간섭이 검지기 설치차로까지 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 그러나 모든 차로에 검지기가 설치된 경우에는 가로변버스전용차로 진입이 규제된 우회전 차량 및 손님 승하차를 위한 택시의 진입과 같은 행태가 보다 적극적으로 검지기 자료에 전달되어 상관관계 값이 저하되는 것으로 해석된다.

2. 교통조건 및 기하구조 조건 다양성 부문

Figure 3은 3개 직진차로(3차로) 상황에서 2개 차로에만 검지기가 설치된 상황에서의 DS 패턴변화를 제시한다. v/g 값이 낮아질수록 DS 산출결과 값이 함께 낮아지는 것이 일반적인 예측이나 실제 DS 값은 0.1-0.9 범위에 넓게 퍼져서 분포하는 것으로 나타났다.

이는 현장에서 교통류율이 낮으나 실시간신호제어시스템이 높은 DS 값을 사용하고 있음을 의미한다. 낮은 v/g 영역에서 DS 값이 커지는 현상은 교통정체가 원인일 수 있으나 다른 이유가 있을 수도 있어서 확인이 필요하다. Figure 3의 결과는 이력자료를 시간대별로 구분하지 않은 자료로 반복 교통정체가 발생하는 시간대를 구분하는 시간대별 패턴 분석 수행이 필요하다. 시간대별 (교통조건별) DS 값을 패턴변화를 확인하는 과정을 추가 수행하여 DS 변동 폭이 커지는 원인에 대한 진단을 하였으며 그 결과는 다음 세부단락에 제시하였다.

Figure 4는 4개 직진차로(4차로) 중 3개 차로에만 검지기가 설치된 상황으로 Figure 3과 같은 대표차로 검지기 설치 상황이나 그 DS 패턴변화 형태가 다르다.

Figure 4에서 v/g 값에 따른 DS 변화 패턴이 서로 다른 세 개의 형태(기울기)로 나타나고 있는 것을 확인할 수 있다. 동일한 차로 수 및 검지기 설치 조건하에서도 이러한 결과가 나타나는 원인으로서는 차로수와 검지기 설치 조건 외에도 접근로 별로 다양하게 나타나는 특정할 수 없는 기하구조 요소들이 작용하고 있는 것으로 해석된다.

상기 제시된 Figure 3와 Figure 4의 사례를 통하여 실시간신호제어시스템은 (1) 시간대 변화에 따른 교통조건 변화, (2) 접근로별 기하구조 조건의 변화에 따라 DS 변화 패턴이 동일하지 않을 수 있음을 짐작하게 한다. 따라서 추가적으로 (1) 시간대별 구분 (2) 기하구조 조건 구분을 통한 세부 분석을 수행하였다.

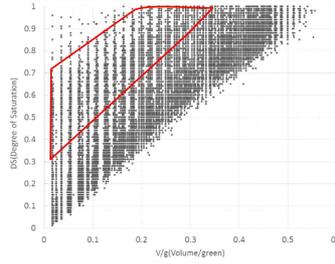


Figure 3. Abnormal noises (high DSs) sample from the historical data

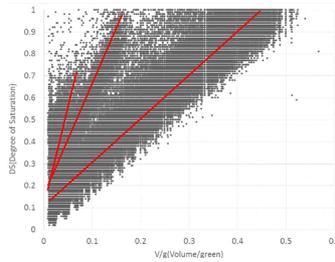


Figure 4. Various relations found with the sampled- lane coverage of detection (from case 4-3)

1) 교통 조건별(시간대별) 분석

교차로 한 지점 이력자료(61일)를 선정하여 v/g 와 DS 의 상관관계를 24 시간으로 구분하여 Figure 5에 도식화하였다. 해당 교차로는 강남 국제청사거리로서 새벽시간 동안에 자가용, 택시, 대리차량 등의 노변 불법 주정차 행위가 관례적으로 목인되는 특성을 가지고 있는 지역이다.

