COSMOS에서 실시간신호운영 효율화 방안

Effective of Real Time Traffic Signal Operation in COSMOS

변은아
(도로교통안전관리공단 팀장)

김영찬
(서울시립대학교 교수)

윤수영
(도로교통안저관리공단 과장)

이승훈
(도로교통안저관리공단 대리)

강민석
(서울시립대학교 석사과정)

Key Words : COSMOS((Cycle Offse Split Model of Seoul), CI(중요교차로), MI(비중요교차로), TRC, 좌회전감응

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. COSMOS 검지기원리 및 분석체계
1. 검지기 원리
2. 검지기 구성
3. 검지기 자료수집 및 처리
Ⅲ. 실시간신호운영 분석
1. 분석 개요
2. TRC 운영분석
3. 좌회전감응운영 분석
4. 운영 효율화 방안
Ⅳ. 결어 및 향후연구
참 고 문 헌

Ⅰ. 서 론

서울은 현재 COSMOS(Cycle Offse Split Model of Seoul, 이하 COSMOS라 함)에 의한 실시간신호제어시스템이 운영되고 있다. 서울에 전자신호시스템이 1980년도에 도입되어 운영되다 좀더 발전적인 실시간신호제어시스템이 1997년 서울 강남지역 61개소에 시범운영을 거쳐 차츰 제어지역을 확장, 강남지역에 편중된 실시간운영지역을 강북의 성산. 수색로, 도봉. 미아로, 제물포로축 등에 설치 운영되어 현재 400여개소가 COSMOS시스템이 운영되고 있다.

그러나 일부 실시간운영지역에 중앙버스전용차로가 도입 운영되어 기존 실시간운영구간의 검지기의 폐기 및 이설 등으로 인해 일부구간(도봉로, 강남대로, 성산로 등)의 검지기운영체계가 그 기능과 역할을 발휘하지 못하는 곳이 있으며, 출퇴근 시 전 방향으로 몰리는 차량은 실시간제어의 한계를 느끼며, 과도한 횡단보도길이나 유턴 등으로 인한 저항요소로 인해 운영효율이 적절치 못한 측면이 있다.

따라서 본 분석을 통해 서울시에서 운영되고 있는 COSMOS 시스템에서의 실시간신호운영의 운영자적인 측면에서의 효과를 분석하여 문제점 및 개선방안을 도출, 효율적인 실시간신호운영을 통한 소통향상을 도모코 저 하는 데 본 연구의 목적을 두었다.

본 분석은 서울시에서 운영되고 있는 COSMOS에서의 실시간신호제어운영 분석결과를 토대로 가로축에 적용되는 TRC운영제어와 교차로의 좌회전감응제어 운영효율을 검지기 자료분석을 통해 나타내며, 문제점 및 개선방안을 통하여 운영자적인 측면의 실시간신호운영 효율화 방안을 제안한다.

Ⅱ. COSMOS 검지기원리 및 분석체계

1. 검지기원리

실시간신호제어시스템에서는 루프검지기를 표준검지기체계로 채택하여 매 신호주기 단위로 이동류별 신호시간 동안의 교통량과 점유·비점유시간을 산출하고, 포화도 등 제어변수로 처리하며 교통상황에 적합한 신호운영주기와 신호시간비, 연동패턴을 결정하므로 현장의 교통상황에 실시간으로 대응하여 운영되는 교통신호제어시스템이다.

루프검지기는 도로위에 매설된 루프에 의해 형성된 검지영역을 차량이 통과하거나 정지해 있는 경우 차량으로 인한 루프의 인덕턴스 변화를 검지하여 차량의 존재와 비존재 유무를 판단하고, 현장의 교통상황을 반영 신호제어에 필요한 제어변수를 산출할 수 있는 자

료(교통량, 점유, 비점유)를 수집한다. 루프검지기는 도로에 매설된 2~4회의 회전수를 가진 루프로 형성되는 검지영역과 검지장치, 그리고 도입케이블로 구성되어 있다. 검지장치에서 공급되는 10~200KHz의 주파수를 갖는 에너지로 인하여 도로위에 매설된 루프에는 균일한 인덕턴스를 가진 교번자장이 형성되어 차량을 검지할 수 있는 검지영역이 형성되며 그 위를 차량이 통과하는 경우 변화되는 인덕턴스를 검지하여 차량의 존재유무를 판별하여 출력한다.

