

■ 論 文 ■

**실시간 신호시스템의 좌회전 신호시간 추정방법에 관한 연구
(검지기 장애발생시를 중심으로)**

Investigation of a Left-Turn Phase Time Estimation Method for TRC Operation

안 혜 진
(경기개발연구원 연구원)

이 상 수
(아주대학교 교통공학과 부교수)

남 백
(과천시청 교통전문위원)

목 차

- | | |
|------------------|------------------|
| I. 서론 | 2. 자료수집 및 분석 |
| II. 이론적 고찰 | 3. 시뮬레이션 평가 및 검증 |
| III. 기존모형의 한계 | V. 결론 및 향후과제 |
| IV. 개선모형 도출 및 평가 | 참고문헌 |
| 1. 개선모형 도출 | |

Key Words : 실시간 신호시스템, 포화도, 검지기, 신호제어, 장애
COSMOS, DS, Detector, Signal control, Failure

요 약

현재 사용되고 있는 실시간 신호제어시스템의 좌회전 녹색시간 배분모형은 검지기 장애가 일정기간 동안 유지되는 경우에 장애가 발생한 좌회전 이동류의 포화도를 항시 작게 산출하여 최소녹색시간으로 운영하고, 정상적인 이동류에 불필요한 녹색시간을 배분하여 수요에 비합리적인 녹색시간을 배분하는 한계성을 가지고 있다.

본 논문에서는 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 해당 교차로 접근로의 검지기 정보 및 이력자료를 이용하는 8가지 모형을 검토하여 다양한 교통상황하에서 평가하였다. 평가 결과로부터 장애발생시 같은 요일 및 시간대의 4 주간 포화도를 평균하여 사용하는 모형이 최소의 오차를 나타내었고, 이를 개선모형으로 제시하였다. 개선모형의 실제적 효과에 대한 평가를 위하여 NETSIM 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 기존모형과의 평균지체시간을 비교분석한 결과 개선모형이 기존모형보다 평균지체시간이 매우 감소된 결과를 얻었다. 그리고 산출된 평균지체시간의 차이에 대하여 t-검정을 실시한 결과, 통계적으로 유의하게 나타나 개선모형이 실제적으로 효과가 있음을 확인하였다.

The current left-turn split model adopted in COSMOS has an inherent limitation when a loop detector in the left-turn lanes was disconnected for a period of time. In this instance, the current model always allocated minimum green time to the left-turn phase, thus optimal split and efficient signal operation for the intersection was not guaranteed.

In this paper, four mathematical models using detector information of the intersection and four empirical models using historical profiles were developed and investigated for different traffic conditions to improve the operational efficiency of the intersection. From the model evaluation test, the empirical model using a four-week historical profile produced the least error among the eight models investigated. NETSIM simulation test results also showed that the proposed model could give significantly reduced delay time as compared to the current model. From these results, the operational efficiency of the signalized intersections under the real-time control can be greatly improved by using the model proposed in case of the left-turn detector failure.

I. 서론

서울지방경찰청은 1991년 기존에 사용되어 온 전자 신호제어시스템의 기능상의 한계를 인식하고, 이를 개선하기 위하여 현장의 교통상황에 따라 실시간으로 신호시간을 산출해 주는 이른바 한국형 실시간 교통신호제어시스템(이하 "실시간 신호제어시스템, COSMOS: Cycle, Offset, Split Model of Seoul"이라 칭함)을 개발하였다. 그리고 1995년까지 현장시험과 시스템 검증을 거쳐 1997년 강남, 서초 일원 61개 지점에 시스템을 설치하여 시범운행을 실시하였고, 1999년부터 2002년에 걸쳐 도봉로축(77개소), 월드컵경기장 주변 교차로(37개소), 성산·수색로(99개소) 등으로 확장함과 동시에 실시간 신호제어시스템 기능개선사업을 병행하였다.

이러한 실시간 신호제어시스템은 기본적으로 현장의 각 용도에 따라 설치되어 있는 검지기로부터 점유, 비점유 시간 등 기본적인 교통정보를 수집하고 포화도(DS, Degree of Saturation)를 산정하여 주기를 결정하고, 각 이동류의 포화도비를 기반으로 현시별 녹색시간 및 윗셋 등의 신호제어변수를 주기마다 재산출하여 교통상황변화에 유연하게 대응하고 있다. 따라서 각 검지기에서 수집된 포화도는 실시간 신호제어시스템에서 가장 기본적인 자료로 사용된다.

그러나 검지기의 상태가 단신, 노후 등의 이유로 불안정하거나 장애가 발생되면 각 이동류의 포화도비에 따라 배분되는 적정녹색시간 산출에 어려움이 있는데 이 중에서도 좌회전 이동류의 경우는 직진에 비해 상대적으로 적은 교통량을 나타내기 때문에 항상 교통량에 적합한 녹색시간을 배분받지 못하는 문제점이 발생하였다.

이에 서울지방경찰청은 2001년 2차 기능개선사업의 일환으로 좌회전 검지기 장애발생시 동일한 접근로의 인접검지기 포화도 값과 TOD(Time of Day) 비율을 사용하여 좌회전 신호시간을 추정하는 방안을 제시하였지만 현장에서 큰 효과가 나타나지 않았고, 오히려 장애가 발생한 좌회전 이동류 방향의 포화도가 항상 작게 산출되어 신호시간이 현저히 작게 배분되는 결과를 가져왔다.

이러한 문제점은 좌회전검지기의 장애가 발생될과 동시에 좌회전이동류의 원활한 소통을 보장해주지 못한다는 일차적인 문제와 함께 좌회전 대기길이가 시간이 지날수록 크게 증가하여 직진이동류의 통행에도 심각한 영향을 미치는 결과를 초래하고 있다.