Figure 5은 해당 교차로에서 v/g 와 DS 간 선형관계가 새벽 시간대에만 일반적인 경향에서 벗어나고 있음을 나타낸다. 이는 노변 간섭을 회피하고자 하는 차량의 일반적이지 않은 주행행태가 검지기에 감지되어 DS 값의 변동 폭이 커지는 것으로 추정된다. 이력자료 수집당시 현장상황 자료부족으로 이에 대한 원인 파악이 불가능하나 기존 실시간신호제어시스템 DS 추정모형은 시간대별로 다양하게 변화하는 교통상황을 효율적으로 설명하지 못하는 한계가 있음을 확인하였다.

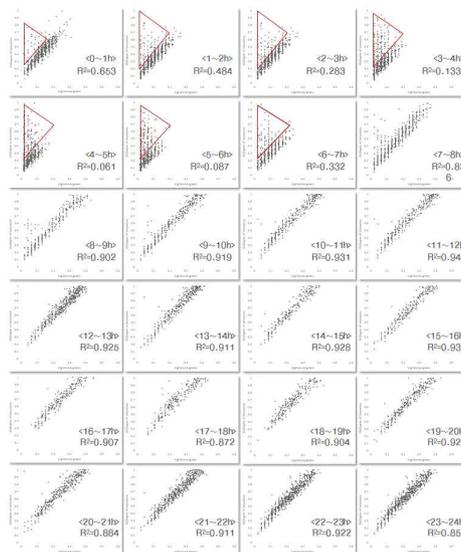


Figure 5. Abnormal noises (high DSs) found only during a certain time period (at Guksaechung intersection)

2) 기하구조 조건별(접근로별) 분석

동일 교차로 내에서 차로이용 조건이 상이한 접근로 두 곳을 선정하여 이들로부터 수집되는 v/g 와 DS 값을 비교하였다. 해당 교차로는 영동2교교차로로 Figure 6(a)는 북향접근로의 2차로 전용차로 운영상황, Figure 6(b)는 서향접근로의 1차로 공유차로 운영상황을 나타낸다.

이들 두 개 접근로 자료에서의 DS 변화 패턴을 회귀분석을 통한 선형 기울기로 나타내면 각각 1.490 과 2.336으로 크기에 차이를 나타내고 있다. 이는 기존 실시간신호제어시스템 DS 추정모형이 접근로 기하구조 차로운영 여건에 따라 변화하는 DS 변화패턴을 효율적으로 설명하지 못하고 있음을 나타낸다.

3. 차로운영 부문

Figure 6에서 기하구조 차로운영상황에 따라 DS 변화 패턴이 다르게 추정될 수 있음을 확인하였다. 이에 보다 세부적으로 다양한 기하구조 차로운영상황에서의 실시간신호제어시스템 DS 추정모형을 진단하였다.



(a) Northbound exclusive lane case (b) Westbound shared lane case
Figure 6. Comparison of $DS-v/g$ data from different approaches at Youngdong2bridge intersection

1) 버스전용 인접차로 검지운영

접근로 내 가로변버스전용차로 유무에 따라 DS 변화 패턴이 다를 수 있으며, 버스전용차로가 일반적인 위치에 배치되지 않는 경우 그 변화가 더욱 심할 수 있음을 확인한다. 성산2교교차로의 경우 직진차로와 우회전차로 사이에 버스전용차로가 위치하며, 해당 지점의 v/g 와 DS 상관관계를 시간대별로 구분하여 나타내었다 (Figure 7 참조).