루프검지기 시스템은 루프와 도입 케이블로 검지부를 형성하고 있으며 검지부를 이루고 있는 소재들의 전기적 특성(저항, 인덕턴스, 커패시턴스)의 상호작용으로 차량을 검지할 수 있는 전자기적 회로부를 형성한다.

2. 검지기 구성

검지기 구성은 교차로의 종류(중요교차로, 준중요교차로, 비중요교차로)에 따라 달라지며, 교차로의 기하구조나 교통특성에 따라 다르게 설치된다. 또한 검지기의 용도에 따라 설치된는 검지기의 종류 또한 달라진다.

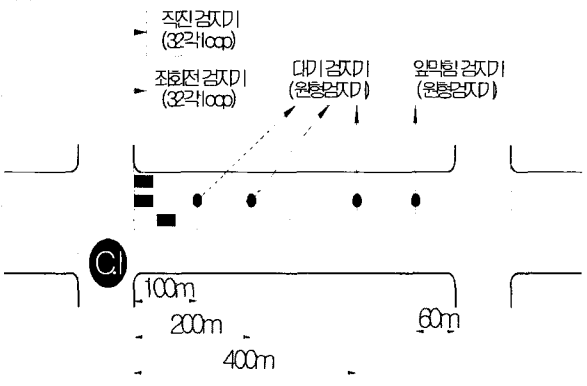
1) 중요교차로(CI)

(1) 정지선 직진 검지기 : 정지선으로부터 30cm이내 거리에 32각 루프검지기 설치

(2) 정지선 좌회전 검지기 : 좌회전 전용차로에 정지선으로부터 12m 후방에 설치

(3) 대기행렬 검지기 : 상류에 100m, 200m, 400m 위치에 루프검지기 설치

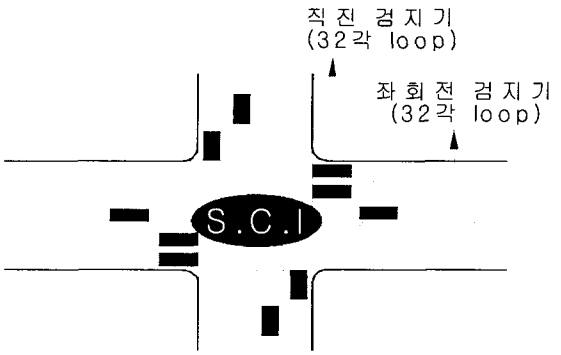
(4) 앞막힘 예방검지기 : 상류부 교차로로부터 60m 위치에 루프 검지기 설치



<그림 1> 중요교차로 검지기구성(예)

2) 준중요교차로(SCI)

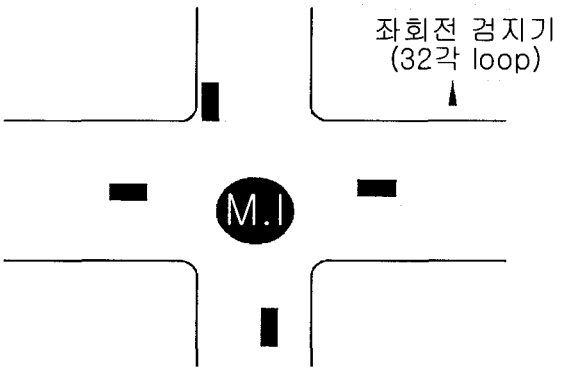
상류부 대기길이 검지기를 제외하고는 중요교차로와 설치방식이 동일



<그림 2> 준중요교차로 검지기구성(예)

3) 비중요교차로(MI)

좌회전 감응용 32각 루프 검지기만 정지선으로부터 12m후방에 설치



<그림 3> 비중요교차로 검지기구성(예)

3. 검지기 자료수집 및 처리

1) 검지기 자료수집

(1) 20msec 고정 TASK에 의한 방법

LC내부의 하드웨어적인 Timmer Interrupt를 이용하여 20msec 간격으로 검지기 자료 1차 처리기를 활성화하여 얻는 존재와 비존재 횟수에 Scanning Rate(20msec)로 곱함으로써 존재시간과 비존재시간을 구함.