본 연구의 목적은 좌회전 검지기 장애발생시 좌회전

녹색시간 배분모형의 문제점 및 원인을 분석하여 이를 개선하기 위한 모형개발 및 방안을 제시하고, 시뮬레이션을 통해서 타당성을 검증하는데 있다.

II. 이론적 고찰

실시간 신호제어시스템과 관련되어 국내·국외에서는 검지 에러시 처리, 과포화시 좌회전 현시배분, 자동갱신 방안들과 같이 매우 폭넓은 분야에 대한 연구가 수행되었다.

김영찬(2001)은 미터링 전략을 응용한 도시고속도로의 진출램프 신호제어전략을 개발하였고, 이영인(2002)은 신호교차로내의 교통축 운영성과를 기반으로 비 중요 교차로의 패턴 값을 조정하는 신호제어전략을 수립하고, 이의 적용성을 평가하였다. 이용중(2003)은 실시간 신호제어시스템에서 횡단보도를 고려한 수정된 대기행렬길이 산출 알고리즘을 개발하였고, 노동수(2004)는 실시간 신호제어시스템 과포화상황의 가중치를 반영한 예측 포화도(FDS)를 이용하여 좌회전 현시를 배분하는 알고리즘을 개발하였다. 강다미(2004)는 최소녹색시간을 고려한 수정된 현시배분 알고리즘을 제시하였다. 유기열(2005)은 실시간 신호제어시스템에서 적용하고 있는 TOD D/B의 시간대별 주기 및 패턴을 교통현황이 반영된 TRC(Traffic Response Control)운영자료를 기반으로 자동 갱신하는 방안을 제시하였다. 정영제(2005)는 구간통행시간과 같은 링크의 속성정보를 수집 가능한 검지체계를 기반으로 한 실시간 신호제어 알고리즘을 개발하였고, 한명주(2006)는 기존 실시간신호제어시스템에서 수정주기를 이용하여 부도로의 상황을 고려한 버스 우선신호 알고리즘을 제시하고 그 효과를 평가하였다.

연속류에서는 장기간의 검지기 자료 누락 시 이력자료를 활용하는 것이 일반적인 방법으로 나타났다. 도로교통기술원(2006)의 연구결과에 따르면, 장기간의 결측자료 보정 시 이력자료의 범위는 3주에서 9주 이내의 자료를 이용하여 구축한 결과가 상대적으로 높은 추정력을 가지는 것으로 나타났다. 버지니아 ADMS 교통관련 시스템(2005)은 실시간 결측 보정시 과거 이력자료를 사용하고 결측된 값은 과거 패턴에 근거하여 유사한 날짜, 시각의 평균값을 보정하고 있으며, Wall과 Dailey (2003)는 루프검지기 자료의 수집 및 검지 에러를 시계열 데이터를 이용하여 처리하는 알고리즘을 개발하였다. Chen(2003) 등은 실시간 자료를 기반으로 인접루프검지기 자

료와 선형 회귀식을 이용하여 오류자료를 찾아내고, 이를 보정·처리하는 방법론을 제시하였고, Cleghorn (1991) 등은 속도, 교통량, 점유율의 조합으로 오류데이터를 찾아내는 방법론을 제시하고 이력자료에 기초하여 보정·처리하는 방법론을 제시하였다. 또한 Wu와 Martin (2003)은 인접검지데이터, 시계열, factor approach를 이용하여 결측자료를 보정·처리하는 방법론을 제시하였다. 이와 같이 검지에러시 자료 처리와 관련된 연구는 있으나, 본 연구와 직접적으로 관련된 국내외 논문은 현재까지는 없는 것으로 파악되었다.

2000년 이전 실시간 신호제어시스템에서는 MDS (Max Degree of Saturation, 해당주기 최대포화도)로 지정된 현시에 매칭 되는 검지기가 정의되어 있지 않거나 자료가 수집되지 않는 경우는 TRC모드로 운영하지 못하도록 되어 있었다. 단, MDS에 지정된 현시가 아닌 경우는 TOD 계획의 녹색시간을 CDS(주기단위로 환산된 포화도)로 그대로 대체사용하고 있으나 이는 CDS와 녹색시간의 단위가 맞지 않기 때문에 의도하지 않은 신호운영을 초래하게 된다.

따라서, 2000년 1차 기능개선에서 검지기 장애발생시 TRC 배분이 가능하도록 하였다. 2000년 기능개선 사항에서는 불합리한 녹색시간의 산출을 피하기 위해서 해당 현시와 인접하는 현시의 TOD 녹색시간의 비를 이용하여 검지기 장애가 발생한 현시의 CDS로 환산 적용토록 함으로써 일관성 있고 효율적인 신호계획을 할 수 있도록 수정되었다.

$$CDS1 = CDS2 \times (TOD\ Split1 / TOD\ Split2) \quad (1)$$

여기서, CDS1 : 주기단위 포화도
(장애발생이동류)

CDS2 : 인접현시 주기단위 포화도

TOD Split1/2 : 이동류별 TOD

그리고, 2001년 기능개선 사항에서는 다음의 모형식과 같이 좌회전 검지기 장애 발생시 동일한 접근로의 인접검지기 DS값을 TOD 비율로 적용하는 방안을 제시하였다. 현재 좌회전 검지기 장애가 발생되면 이 방식을 적용하고 있다. 하지만 이러한 방식의 효과에 대한 객관적인 평가자료가 제시되어 있지 않은 상황이다.