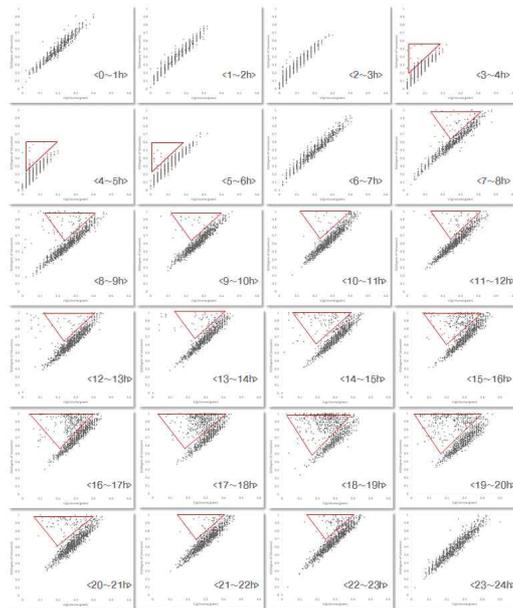
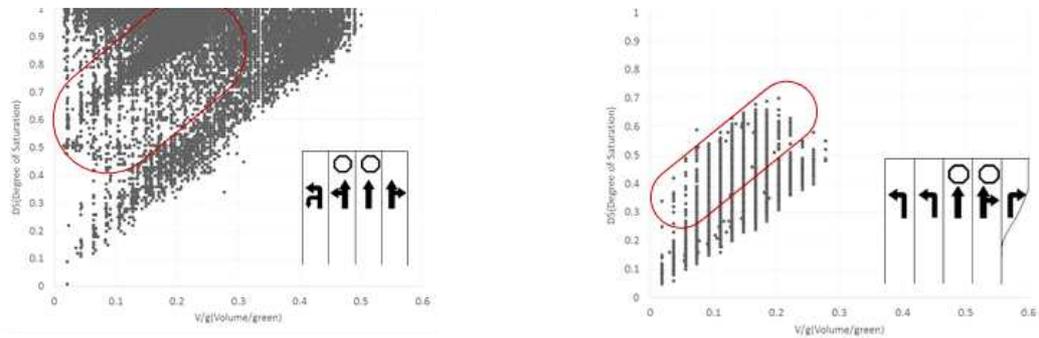


Figure 7. Abnormal noises (high DS s) found during the bus operating hours (04:00-23:00) on an approach with an exclusive bus lane (at Sungsan 2bridge)

Figure 7에서 버스가 운행되는 시간(05:00-23:00)의 DS 변화 패턴과 버스가 운행되지 않는 시간(23:00-05:00)의 패턴이 다른 것을 확인할 수 있다. 버스가 운행되지 않는 심야시간대의 DS 값은 일반적인 선형형태로 패턴이 나타나지만 버스운행 시간대의 DS 값은 삼각형 형태로 표기된 부분이 선형형태로 부터 벗어나고 있다. 버스전용차로 좌우측의 직진과 우회전 차량 엇갈림 차로변경 행태의 영향이 검지기 자료에 포함된 것으로 추정된다. 해당 분석을 통해 기존 실시간신호제어시스템 DS 추정모형은 버스 운행시간에 따라, 또한 일반적이지 않은 형태의 차로운영상황에 따라 DS 값을 효율적으로 설명하지 못하는 한계를 가지고 있음을 파악할 수 있다.

2) 공유차로 검지운영

실시간신호제어시스템 구축시의 정책여건에 따라 정지선 검지기가 전용차로가 아닌 공유차로에 설치되기도 한다. Figure 8(a)와 Figure 8(b)는 검지기를 직·좌 공유차로, 직·우 공유차로에 설치하여 운영한 경우의 v/g 값에 대한 DS 변화 패턴이다.



(a) Southbound at Ansaebongwon intersection

(b) Westbound at Hannamdong intersection

Figure 8. Thru DS data plots from a shared lane

Figure 8(a)는 정지선검지기가 직·좌 공유차로에 설치된 경우로서 낮은 v/g 범위에서 DS 값의 변동 폭이 큰 것으로 나타나며, DS 변화 패턴이 두 개(원으로 표현된 부분)의 선형을 포함하고 있다. Figure 8(b)는 정지선 검지기가 직·우 공유차로에 설치된 경우로서 낮은 v/g 범위에서도 DS 산출결과 변동 폭이 큰 것으로 나타난다.