- Occ = Scanning rate (20msec) × 존재횟수 (High Pluse 수)
- Gap = Scanning rat e(20msec) × 비존재횟수 (Low Pluse수)

(2) Program 제어 Cycle Polling에 의한 실시간에 의한 방법

하드웨어적인 도움이 없이 소프트웨어적으로 산정하는 방법으로 LC제어프로그램의 매 Cycle마다 점유와 비점유의 상태변화(점유→비점유, 비점유→점유)를 확인하여 상태 변화시 존재 및 비존재 여부를 실시간으로 구함.

- Occ = EOt(차량의 존재 종료시각)- BOt(차량의 존재 시작시각)
- Gap = EGt(차량의 비존재 종료시각) - BGt(차량의 비존재 시작시각)

2) 검지기 자료처리

지역제어기(Local Controller)는 기본적으로 현장의 각 용도에 따라 설치된 각종 검지기로부터 기본적인 교통정보를 수집하고, 수집되는 정보를 근거로 각종 제어목적에 적절하게 사용될 수 있도록 교통제어변수를 산출한다. 지역제어기에서 수집되는 정보는 정지선 검지기와 상류부 검지기로 구분되어 사용용도에 적합한 교통정보를 다음과 같이 수집 처리한다.

<표 1> 검지기자료 수집 및 처리내용

구 분		수집 자료	사용 용도
정지선	좌회전	비점유 수, 비점유시간	주기별 포화교통류율(SFR), 포화도(DS)
	직 진		
상류부	앞막힘 예방 제어	점유시간, 교통량	대기길이 예측, 앞막힘 판단
	대기 행렬 예측	점유시간, 교통량	지점속도, 대기길이 예측

III. 실시간신호운영 분석

1. 분석개요

COSMOS에서의 실시간운영효율 측정은 서울에서 TRC로 운영 분석된 가로축 효율평가는 중요교차로상의 TRC운영효율을 TOD운영과 비교 분석하며, 개별교차로의 좌회전감응 신호운영을 통한 효율을 감응제어 적용 전후를 검지기분석을 통해 효율을 측정한다.

TRC제어 운영시 CI 교차로의 주기 및 신호시간은 포화도에 따라 자동 계산되어 운영되며, SCI 및 MI 교차로는 CI 교차로에서 결정된 주기를 바탕으로 각각의 SCI 및 MI 교차로에서 수집되는 포화도를 이용하여 방향별 신호시간을 계산하여 운영되거나, 입력된 D/B를 바탕으로 신호시간 값이 배분되어 운영된다. 이 경우 각 교차로의 연동값(Offset)은 입력된 D/B값으로 운영되며, TOD 제어는 24시간 교통량을 토대로 1일 교통량 변화 시간대를 나누어 주기와 신호시간, OFFSET을 산출하여, 1일 교통량 변화 시간대에 따라 주기가 결정되는 제어방식으로 현재 전자신호 시스템에서 채택하고 있는 방식으로 TRC/TOD 운영시의 효율을 분석한다..

2. TRC 운영 분석

TRC운영 중요교차로의 분석은 접근로별 포화도 표준편차, 검지기 통과교통량의 증감, 지체도 분석을 대상가로에서 수집된 검지기 자료를 TOD 운영 시와 TRC 감응제어 시와 비교 운영효과를 분석하였다. 본 분석은 서울의 6개 TRC 제어그룹에 대하여 그룹별 검토가 이루어 졌으며, 실시간제어 구간 내 중앙부버스전용차로 시행구간과 공사 등으로 인한 검지기 단선구간은 제외하였다. 분석방법은 센터에서 각각의 그룹별 CI교차로 검지기자료를 이용하여 TRC/TOD 자료와 현장에서 발생하는 CI교차로의 문제점 및 개선방안을 통해 실시간 신호운영 가로축제어방법의 적정성을 제시하기로 한다.

