

# CORSIM RTE(Run-Time Extension)를 활용한 COSMOS TRC 기능평가

Evaluation of COSMOS TRC using the CORSIM RTE(Run-Time Extension)

김재웅 (주)에스컨자인, 과장      이청원 (서울시립대학교, 교수)      김진태 (전 서울지방경찰청 교통운영개선기획실 실장)

Key Words : 실시간신호제어, COSMOS, TRC, TOD, CORSIM RTE

## 목 차

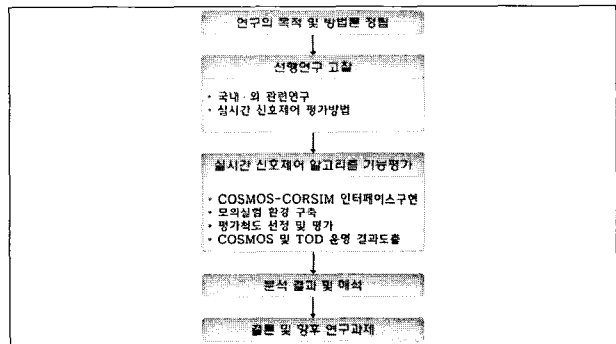
I. 서론	
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구의 내용 및 수행방법	1
II. 선행연구 고찰	1
1. 국내·외 관련연구 고찰	1
2. 실시간신호제어 평가방법 고찰	2
3. 실시간신호제어시스템 고찰	2
4. CORSIM의 RTE 고찰	2
III. COSMOS TRC 기능평가	3
1. 평가의 수행절차	3
2. COSMOS TRC 기능평가 방법	3
3. 기능평가를 위한 모의실험 환경 구축	4
4. 평가방법	5
5. 분석결과 및 해석	5
IV. 결론 및 향후 연구과제	6
참고문헌	7

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

실시간신호제어시스템은 검지기를 통해서 수집된 개별차량의 점유·비점유 등의 기초교통정보를 통해서 주기 및 녹색시간 등의 신호제어변수를 산출하여 실시간으로 운영하는 것이다. 그러나 교통수요의 변화에 따라 주기, 현시, 옵셋 등의 값이 다르게 운영되는 실시간신호제어시스템은 현장조사 자료 분석에 의한 사전·사후 평가방법과 소프트웨어 기반 시뮬레이션에 의한 평가방법 등을 통해 산출된 효과척도(MOE)분석으로 현재까지 실시간신호제어의 운영효과를 평가하였으나, 이는 동일한 교통조건에서의 비교가 아니기 때문에 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 미시적 시뮬레이션 모형인 CORSIM(Corridor Simulation)의 RTE(Run-Time Extension)를 이용하여 COSMOS-CORSIM 인터페이스를 구현하고 COSMOS TRC의 기능을 평가하고자 한다.

영 변수 값은 TRANSYT-7F로 분석하여 도출된 최적된 결과를 적용하였다. 넷째, CORSIM의 RTE(Run-Time Extension)를 이용하여 COSMOS TRC기능이 CORSIM 모형을 통해 시뮬레이션 될 수 있도록 COSMOS-CORSIM 인터페이스를 구현하였다. 마지막으로 효과척도(MOE)를 도출하여 실시간신호운영시와 TOD 운영시를 비교하여, COSMOS TRC의 기능을 평가하였다. 본 연구의 전체적인 수행 방법은 다음 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 연구수행 방법

### 2. 연구의 내용 및 수행 방법

본 연구의 세부 내용 및 수행 방법은 다음과 같다. 첫째, 지하 구조, 교통수요, 신호제어 등의 교통조건이 동일한 모의실험 환경을 구축하였다. 둘째, COSMOS TRC 및 TOD분석을 위해 모의실험 환경에 의해 모든 조건이 동일하도록 CORSIM 네트워크를 각각 구축하였다. 셋째, TOD의 주기, 현시 등의 신호운

## II. 선행연구 고찰

### 1. 국내·외 관련연구 고찰

실시간신호제어시스템의 기능평가와 관련하여 국내 연구를 분석한 결과 연구의 대부분이 독자적인 시뮬레이터를 개발하여 실시간 신호제어시스템의 기능 또는 성능평가를 수행하였으며,