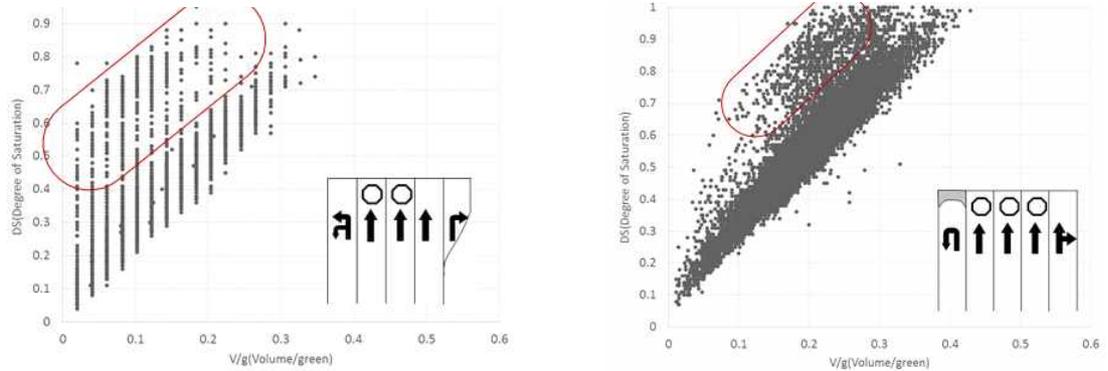
이는 공유차로를 이용하는 유턴 혹은 우회전차량의 간섭으로 인해 좌회전 혹은 직진흐름이 방해 받는 현상상태가 반영된 결과라 추정된다.

이러한 경우 서로 다른 방향의 이동류가 동일차로를 공유하기 때문에 의도한 방향의 이동류에 따른 DS 값이 아니라, 다른 방향의 교통흐름을 같이 설명하는 DS 값으로 교통신호 시간을 설계하게 되는 심각성이 존재한다.

3) 공유차로 인접차로 검지운영

정지선검지기가 전용차로에 설치되더라도, 전용차로에 인접하여 공유차로가 존재하는 경우 해당 검지기에 직진이 아닌 다른 방향의 이동류에 의한 간섭이 발생할 수 있다. 공유차로 이용 시 발생하는 주변 혼잡이 인접차로에 까지 영향을 미치기 때문이다. Figure 9는 정지선검지기가 공유차로에 인접한 전용차로에 설치되더라도, 공유차로를 이용하는 서로 다른 방향의 이동류간의 간섭으로 인하여, 신뢰성 있는 DS 산출결과를 확보할 수 없음을 나타낸다.

해당 상황에 대한 이력자료를 좌회전유턴 공유차로에 인접하였을 경우(Figure 9(a))와 직·우 공유차로에 인접하였을 경우(Figure 9(b))로 구분하여 분석하였다.



(a) Southbound Thru data at Suseo intersection

(b) Eastbound Thru data at Posco intersection

Figure 9. Thru DSs from the next to a shared lane

Figure 9(b) 상황에서도 공유차로에 검지기를 설치한 경우와 같이(Figure 9(b) 참고) v/g 값에 따른 DS 변화 패턴이 넓게 퍼져서 도출되고 있는 것이 확인되었다.

이러한 결과는 정지선 검지기가 전용차로에 설치되더라도 인접차로가 공유차로인 경우 효율적인 DS 값 추정이 곤란하므로 실시간교통신호운행을 위해서는 공유차로 운영상황을 배제할 필요가 있음을 나타낸다.

4. 시사점

신호교차로 접근로의 교통상황을 설명하는 DS 지표 추정 결과가 충분히 안정적이어야 실시간으로 설계되는 교통신호 시간에 대한 신뢰도 또한 높아진다. 현장 운영상황을 결정하는 ‘교통류율’과 ‘녹색시간’ 변수(v/g)와 상관성 높은 관계를 가지지 못하는 DS 값이 추정되고, 이렇게 추정된 DS 값으로 녹색신호시간이 설계된다면, 해당 시스템 운영효율성 및 신뢰도를 확보할 수 없다.