- 자료수집 및 분석
  - 분석대상 교차로 : TRC운영 CI교차로 6개소
    영동2교북단, 개포고, 포스코4거리, 청담공원, 성산초교, 구룡사
  - 분석자료: 5일간 평일 TOD/TRC운영자료
  - 현장조사 : TOD/TRC 운영 상태 조사
  - 분석시간대 : 07:00 - 20:00까지의 자료
- 평가지표 : 중요교차로의 TRC/TOD 자료의 통과 교통량, 포화도표준편차

1) 통과교통량

통과교통량은 교차로의 수용용량을 평가해주는 중요한 자료이며 특히 과포화현상이 발생하는 교차로에서는 교차로의 효율을 평가하는 중요한 항목이다. 교차로에서의 통과교통량은 신호주기, 해당방향의 현시값 등에 의해 좌우되므로 TOD/TRC 운영 자료값을 반영하여 적절성을 알 수 있을 것이다.

처리교통량에 대한 TOD와 TRC의 비교결과 TRC의 경우에서 각 교차로별로 약간의 차이는 있지만, 전체적으로 4%정도의 통과교통량이 증가한 것으로 조사되었으며, 이는 TOD시 고정신호시간에 의하여 현장 교통상황을 적절히 반영하는데 한계가 있지만 TRC모드에서는 교통량의 변화에 따라 신호시간이 실시간으로 분배되어 수요가 많은 접근로에 더 많은 녹색시간을 할당받기 때문인 것으로 분석된다.

2) 포화도 표준편차

포화도 표준편차 항목은 실시간 신호제어시스템의 제어 목표인 각 접근로별 포화도의 동등 정도를 나타내는 평가 항목이다. 이 포화도 편차가 0에 가까울수록 운영 교차로가 접근로별로 요구 교통량에 따라 적절하게 녹색시간이 배분되고 있음을 나타내게 된다. 표준편차는 분포의 분산도를 나타내는 개념 중에서 가장 많이 쓰이는 것으로 모집단이나 표본의 자료값이 평균치에서 얼마나 벗어나 있는가의 정도를 통하여 자료값들의 특징을 설명한다. 표준편차는 인수들을 표본으로 간주하고, "비편중(nonbiased)" 또는 "n-1" 방법을 사용하여 편차를 계산하게 된다. 표준편차는 일반적으로 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$\text{표준편차} = \sqrt{\frac{n\sum_{i=}^{n} x^2 - (\sum_{i=}^{n} x)^2}{n(n-1)}}$$

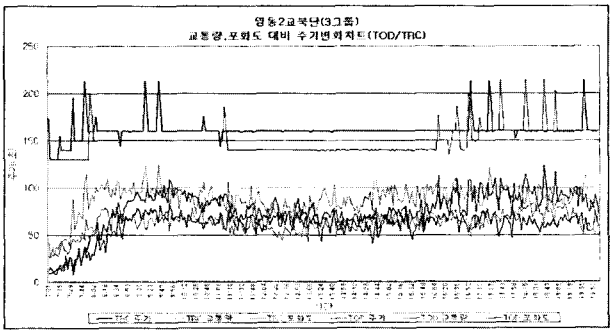
여기서 n = 표본수

i = 표본 i

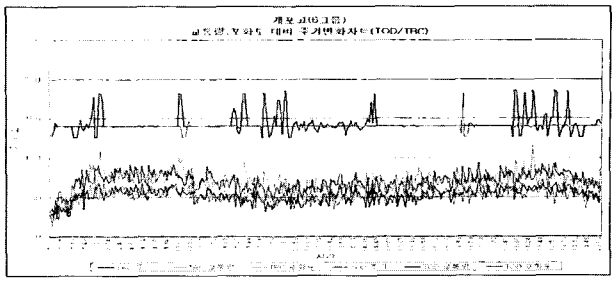
포화도 표준편차가 작을수록 접근로별로 동등한 통과 기회를 제공함을 의미하며 이는 곧 현장의 교통 상황에 따라 신호시간의 배분이 적절하게 이루어지고 있음을 의미한다고 볼 수 있다.