또한 CORSIM의 RTE를 이용하여 일부 기능 평가를 수행한 연구도 있었다. 김진태, 장명순, 박재완(2005)은 모의실험 환경에서의 옴셋 전이 길이 비교연구 및 실시간신호제어를 위한 신경망 적용 지체최소화 주기길이 설계모형 개발을 위해 CORSIM의 RTE를 이용하여 분석하였고, 정준하(2007)는 HILLS 기법을 이용한 실시간 교통신호제어 평가시스템 개발을 위해 CORSIM의 RTE를 적용하였다. 국외의 경우 Black G. Hansen(2000)은 HILSS의 개발을 목적으로 CORSIM의 RTE(Run-Time Extension)를 이용하여 SCOOT의 성능을 평가하였으며, 현재까지도 RTE를 이용하여 많은 연구를 진행 중에 있다.[1][2][3]

과정에서 오차가 발생할 수 있으며 교통관리시스템의 하드웨어적인 특성반영이 불가하다. 셋째 HILSS를 이용한 실시간 시물레이션에 의한 평가 방법은 가장 발전된 형태로서 HILSS(Hardware-In-the-Loop-Simulation System)란 소프트웨어 기반 시물레이션에 의한 평가방법으로 현실의 교통관리시스템을 인터페이스 장치에 직접 연결하여 실시간으로 평가하는 방법으로 교통관리시스템의 하드웨어적인 특성까지 반영 가능함으로써 과학적이고 객관적인 평가결과를 도출할 수 있다.

## 2. 실시간신호제어 평가방법 고찰

### 1) 국외 평가방법 고찰[4][5]

PRIMAVERA 프로젝트에서는 SCOOT 및 SPOT 시스템의 평가를 위하여 현장조사 및 HILSS를 이용한 실시간 시물레이션에 의한 평가 방법을 병행하였으며, 세부 내용은 <표 1>, <표 2>와 같다.

<표 1> 현장조사에 따른 평가전략

평가 지역	대상 시스템	평가 전략
Leeds	SCOOT	정지수의 최소화, 버스 우선 제어 및 속도관리
	SPOT	대기행렬관리, 버스 우선 제어 및 속도관리
Turin	SPOT	대기공간 확보 및 속도관리

<표 2> HILSS를 이용한 실시간 시물레이션 평가항목

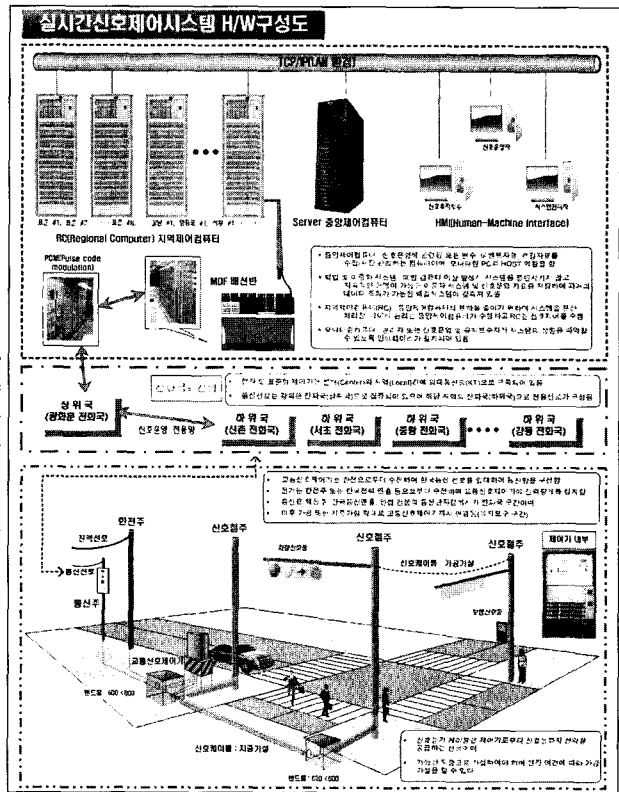
평가항목	효과측정 기준	측정값
통행시간	노선 및 링크의 여행시간 단축	통행시간 평균
	노선/링크의 여행시간 분산감소	통행시간의 분산
차량운행비용 및 연료소모	노선의 차량에 대한 운행비용 및 연료소모량 감소	전체 노선버스의 연료소모 평균
	노선 및 경로의 혼잡완화	총 정지회수
대중교통 운영효율	대중교통의 정시성 개선	대중교통 여행시간의 분산
교통류 안정	노선별의 이용률 감소 혹은 변화	전체 노선의 교통량
대중교통 이용률	버스 재차인원증가	전체 노선의 재차인원 평균
	다른 차량의 재차인원은 불변	
안락감	운전자 및 승객의 안락감 증가	차량의 정지수 평균
	횡단지체의 감소 혹은 변화	횡단지체 평균
횡단지체 시각적 장애 심각도	교차로 대기행렬의 감소	대기행렬 평균
	평균 교통량의 감소	교통량 평균
스트레스	횡단지점의 평균속도 감소	횡단지점의 속도 평균
	노선 운전자 및 승객의 스트레스 감소	전체 노선에 대한 정지수 및 대기길이 평균
안전도	노선/링크의 차량과 보행자의 안전도 증가	특정 노선의 사고율
		교차로 상충 수
속도	노선/링크의 속도감소	속도 평균
	노선/링크의 속도분산 감소	속도 분산
	노선/링크의 과속차량 감소	일정속도 초과차량의 비율