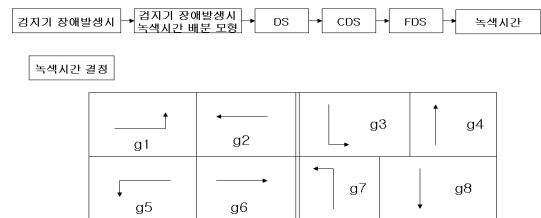
$$DSL = DSTH \times (TODL / TODTH) \quad (2)$$

여기서, DSL : 좌회전 포화도값
DSTH : 직진 포화도값
TODL : 좌회전 TOD 현시값
TODTH : 직진 TOD 현시값

III. 기존모형의 한계

현재 실시간 신호제어시스템에서 사용되는 좌회전 검지기 장애발생시 좌회전 녹색시간 배분모형 및 수행과정의 내용은 다음과 같고 알고리즘 수행절차는 <그림 1>과 같다.

- ① 각 이동류별 검지기상태 확인
- ② 좌회전 검지기 장애발생시 아래의 식으로 포화도 산정함.
 $DSL = DSTH \times (TODL / TODTH) \quad (3)$
- ③ 이동류별 평균포화도를 주기단위로 환산
 $CDS(t) = ADS(t) \times \frac{g(t)}{C(t)} \quad (4)$
여기서, CDS(t) 주기단위 평균포화도
ADS(t) : 평균포화도
g(t) : 유효녹색시간, C(t): 주기길이
- ④ 이동류별 다음주기에서의 포화도 예측
 $FDS(t+1) = 0.2 \times CDS(t-2) + 0.3 \times CDS(t-1) + 0.5 \times CDS(t) \quad (5)$
여기서, FDS(t+1): 다음주기 예측포화도
- ⑤ 주기길이 산정
- ⑥ 예측된 포화도비에 따라 베리어 폭 계산
- ⑦ 베리어의 최소 및 최대시간 조건 충족여부 판단
- ⑧ 각 이동류별 녹색시간 계산



<그림 1> 좌회전 검지기 장애발생시 녹색시간 배분 알고리즘 수행절차

현재의 좌회전 검지기 장애발생시 좌회전 녹색시간

배분모형은 장애가 발생한 방향의 포화도를 동일한 접근로 인접검지기의 포화도와 TOD 비율을 적용하여 추정 한 후 이를 TRC운영에 사용하도록 하였다. 이와 같이 포화도를 산출하여 대상 이동류에 현시배분을 실시하게 되면 대상 이동류의 녹색시간이 작게 배분된다. 이렇게 구한 녹색시간은 다음주기의 CDS 산정시 사용되고, 검지기 장애발생이 지속적으로 유지되는 경우 녹색시간은 계속하여 작아져 결과적으로 좌회전 이동류는 최소녹색시간 값만 배분된다.

따라서 검지기 장애가 발생한 좌회전 이동류의 녹색시간이 줄어드는 만큼 정상적인 이동류의 녹색시간이 늘어나게 되고, 장애가 발생한 좌회전 검지기가 정상적으로 운영될 때까지 계속적으로 부여되기 때문에 정상적인 이동류의 녹색시간은 계속적으로 늘어나게 되는 상황이 된다. 이렇게 녹색시간이 늘어난 정상적인 이동류의 경우 수요가 감소되어 녹색시간이 적게 배분받아야 되는 상황이 발생되더라도 녹색시간의 배분이 적절하게 진행 되지 못하게 된다.

이러한 원인은 현시배분에 중요한 변수인 포화도(DS)값이 장애가 발생한 방향과 동일한 접근로 인접검

지기의 포화도와 TOD 비율을 이용하여 산출되기 때문에 장애가 발생한 이동류의 수요가 증가되었다고 해서 녹색시간을 증가시키지는 못한다.

따라서 현재의 좌회전 녹색시간 배분모형은 장애가 발생한 좌회전 이동류의 포화도를 항상 작게 산출하여 최소녹색시간으로 운영하고, 정상적인 이동류에 불필요한 녹색시간을 배분하여 수요에 비합리적인 녹색시간을 배분한다. 이러한 문제점으로 좌회전 수요가 많을 경우 직진 차량을 방해하여 교차로의 지체를 유발시키는 결과를 초래하고, 실시간 신호제어시스템의 고유 기능인 TRC제어를 수행하지 못하고 TOD방식으로 운영되는 원인이 되고 있다.

〈표 1〉은 정상운영 시 포화도 및 녹색시간과 검지기 장애발생시 녹색시간 배분모형에 의해 산출된 포화도와 포화도비에 따른 녹색시간 배분 알고리즘 수행 결과이다. 오전첨두한 시간에 대하여 좌회전 교통량의 적은 경우와 교통량이 많은 경우로 구분하여 포화도와 실제 적용되는 녹색시간을 비교 분석하였다.

분석결과는 교통량이 적은 좌회전 검지기와 교통량이 많은 좌회전 검지기 모두 장애가 발생하면 발생한 방향과

〈표 1〉 좌회전 검지기 장애발생 시 포화도 및 신호시간의 비교

교통량이 적은 경우					교통량이 많은 경우				
시간	TRC DS	장애발생시 DS	TRC 신호시간	장애발생시 신호시간	시간	TRC DS	장애발생시 DS	TRC 신호시간	장애발생시 신호시간
08:02	24	17	26	26	08:02	128	60	70	70
08:05	53	21	23	21	08:05	102	47	85	74
08:07	1	20	22	15	08:07	104	54	87	69
08:10	1	24	18	13	08:10	110	45	87	68
08:12	84	25	19	13	08:12	103	45	87	60
08:15	79	27	22	13	08:15	115	57	87	52
08:17	74	28	24	13	08:17	97	45	87	45
08:20	56	17	27	13	08:20	85	45	87	40
08:22	59	18	28	13	08:22	107	53	87	38
08:25	45	25	27	13	08:25	96	51	87	37
08:27	84	19	24	13	08:27	110	51	87	32
08:30	46	26	27	13	08:30	121	49	87	31
08:32	51	24	25	13	08:32	106	60	87	25
08:35	56	18	22	13	08:35	90	56	87	23
08:37	57	25	19	13	08:37	120	55	87	23
08:40	37	19	18	13	08:40	122	67	87	22
08:42	54	21	13	13	08:42	118	50	87	24
08:45	101	31	13	13	08:45	115	62	87	21
08:47	97	19	14	13	08:47	130	61	87	19
08:50	65	22	16	13	08:50	121	57	87	19
08:52	35	18	16	13	08:52	104	57	87	18
08:55	73	19	13	13	08:55	138	68	87	20
08:57	1	17	13	13	08:57	120	45	87	21