분석결과 TOD에 비하여 TRC 운영 시 전체적으로 표준편차가 작아져 6.%의 개선율을 보이는 것으로 나타냈으며, 일부 교차로는 저하된 곳도 있는바, 이러한 현상은 기존 TOD 운영자료가 TRC 패턴을 토대로 부여되어 교통상황을 적절히 반영하고 있는 경우이거나, TRC가 현장 교통상황을 적절히 반영하지 못하는 경우, 검지기자료의 신뢰성 문제의 경우로 분석과 데이터 관리가 요구된다.

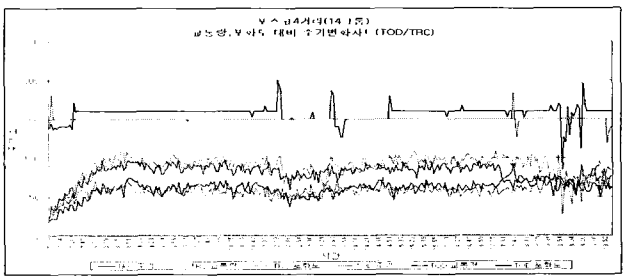
다음은 중요교차로 그룹별 TOD/TRC 운영시의 주기, 포화도, 교통량분석 그래프이다.



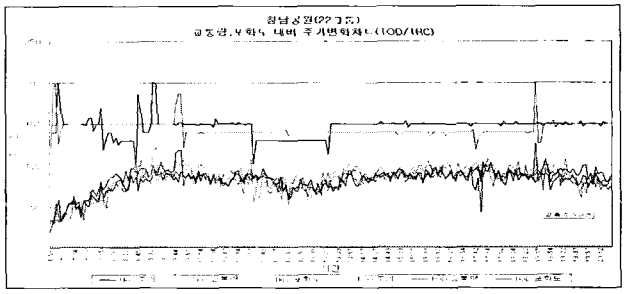
<그림 4> 영동2교북단



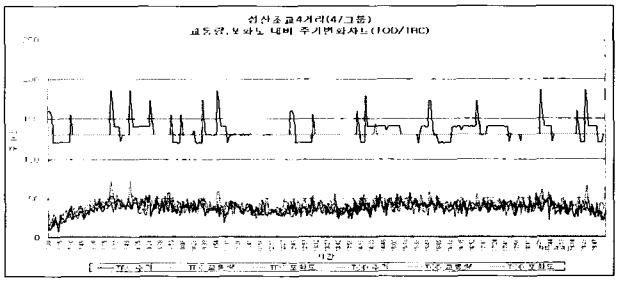
<그림 4> 개포고



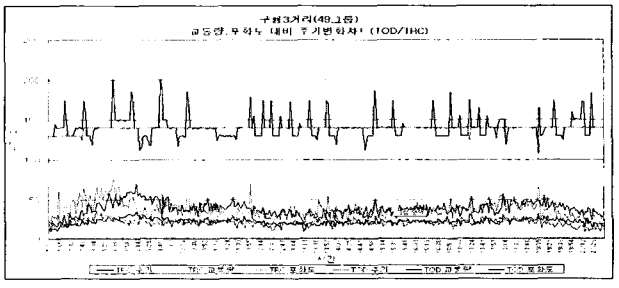
<그림 5> 포스코4거리



<그림 6> 청담공원



<그림 7> 성산초교



<그림 8> 구룡사

3. 좌회전감응운영 분석

좌회전 감응은 현장에서 검지되는 검지기의 교통자료를 이용하여 교통량의 변이가 큰 경우 교통량이 적은 방향의 좌회전을 조기 종결하고 그 나머지 시간을 대향방향 직진신호에 시간을 부여하여 줌으로써 주 방향의 직진소통을 제고하고, 불필요한 좌회전 시간의 낭비를 방지하는 지역제어기에서의 감응 운영방식이며 좌회전 시간을 충분히 확보할 경우 좌회전 차량에 의한 직진차량 차단현상도 방지 할 수 있다. 따라서 좌회전감응이 필요한 지역은 좌회전 교통수요의 편차가 존재하는 지역으로 대향직진 교통류의 비중이 높은 지역에서 그 효과를 올바르게 측정할 수 있으며 좌회전 수요가 비슷한 지역에서는 TOD 운영상태와 유사한 결과가 도출된다.