실시간신호제어시스템 구축 현장에서 정지선검지기가 모든 직진차로에 설치되기도 하고, 일부차로에 설치되기도 한다. 본 연구를 통한 진단 결과 일반적인 상황에서 검지기를 모든 차로에 설치하는 것이 일부 대표차로에 설치 운영하는 것 보다 DS 추정 결과가 안정적인 것으로 파악되었으나, 접근로에 가로변버스전용차로가 존재하는 경우는 오히려 반대의 결과를 나타냈다. 일부차로에만 검지기를 설치하는 것이 노변간섭으로부터 자유로워 오히려 안정적일 수 있다는 해석이 가능하다.

또한 본 진단을 통해 기존 실시간신호제어시스템 DS 추정모형은 시간대에 따라 변화하는 교통조건(주간 버스노선 운행시간, 심야 불법 주정차 묵시적 허용 등)을 효율적으로 반영하지 못하는 한계가 객관화 되었다. 특정 시간대 관측되는 교통조건 특성으로 인하여 DS 추정 결과의 신뢰수준이 낮아지게 되면 해당 시간대에 실시간신호제어가 아닌 다른 방식의 신호운영이 투입되는 것이 효율적일 수 있다. 이는 실시간으로 신호시간을 설계하고 운영하는 방법이 상시 효율적이지 않을 수도 있다는 사실을 나타낸다. 실시간신호제어시스템 효율성이 극대화되는 상황을 구분하여 운영하는 것이 효율적일 것으로 판단된다.

시스템 구축과정에 참조할 기술기준이 부재하여 정지선검지기를 공유차로에 설치하는 경우도 있는 것으로 나타났으나 본 연구를 통해 공유차로로부터 수집되는 DS 값은 신뢰도를 확보하기 어려움을 확인하였다. 이는 검지기가 전용차로에 설치되었더라도 공유차로가 바로 옆에 인접한 경우까지만 DS 추정 신뢰도를 떨어뜨리며 앞으로 교통신호의 실시간 설계 시 해당 접근로에 공유차로 설치를 지양해야 함을 알 수 있다. 현재까지는 현장 기술지침 부재하여 이러한 문제들이 발생하였다면, 향후 시스템 설치 시에는 차로운행 개선이나 공유차로 주변 검지기 설치 지양 내용을 포함한 설치 및 운영 기술지침이 필요하다.

다양한 현장상황에 따른 DS 값을 추정하기 위해서는 해당 상황에 대한 DS 추정 모형을 세분화 할 필요가 있음을 제언한다. 이를 통해 비로소 단속류 지능형교통체계 의 대표 서비스로서 실시간 신호제어시스템이 널

리 활용될 수 있을 것이다. 실시간 신호제어시스템은 침두시간 한 시간의 정체를 해소하기 위한 시스템이 아니다. 하루 종일 24시간 최적 신호운행을 지향하는 시스템이다. 이러한 시스템 용도에 맞게 개별 운영 시간대 및 시간대별 교통흐름 특성에 맞는 별도의 DS 추정모형을 개발하고, 그에 맞는 운영전략 설계가 필요함을 강조한다.

결론

기존 실시간신호제어시스템이 추정하는 DS 변화 패턴을 서울시 교통신호제어센터 서버 이력자료로 분석하였다. 본 연구를 통해 도출된 결과를 요약하면 아래와 같다.

- (1) 다양한 교통운영상황(교통조건, 기하구조 조건 등)에 따라 단일모형을 통해 도출된 DS 결과에 신뢰성이 낮음을 확인하였으며, 이를 통해 기존 DS 추정모형에 내재된 이론적 가정(다양한 접근로 교통조건 및 기하구조 조건과 상관없이 모든 상황에 적용가능)에 오류가 존재함을 확인
- (2) 향후 DS 추정모형 개발 시 참조할 수 있는 다음의 정보를 새롭게 발견하여 제시