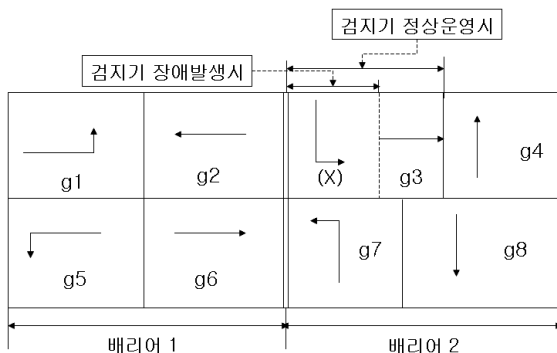
동일한 접근로의 인접검지기의 포화도와 TOD 비율에 의해 포화도가 산출되기 때문에 항상 포화도가 작게 산출되어 녹색시간이 작게 배분된다. 따라서 정상적인 좌회전 검지기 이동류의 포화도와 포화도비에 따라 산출된 녹색시간보다 현저히 작은 녹색시간을 산출하는 것을 알 수 있다. 즉, 교통량이 적은 경우에는 최소녹색시간인 13초로 배분되고, 교통량이 많은 경우에는 TRC 운영과 비교하여 최대 66초의 녹색시간의 차이를 보이고 있다. 따라서 좌회전 수요에 따라서 녹색시간을 적절하게 배분하는 것이 전체 교차로를 운영하는 측면에서 효과적임에도 불구하고 좌회전 검지기 장애발생 시에는 현재의 녹색시간 배분모형으로는 좌회전 수요를 전혀 고려하지 못하고 있음을 알 수 있다.

IV. 개선 모형 도출 및 평가

1. 개선모형 도출

앞서 제시된 기존 모형의 한계를 극복하기 위하여 본 연구에서는 <그림 2>와 같이 검지기 장애발생시 장애가 발생한 방향 포화도 값을 검지기 정상운영시 수요에 따라 변화하여 산출된 실제 포화도 값에 근접하게 하는 개선방안을 제시하고자 한다.

이를 위한 방법으로 검지기 장애가 발생한 방향의 포화도 추정시 동일한 시간대의 교통상황 및 차량도착 행태를 최대한 반영한 근사치 포화도를 추정함을 전제로 하여, 좌회전 검지기 장애발생시 대향방향의 접근로 검지기 및 장애가 발생한 방향과 동일한 접근로의 인접검지기정보를 이용하여 포화도를 추정하는 방법과 장애가 발생한 요일의 교통 이력자료를 이용하여 포화도를 추정하는 방법을 함께 검토하여 다음의 8개 모형을 평가과정에서 검토하였다.



<그림 2> 수요에 따라 변화되는 포화도에 근접한 현시체계

- 대향방향의 접근로 검지기 및 장애가 발생한 방향과 동일한 접근로의 인접검지기 정보를 이용하여 포화도를 산출하는 방법

모형 1. 장애가 발생한 방향 검지기의 좌회전 포화도와 대향방향의 좌회전 포화도가 같다는 가정하에 포화도를 산출하는 모형

$$DS3 = DS7 \tag{6}$$

모형 2. 장애가 발생한 방향 검지기의 좌회전포화도와 동일한 접근로의 직진 포화도의 합은 대향방향의 좌회전포화도 및 직진포화도의 합과 같다는 가정하에 포화도를 산출하는 모형

$$DS3 + DS8 = DS7 + DS4 \tag{7}$$

모형 3. 장애가 발생한 방향 검지기의 좌회전포화도 대 동일한 접근로의 직진포화도는 대향방향의 좌회전포화도 대 직진포화도와 같다는 가정하에 포화도를 산출하는 모형

$$\frac{DS3}{DS8} = \frac{DS7}{DS4} \tag{8}$$

모형 4. 장애가 발생한 방향 검지기의 좌회전 포화도와 대향방향의 좌회전 포화도합 대 장애가 발생한 방향과 동일한 접근로의 직진 포화도와 대향방향의 직진 포화도 합은 대향방향의 좌회전포화도 대 대향방향의 직진 포화도와 같다는 가정하에 포화도를 산출하는 모형

$$\frac{DS3+DS7}{DS8+DS4} = \frac{DS7}{DS4} \tag{9}$$

- 장애가 발생한 요일의 교통 이력자료를 이용하여 포화도를 산출하는 방법

모형 5. 장애발생시 장애 1주전 같은 요일 및 시간의 포화도를 사용하는 모형

모형 6. 장애발생시 같은 요일 및 시간의 1~2 주전 포화도를 평균하여 사용하는 모형

모형 7. 장애발생시 같은 요일 및 시간의 1~3 주전

포화도를 평균하여 사용하는 모형
 모형 8. 장애발생시 같은 요일 및 시간의 1~4 주전
 포화도를 평균하여 사용하는 모형

2. 자료수집 및 분석

모형의 평가를 위하여 서울지방경찰청 신호운영 센터 방문 및 협조 요청을 통해 자료를 수집하였다. 대상교차로는 월드컵 4거리 교차로이고, 자료수집기간은 2006년 6월 1일부터 2006년 6월 29일까지의 24시간 교통량과 포화도 및 신호시간을 수집하여 사용하였다. 서울지방경찰청 센터에서 수집된 TRC로 운영 중인 접근로별 포화도를 대상으로 교통량이 적은 좌회전 이동류와 교통량이 많은 좌회전 이동류의 좌회전 검지기 장애가 발생하였다는 가정 하에 앞서 제시된 8개의 모형을 이용하여 좌회전 이동류의 포화도를 각각 추정하였다.