### 2) 국내 평가방법 고찰

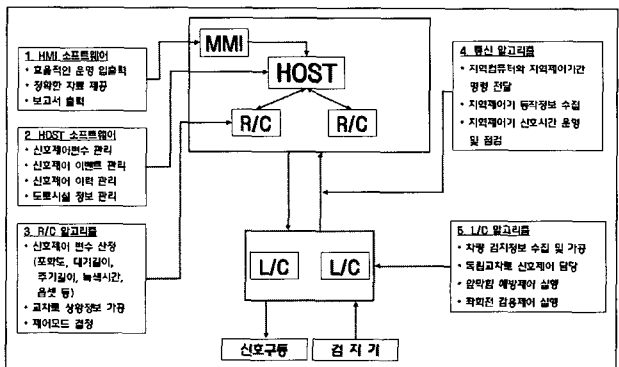
첫째 현장조사 자료의 분석에 의한 평가 방법으로 가장 초보적인 평가기법으로 조사원을 배치하여 목적(目測)으로 자료를 수집하고 이들 자료를 분석하여 평가하는 것으로 공간적으로 지역적이며 평가항목이 한정된다. 둘째 소프트웨어 기반 시물레이션에 의한 평가 방법은 컴퓨터 시물레이션 모형을 이용한 보다 발전된 형태의 과학적인 평가방법으로 공간적으로 광역적이며 다양한 평가가 가능하나 현실상황을 모형으로 묘사하는

### 3. 실시간신호제어시스템 고찰[6][7][8]

다음의 <그림 2>와 <그림 3>은 서울지방경찰청에 구축되어 있는 실시간신호제어시스템의 H/W 및 S/W 구성 체계를 나타낸 것이다.



<그림 2> 실시간신호제어시스템 H/W 구성도



<그림 3> 실시간신호제어시스템 S/W 구성도

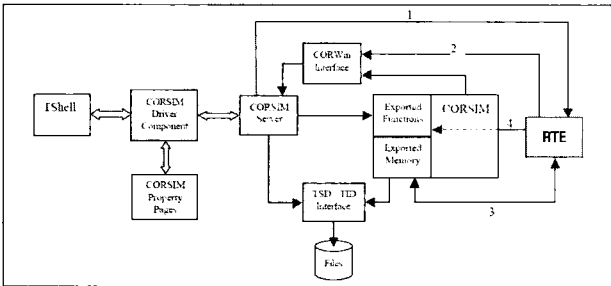
### 4. CORSIM의 RTE 고찰[9][10]

### 1) CORSIM의 기능

CORSIM은 교차로의 교통운영을 분석하기 위한 Interval에 기초를 둔 미시적 시뮬레이션모형으로 정주기, 감응제어, 버스운영, 주차 운영, 앞 막힘(spill-back), 좌회전 대기차로 등을 시뮬레이션할 수 있다. 그러나 고정식, 정주기, 감응제어 등에 대한 모의실험 환경을 구현하고 분석이 가능하지만 실시간신호제어시스템의 신호운영 분석은 적용할 수 없는 한계가 있으나 RTE(Run-Time Extension)를 이용하여 그 한계를 극복 할 수 있다.