COSMOS에서 운영중인 좌회전 감응은 최소현시값과 HOST에서 제시된 현시값 사이에서 이루어진다. 좌회전 감응을 시행하기 위한 변수값으로 Limit SPACE-T*100msec 와 Limit WASTE-T*100msec가 설정되게 되는 바 전자는 개별 차량간의 한계 시간간격을 의미하며 후자는 검지기를 통과하는 모든 차량의 누적손실시간을 의미한다. 즉 Limit SPACE-T*100mse 35, Limit WASTE-T*100msec이 150으로 설정된 경우 개별차량간의 시간간격이 3.5초가 경과하거나, 검지기를 통과하는 모든 차량의 누적손실시간이 15초 이상인 경우 좌회전 신호를 종결하고 대향직진에 신호시간을 부여하겠다는 의미이며 이들 항 중에서 어느 항목이 0으로 입력되는 경우는 제어에서 사용하지 않는다.

대상교차로의 검지기 일일교통정보자료를 분석하여 TOD운영시와 감응제어시 통과교통량 및 DS, 지체시간을 분석하였다. 분석방법은 다음과 같다.

- 분석대상 : 좌회전 감응방향의 직진과 좌회전 및 대향방향의 직진과 좌회전 6개소(표 2)
- 분석시간 : 비감응시 평일 5일간 07:00 ~ 20:00시
  감응시 평일 5일간 07:00 ~ 20:00시
- 분석주기 : 자료가 수집되는 매 주기단위
- 평가지표 : 좌회전 감응자료의 좌회전 포화도, 좌회전 시간과 교통량비 분석

<표 2> 좌회전 감응운영 분석 대상교차로

교차로명	좌회전 감응위치
대모산입구	동측, 서측
대왕중	동측, 서측
홍익상가	동측
영등포전화국	북측
파천교	서측
광흥창역	동측

1) 좌회전 DS(포화도) 분석

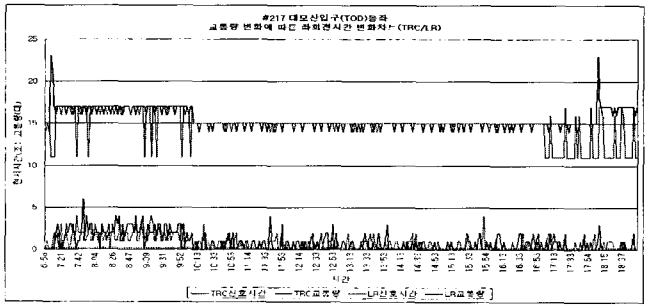
좌회전 감응제어의 효과를 평가하기 위한 비교항목 중의 하나인 DS는 시스템에서 분석 산출하는 DS값을 사용하여 대상교차로의 방향별 평균값을 사용하여 비교분석하였다.

2) 교통량 분석

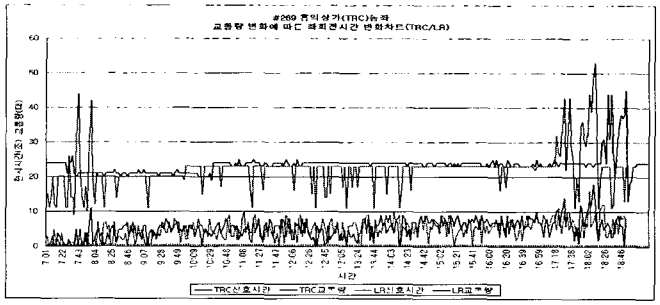
교차로에서 신호제어의 효율성을 평가하기 위해 가장 보편적으로 사용되는 MOE는 통과교통량이다. 일반적으로 교차로에서의 통과교통량은 해당방향의 현시값 등에 의해 좌우되므로 수집되는 자료에 의한 평가가 교차로의 전체적인 효율성 평가로는 미흡하여 좌회전시간에 따른 교통량비 분석을 통해 시간배분에 따른 감응제어의 효과를 판단할 수 있다.