- 가로변버스전용차로 존재 시 전차로(all-lane) 검지상황 보다 제한적 대표차로 검지상황이 보다 안정적인 DS 값 제시
- 하루 24시간 중 실시간신호시간 TRC 운영이 오히려 비효율적인 운영시간대 존재(교통상황; 버스 운행 시간, 새벽심야 불법주정차 허용시간 등)
- 공유차로 존재 시 공유차로에 검지가 설치되어 있지 않더라도 안정적인 DS 값 산출 어려움
- 하나의 단일 모형을 통한 DS 값 추정보다 다양한 현장상황을 구분하는 복수의 DS 추정모형 개발 필요

분석 결과 현장에서 발견되는 다양한 운영상황(다양한 교차로 현장 기하구조 조건, 교통조건, 검지범위 조건)별로 현장여건에 따라 추정된 DS 값이 공학적으로 합리적이지 않음을 확인하였다.

기존 실시간신호제어시스템 DS 산정모형은 이처럼 다양한 현장 운영상황에서 넓게 포용하며 안정적인 DS 추정을 수행하기에 한계가 있음을 확인하였다.

지능형교통체계 신호운영의 관심은 오전 및 오후 침두시간 한 시간에 머무르지 않는다. 새벽, 오전, 오후, 야간, 심야 등 수시로 변화하는 교통흐름 상황에서도 상시 최적 운영을 지향한다. 하루 24시간 최적 신호운영 가동을 위하여 현장 설치지점을 까다롭게 선정하여 운영하는 방법을 적용할 수 있다. 이를 위해 현장 실무 기술지침 개발 및 보급이 필요하나 현재 부재하다. 다른 방법으로 다양한 현장여건(기하구조 조건, 교통조건, 운영조건)을 구분하는 여러 ‘포화도 추정 모형’들을 개발하여 조합 활용하는 방법을 적용할 수 있다. 기존 실시간신호제어시스템은 이론을 바탕으로 마련한 하나의 수리모형을 사용하여 DS 값을 추정한다. 하나의 모형으로 현장에서 관측되는 다양한 상황에서의 DS 값을 바르게 추정하기에 무리가 있다.

본 연구에서 수행한 이력자료 진단을 통해 기존 실시간신호제어시스템 기술적 및 현장 실무측면 한계를 객관적으로 확인하였다. 이를 토대로 현재 개발되는 제2의 실시간신호제어시스템인 ‘스마트 시그널’ 개발 방향을 예단하는 추가 연구가 필요함을 제언한다.

ACKNOWLEDGEMENT

The research was supported by a grant from the Academic Research Program of the Korea National University of Transportation in 2014.

알림: 본 논문은 대한교통학회 제73회 학술발표회(2015.10.16)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

REFERENCES

- Kim J. T., Chang M. S., Park J. W. (2005), A Comparison Study of Different Offset Transition Lengths in Simulation Environment, *J. Korean Soc. Transp.*, 23(7), Korean Society of Transportation, 43-52.
- Kim J. T., Kim G. H., Lee D. J. (2008), LOS Analysis Frame for COSMOS at Isolated Intersections, *J. Korean Soc. Transp.*, 26(4), Korean Society of Transportation, 161-172.
- Kim J. Y., Kim J. T. (2015), Diagnosis on Degree of Saturation Estimation Model of COSMOS, *Proceedings of the The Korea Institute of Intelligent Transport Systems Conference*, 2015(2), Republic of Korea, February.
- Lee S. S. (1995), A Revised Model of the Degree of Saturation for Real-time Traffic Control at Signalized Intersections, Master's thesis, Ajou University, Republic of Korea, February.
- Lee Y. J., Lee S. H., Oh Y. T. (2006), A Study on the Improvement of Reliability of the Degree of Saturation in Real-time Traffic Signal Control System (COSMOS), *The 51st Conference of KST*, Korean Society of Transportation, 242-249.
- Seoul Metropolitan Police Agency (2001), *Traffic Responsible Control Signal System (COSMOS) Manual*, Seoul Metropolitan Police Agency, Republic of Korea.
- Son J. Y. (2012), *Study About Degree of Saturation Regression Model for an Isolated Intersection Controlled With COSMOS*, Mater's Thesis, Yonsei University, Republic of Korea, February.