계산된 포화도를 기존모형의 포화도 및 센터에서 수집된 실측치 자료와 오차를 비교 평가하기 위하여 아래 정의된 평균제곱오차(Mean Square Error : MSE)와 평균절대오차(Mean Absolute Error : MAE)를 이용하여 분석하였다.

① 평균제곱오차(MSE)

: 모형값과 실측값의 제곱의 차이를 평가하는 항목

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{x}(i) - x(i))^2 \quad (10)$$

$\hat{x}(i)$: 모형값, $x(i)$: 실측값

② 평균절대오차(MAE)

: 실측값과 모형값의 절대적 차이를 평가하는 항목

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x(i) - \hat{x}(i)| \quad (11)$$

평가결과는 <표 2>, <표 3>에 제시되어 있다. 평균제곱오차(MSE)와 평균절대오차(MAE) 값을 이용하여 비교한 결과 좌회전 교통량이 많고 적음에 관계없이 좌회전 검지기 장애발생시 장애가 발생한 동일한 요일의 교통 이력자료를 이용하여 포화도를 산출하는 모형이 기존모형과 대향방향의 접근로 검지기 및 인접검지기 정보

를 이용하여 포화도를 산출하는 모형들과 비교하여 가장 작은 오차를 도출하는 것으로 평가되었다.

<표 2> 좌회전 검지기 장애발생시 오차값(교통량이 적은 경우)

검지기	지표	기존	모형①	모형②	모형③	모형④
교통량이 적은 검지기	MSE	1222	3880	3460	10946	10946
	MAE	29	56	50	88	88
장애발생	지표	모형⑤	모형⑥	모형⑦	모형⑧	
	MSE	1437	1073	912	822*	
	MAE	30	27	24	24*	

<표 3> 좌회전 검지기 장애발생시 오차값(교통량이 많은 경우)

검지기	지표	기존	모형①	모형②	모형③	모형④
교통량이 많은 검지기	MSE	3495	3880	3460	4649	4649
	MAE	57	56	50	63	63
장애발생	지표	모형⑤	모형⑥	모형⑦	모형⑧	
	MSE	622	438	378	343*	
	MAE	19	17	16	15*	

또한, 장애가 발생한 요일의 교통 이력자료를 이용하여 포화도를 산출하는 방법 중 모형8은 모형7보다 작은 오차를 도출하였으며, 모형7은 모형6 및 모형5보다 작은 오차를 도출하였다. 즉, 교통 이력자료를 이용하여 포화도를 산출하는 모형중에서도 4주간의 이력자료를 이용하여 추정하는 모형이 가장 오차가 적은 것으로 파악되었다.

분석결과, 이력자료를 이용하여 포화도를 추정시 자료의 크기가 증가함에 따라 추정 오차가 감소되는 경향이 나타남을 알 수 있다. 이와 같은 경향을 분석하기 위하여 추가로 동일 접근로의 과거 이력자료를 수집하였다. 수집된 이력자료는 <표 2>, <표 3>에서 사용된 자료와 약간 유사패턴을 보이는 5월 4주간 자료와 상이패턴을 보이는 9월 4주간 자료이다. 이를 이용하여 다음의 이력자료 모형들을 추가로 평가하였다.

- 모형 9. 장애발생시 같은 요일 및 시간의 1~5주전 포화도를 평균하여 사용하는 모형
- 모형 10. 장애발생시 같은 요일 및 시간의 1~6주전 포화도를 평균하여 사용하는 모형
- 모형 11. 장애발생시 같은 요일 및 시간의 1~7주전 포화도를 평균하여 사용하는 모형
- 모형 12. 장애발생시 같은 요일 및 시간의 1~8주전 포화도를 평균하여 사용하는 모형

〈표 4〉는 유사한 패턴을 가지는 이력자료와 상이한 패턴을 가지는 이력자료를 함께 이용하여 모형 9에서 모형 12까지의 모형들에 대하여 정상운영시와 비교하여 계산된 평균제곱오차 및 평균절대오차 결과이다.

〈표 4〉 패턴별 좌회전 검지기 장애발생시 오차값

패턴	방향	지표	기존	모형⑨	모형⑩	모형⑪	모형⑫
유사 패턴	교통량 小	MSE	1222	786	760	737	722*
		MAE	29	23	22	22	21*
	교통량 大	MSE	3495	317	308	292	290*
		MAE	57	15	14	14	14*
상이 패턴	교통량 小	MSE	1222	748	759	716	711*
		MAE	28	22	22	21	20*
	교통량 大	MSE	3495	305	285	277*	278
		MAE	57	14	14	14*	14

유사 패턴을 갖는 이력자료를 사용하여 분석한 결과 교통량의 많고 적음에 관계없이 모형 12가 가장 작은 오차를 도출하였다. 그리고, 상이한 패턴을 갖는 이력자료를 적용한 결과 교통량이 적은 상황에서는 모형 12가 가장 적은 오차를 보였으나, 교통량이 많은 경우에는 모형 11이 가장 작은 오차를 나타내었다.