3) 분석평가

분석대상 좌회전 감응 교차로의 감응/비감응 분석은 6개 교차로를 대상으로 각각의 일자별 교통량, 주기, 포화도(DS)를 비교 분석하였다. 분석결과 좌회전감응교차로의 좌회전포화도는 9%, 좌회전교통량/현시시간비는 11% 향상되는 결과를 나타냈다. 일부 분석교차로 예는 다음과 같다.



<그림 9> 대모산입구



<그림 10> 홍익상가

4. 운영 효율화 방안

COSMOS에서 실시간신호운영 분석을 위해 가로축의 TRC운영과 기존 TOD운영과 비교분석한 결과 평균적으로 TRC운영이 교통량과 포화도표준편차에서 4-6% 범위에서 효율적인 것으로 나타났다. 그러나 일부 중요교차로의 긴 횡단보도에 의한 탄력적인 신호배

분의 제약이나, 전일 최소 교통패턴을 보이는 가로축등에서는 TRC 운영효과가 미미하거나 적절하지 않은 측면이 있으며, 잦은 주기변동에 의한 부적절한 운영측면도 있다. 따라서 실시간운영 구간내 운영자적인 측면에서, 효율이 부적절한 가로축은 대안을 모색, 효율도모를 위한 제어변수 및 운영자료의 최적화를 시도하며, TOD운영이나 시간대별 TRC이 적절할 수 있으리라 본다.

또한 좌회전감응제어 분석을 통해 나타난 결과 좌회전포화도와 교통량에서 9-11%의 효과가 있는 것으로 분석되었다.. 기존 운영을 통해 좌회전감응제어 효율이 떨어지는 교차로는 횡단보도와 연계된 곳, 좌회전차량이 과다한 곳, 유턴차량의 영향, 연동현시와 연계, 동시신호운영 등으로 감응제어의 효과가 부적절한 측면이 있으므로, 이를 극복하기 위한 노력과 알고리즘 기능개선 등이 필요하다고 사료된다.

Ⅳ. 결어 및 향후연구

COSMOS에서 실간신호운영 효율분석을 위해 서울시 일부 가로축에서 TRC와 좌회전감응제어 분석을 하였다. 6개축의 CI교차로에서 TRC/TOD 운영 분석결과 TRC운영이 평균적으로 교통량 4%, 포화도 표준편차 6% 효율적인 것으로 나타났으며, 좌회전감응제어 운영은 비감응시에 비해 좌회전포화도는 9%, 교통량에서 11% 효율이 있는 것으로 나타났다.

COSMOS에서 실시간신호운영 효율을 저해하는 것은 TRC에서는 과도한 횡단보도, 전일 최소교통량 패턴, 잦은 주기변동 등의 요인이 있으며, 좌회전감응의 경우 횡단보도와 연계, 좌회전 과다, 유턴차량 등에 의한 부적절한 측면이 있다. 향후 실시간신호운영의 발전을 위해 다각적인 개선모색과 우리 교통현실에 맞는 기능개선이 이루어져 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 도로교통안전관리공단, 서울지방경찰청, “교통신호제어시스템 기술운영에 관한 연구보고서”, 1998. 2~2007. 2
2. 도로교통안전관리공단, “신신호제어시스템 기술개발 3차년도 최종보고서“, 1993
3. 도로교통안전관리공단, “신신호제어시스템 기술개발 2차년도 최종보고서“, 1992
4. 서울시정개발연구원,“신시호시스템검증평가”, 2003. 8
5. 서울시립대학교 도시과학연구원, “대체검지기 현장적용에 따른 신뢰성 검증 결과보고”, 2003. 5
6. 서울지방경찰청, “신신호제어시스템 4차 기능개선 최종보고서”, 2003
7. 서울지방경찰청, “신신호제어시스템 3차 기능개선 최종보고서”, 2002
8. 한국ITS학회, “한국 ITS학회 논문지”, 2007. 4.