그리고 모형 12가 모든 상황에서 오차가 가장 적게 나타나지는 않았지만, 일반적으로 이력자료에 포함되는 자료의 양이 클 수록 평균적인 오차가 적은 경향을 확인할 수 있다. 그러나 분석 결과는 이력자료의 양을 증가시키기 위하여 패턴이 크게 상이한 자료들이 혼합될 경우, 모형의 신뢰성에 큰 영향을 줄 수 있음을 또한 암시하고 있다.

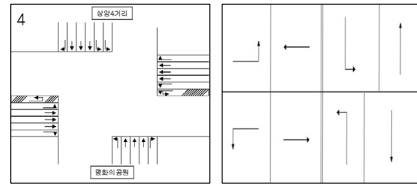
이와 같은 결과로부터 좌회전 검지기 장애발생시 이력자료를 이용하여 장애가 발생한 방향의 포화도를 산출하고, 가능한 많은 이력자료의 포화도를 평균하여 사용하는 방법이 가장 적절한 것으로 보이나, 도로의 덧씌우기, 도로시설물 공사, 빈번한 수동제어 적용 등의 인위적인 원인과 아스팔트의 수축, 팽창, 통신이상, 기타 자연적인 원인으로 한달 이상의 TRC 운영자료를 확보하는 것은 현실적으로 현재 상황에서는 어려운 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 실제 적용가능성에 근거하여 장애가 발생한 요일의 4주간 이력자료를 이용하여 포화도를 산출하는 모형, 즉 모형8과 이력자료를 이용하는 모형 중 가장 큰 오차를 보인 모형5를 대상으로 하여 효과평가를 실시하였다.

3. 시뮬레이션 평가 및 검증

앞서 제시된 모형들에 대한 효과평가는 실시간으로

운영된 센터의 자료를 이용하여 off-line 시뮬레이션 기법으로 평가하였다. 시뮬레이션 기법은 신호교차로 마이크로(Micro) 시뮬레이션의 가장 범용적인 기법인 TSIS 5.0 버전의 TRAF-NETSIM을 이용하였고, 시뮬레이션 평가를 위한 기초자료는 앞에서 제시된 모형평가를 위한 자료수집 기간에 수집된 자료를 이용하였다. 수집된 자료는 24시간 교통량, 이동류별 포화도, 현시별 신호시간 등이고, 평가 대상교차로인 월드컵 사거리의 기하구조 및 현시체계는 〈그림 3〉과 같다.



〈그림 3〉 월드컵 4거리 기하구조 및 현시체계

시뮬레이션 시나리오는 교통량의 대소 및 아침/점심/저녁시간대에 대하여 각각 평가하여 침두시 및 비침두시의 효과평가를 가능하게 구성하였다. 시뮬레이션 결과값은 각 시나리오 별로 Random Number Seed를 변경하면서 10번의 반복결과를 평균한 값을 사용하였다. 그 외에 입력자료는 다음과 같다.

- 시뮬레이션 시간 : 900(초)
- 분석단위 : 주기길이(150초)
- 회전비율 : 각 시간대별로 운영자료를 통해 수집된 한 시간의 회전비율을 적용하였다.
- 효과적도: 교차로 평균지체시간(sec/veh)

단, TRAF-NETSIM에서는 접근로별 지체를 이용하여 교통량을 기준으로 가중평균한 값을 사용함.

$$d_i = \frac{\sum(d_A \times V_A)}{\sum(V_A)} \quad (12)$$

여기서, d_i : i 교차로의 평균지체시간(sec/veh)
 d_A : A 접근로의 평균지체시간
 V_A : A 접근로의 교통량

1) 시뮬레이션 결과분석

〈표 5〉는 좌회전 교통량이 적은 교통상황에서 좌회전

검지기 장애발생시 각 모형별의 아침, 점심, 저녁시간대의 평균지체시간(sec/veh) 값을 나타낸 것이다.

〈표 5〉 좌회전 교통량이 적은 경우 평균지체시간 비교 (단위 : sec/veh)

시간대	평균지체시간(Delay Time)			
	정상운영	기존모형	모형8	모형5
아침	64.98	63.00	63.81	67.77
점심	49.22	46.47	46.75	47.39
저녁	63.57	62.08	62.84	62.91

〈표 5〉의 결과를 살펴보면 좌회전 교통량이 적은 경우에 기존모형의 평균지체시간은 정상운영시 평균지체시간과 약간 개선된 결과를 나타내었고, 기존모형과 모형8의 평균지체시간은 큰 차이가 없는 것으로 판단된다. 반면에 모형5는 아침시간대에 약 4.8초의 지체가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 교통량이 적은 좌회전 방향의 포화도를 산출하고, 산출한 포화도를 포화도비에 따라 녹색시간 배분 알고리즘을 수행한 결과 검지기 장애가 발생한 좌회전 방향의 실제적인 교통량이 상당히 적어 포화도는 항시 작게 산출되고, 이는 포화도비에 따른 녹색시간 배분에 큰 영향을 미치지 못하였기 때문이다.

〈표 6〉은 좌회전 교통량이 많은 교통상황에서 좌회전 검지기 장애발생시 각 모형별의 아침, 점심, 저녁시간대의 효과척도를 정리한 결과이다.

〈표 6〉 좌회전 교통량이 많은 경우 평균지체시간 비교 (단위 : sec/veh)

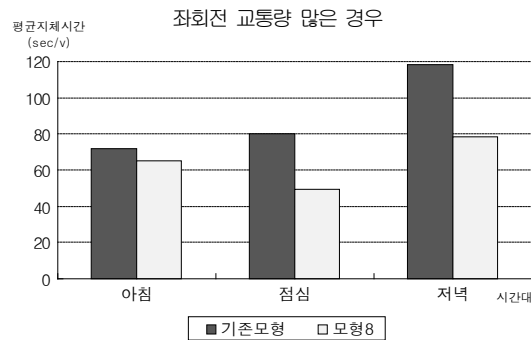
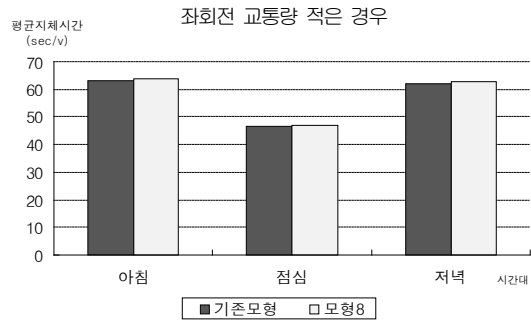
시간대	평균지체시간(Delay Time)			
	정상운영	기존모형	모형8	모형5
아침	64.98	71.73	65.01	65.80
점심	49.22	79.91	49.23	49.25
저녁	63.57	118.52	78.33	78.99

좌회전 교통량이 많은 경우에는 기존모형의 평균지체시간은 정상운영시보다 크게 증가하였다. 그리고 모형 8이 기존모형에 비교하여 지체시간이 매우 개선된 것을 알 수 있다. 특히, 아침/점심 시간대의 모형 8로부터 추정된 지체시간은 정상운영시의 지체시간과 매우 유사한 값으로 나타났다.

그리고 모형 5는 모형 8보다 지체시간이 약간 증가되었으나, 기존모형과 비교하여 역시 크게 개선된 결과값을 나타내었다. 따라서 좌회전 교통량이 많은 경우에는

단순히 최근의 이력자료를 적용하여 운영하는 것이 현재의 모형을 적용하는 것 보다 개선된 운영효과를 기대할 수 있다고 판단된다.

기존모형과 모형8의 평균지체시간을 비교결과를 그림으로 나타내면 〈그림 4〉와 같다.



〈그림 4〉 기존모형과 모형8의 평균지체시간의 비교

2) 시뮬레이션 결과의 통계적 검증

NETSIM 시뮬레이션 통하여 산출된 결과 값에 대하여 SPSS를 이용해서 t-검증을 실시하였다. t-검증은 두 집단간의 평균이 통계적으로 유의한 차이를 보이고 있는지의 여부를 검증하는데 많이 사용되고 있다.

본 연구에서는 좌회전 교통량이 적은 경우와 많은 경우를 구분하여, 각 시간대별로 기존모형과 모형8 및 모형5의 결과값이 통계적으로 유의한 차이를 보이고 있는지의 여부를 알아보기 위하여 SPSS를 이용하여 평가하였다. 본 연구에서 사용된 귀무가설 및 대립가설은 다음과 같다.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \tag{13}$$

$$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$$

각 시간대별로 t-검증을 실시한 결과값을 정리한 것은 <표 7>, <표 8>과 같다.

<표 7> 좌회전 교통량이 적은 상황의 t-검증 결과

CASE I	SL = 0.05		
	아침시간대	점심시간대	저녁시간대
기존모형 - 모형8	0.4370	0.5739	0.5855
기존모형 - 모형5	0.0002	0.0709	0.5427

<표 8> 좌회전 교통량이 많은 상황의 t-검증 결과

CASE II	SL = 0.05		
	아침시간대	점심시간대	저녁시간대
기존모형 - 모형8	0.0021	< 0.0000	< 0.0000
기존모형 - 모형5	0.0060	< 0.0000	< 0.0000

<표 7>에서 살펴보면 좌회전 교통량이 적은 경우에는 기존모형의 평균지체시간은 개선모형의 평균지체시간과 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으나, 아침시간대의 결과는 기존모형과 모형5는 유의한 차이가 보이는 결과가 나타나 앞서 <표 5>에 제시된 분석결과와 동일한 결과를 얻었다. 그리고 <표 8>에 제시된 결과로부터 좌회전 교통량이 많은 경우에는 모형8 및 모형5의 평균지체시간이 기존모형의 평균지체시간과 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 파악되어, 본 연구에서 제시된 모형8이 기존모형과 비교하여 개선된 결과를 나타내는 것을 알 수 있다.

V. 결론 및 향후과제

실시간 신호제어시스템은 좌회전 검지기 장애발생시 장애가 발생한 방향의 포화도를 동일한 접근로의 인접검지기 포화도와 TOD 비율을 이용하여 계산된 값으로 TOD운영이 아닌 TRC운영이 가능하도록 규정하고 있다. 현재 사용되고 있는 좌회전 녹색시간 배분모형은 검지기 장애가 일정기간 동안 유지되는 경우에 장애가 발생한 좌회전 이동류의 포화도를 항시 작게 산출하여 최소녹색시간으로 운영하고, 정상적인 이동류에 불필요한 녹색시간을 배분하여 수요에 비합리적인 녹색시간을 배분한다.

본 논문에서는 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 여러 가지 모형들을 도출하고, 다양한 좌회전 교통량을 대상으로 평가하여 개선방안을 제시하였다.

기존모형과 개선모형들에 대하여 평균제곱오차(MSE)와 평균절대오차(MAE)의 지표를 사용하여 오차를 비교 평가한 결과, 좌회전 교통량이 많고 적음에 관계없이 좌회전 검지기 장애발생시 장애가 발생한 동일한 요일의 교통 이력자료를 이용하여 포화도를 산출하는 모형이 기존모형과 대항방향의 접근로 검지기 및 인접검지기 정보를 이용하여 포화도를 산출하는 모형들과 비교하여 가장 작은 오차를 도출하는 것으로 평가되었다. 교통 이력자료를 이용하여 포화도를 산출하는 모형중에서도 4주간의 이력자료를 이용하여 추정하는 모형8이 가장 오차가 적은 것으로 파악되었다.

모형8의 실제적 효과에 대한 평가를 위하여신호교차로 마이크로(Micro) 시뮬레이션의 가장 범용적인 기법인 NETSIM을 이용하여 기존모형과의 평균지체시간을 비교하였다. 분석 결과 좌회전 교통량이 적은 경우에는 기존모형과 모형8의 평균지체시간의 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 좌회전 교통량이 많은 경우에는 기존모형의 평균지체가 정상운영시보다 크게 증가하였고, 본 연구에서 제시된 모형8이 기존모형에 비교하여 지체시간이 매우 감소된 결과를 얻었다.

따라서 본 연구 결과로부터 좌회전 검지기 장애발생시 좌회전 녹색시간 배분모형은 장애가 발생한 같은 요일 및 시간의 4주간 포화도값을 평균하여 사용하는 것이 모든 교통상황에 가장 효과적이라고 판단된다.

본 연구는 자료수집 및 분석 대상이 월드컵 사거리 한 교차로에 한정되어 있는 관계로 연구 결과의 일반성을 확인하기 위해서는 향후 여러 교차로를 대상으로 평가가 필요할 것으로 판단된다. 그리고 본 연구는 단시간 동안의 검지기 장애발생시만 초점을 두었기 때문에 보다 장시간 동안의 검지기 장애발생시에 대한 추가적인 분석이 필요하다고 판단된다. 아울러 본 연구는 좌회전 이동류에 국한되어 있는바, 향후 직진 이동류의 검지기 장애발생시의 적용성 여부에 대한 추가 연구도 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 서울지방경찰청 (2002), "COSMOS 2001 :실시간 신호제어시스템 실무해설집".
2. 서울지방경찰청 · 도로교통안전관리공단 (2006), "서울특별시 교통신호 제어시스템 기술운영에 관한

- 연구 보고서”.
3. 김영찬 · 이철기 · 허혜정 (2001), “과포화 신호제어기법을 응용한 도시고속도로 진출램프 제어전략의 개발”, 대한교통학회 제19권3호, pp.89~100.
 4. 이영인 · 장근영 (2002), “신신호 시스템의 신호 제어 전략 및 교통측 운영성과 분석연구 (영동대로와 도곡동 축을 중심으로)”, 대한교통학회지, 제20권 제3호, 대한교통학회, pp.193~207.
 5. 이용중 (2003), “실시간 신호제어시스템에 대기행렬길이 산출 알고리즘 개발”, 아주대학교 석사학위논문.
 6. 노동수 (2004), “실시간 신호제어시스템에서 과포화상황에서의 현시배분방안 연구”, 아주대학교 석사학위 논문.
 7. 강다미 (2004), “COSMOS에서 최소녹색시간을 고려한 현시배분 보정방안 연구”, 아주대학교 석사학위 논문.
 8. 유기열 (2005), “TRC 운영자료를 기반으로 한 TOD 자동갱신 기능 연구”, 서울시립대학교 석사학위 논문.
 9. 김영찬 · 백현수 · 정영제 (2005), “구간검지체계의 통행시간정보를 이용한 신호제어 알고리즘 개발”, 대한교통학회지, 제23권 제8호, 대한교통학회, pp.181~191.
 10. 한명주 · 이영인 (2006), “실시간신호제어시스템에서의 버스우선신호 알고리즘 정립 (중앙버스 전용차로를 대상으로)”, 대한교통학회지, 제24권 제7호, 대한교통학회, pp.101~114.
 11. 김범중 (1994), “SPSS/PC+사용법과 통계분석기법해설”, 학연사.
 12. 서울지방경찰청 · 도로교통안전관리공단 (2004), “서울특별시 실시간 신호제어시스템 기술운영보고서”.
 13. 서울특별시 (2003), “신신호시스템 검증·평가”.
 14. 서울지방경찰청 (2001), “2000년 신신호시스템 기능개선”.
 15. 서울지방경찰청 (2002), “2001년 신신호시스템 기능개선”.
 16. 한국도로공사 (2003), “고속국도 우회도로 ITS 구축(1단계) 실시설계 보고서”, 대우정보시스템.
 17. 한국도로공사 도로교통기술원 (2006), “차량검지기자료의 효율적인 수집저장 및 관리체계연구”.
 18. Chen C., Kwon J., Rice J., Skabardonis A., and Varaiya P.(2003), “Detecting errors and imputing missing data for single loop surveillance system”. TRR 1855, TRB, pp.160~167.
 19. Cleghorn D., Hall L., and Garbuio D. (1991), “Improve data screening techniques for freeway traffic management systems”, ISBN 0-309-05153-3, TRB, pp.17~23.
 20. FHWA(2005), “Archived Date Management Systems: A Cross-Cutting Study”. FHWA.
 21. Federal Highway Administration(2001), “TSIS User’s Guide”, FHWA.
 22. ITE(1995), “Traffic Control Systems Handbook”, ITE.
 23. Roess R.P., Prassas E.S., and McShane W.R. (2004), “Traffic Engineering: 3rd Ed.”, Prentice Hall.
 24. Wall Z. and D. J. dailey. (2003), “An Algorithm for the detection and correction of errors in archived traffic data”, TRR 1855, TRB, pp.183~190.
 25. Wu P. and Martin P.T. (2003), “Automated data collection, analysis, and archival”, UT-03.29, Utah Department of Transportation.

✉ 주 작 성 자 : 안혜진

✉ 교 신 저 자 : 이상수

✉ 논문투고일 : 2007. 2. 24

✉ 논문심사일 : 2007. 4. 10 (1차)
2007. 7. 4 (2차)

✉ 심사판정일 : 2007. 7. 4

✉ 반론접수기한 : 2008. 2. 29