### 2) RTE(Run-Time Extension)의 기능

CORSIM은 Version 4.0부터 CORSIM 내부의 신호제어 Logic을 C++, 포트란 등의 언어를 이용하여 수정하거나 사용자정의 프로그램(RTE : Run-Time Extension)을 이용하여 다른 Logic으로 변경하여 모의시험이 가능하도록 하였다. <그림 4>과 같이 RTE의 기능은 CORSIM Server를 통해 사용자정의 프로그램 모듈을 초당 1회 호출함으로써 사용자로 하여금 이 모듈 내에서 다양한 알고리즘을 직접 구현할 수 있도록 하였으며, CORSIM의 신호시간 관리변수를 직접 갱신하는 방법으로 사용자 기반의 신호제어전략의 평가가 가능하도록 하였다.

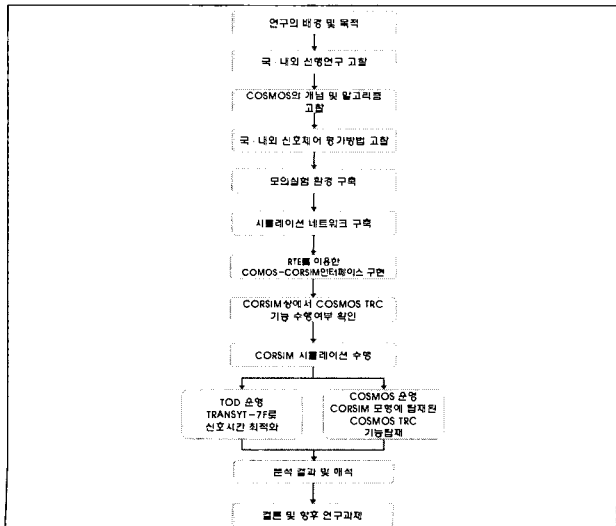


<그림 4> CORSIM 모형과 RTE 모듈과의 연계구조

## III. COSMOS TRC 기능평가

### 1. 평가의 수행절차

연구의 세부적인 수행절차는 다음 <그림 5>과 같다.

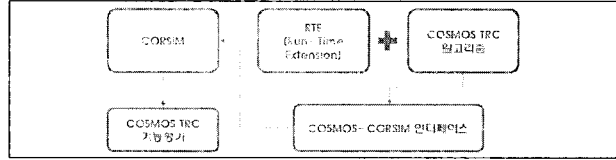


<그림 5> 평가수행 절차

## 2. COSMOS TRC 기능평가 방법

### 1) 기능평가 내용

본 연구의 기능평가 내용은 CORSIM (ver5.1) RTE를 이용하여 COSMOS-CORSIM 인터페이스를 구현하고, COSMOS TRC의 효율성을 평가하는 것이다.

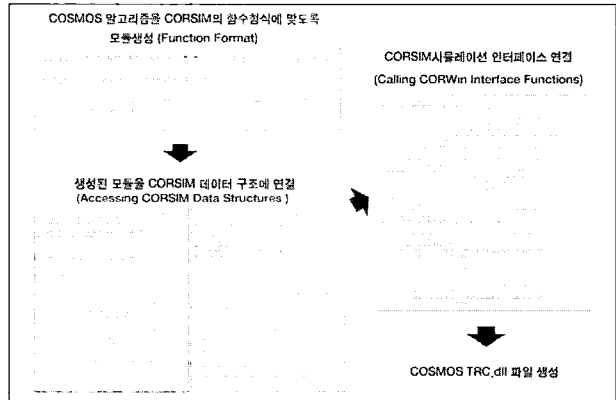


<그림 6> 기능평가 내용 및 방법

### 2) RTE를 이용한 COSMOS TRC 알고리즘 구축

#### ① COSMOS TRC 알고리즘 구현

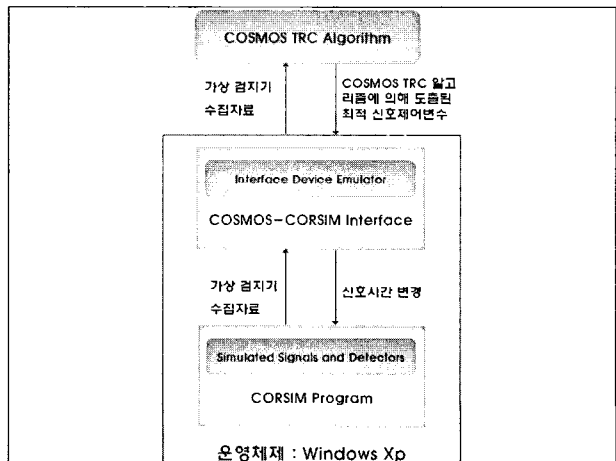
첫째, COSMOS TRC 알고리즘을 CORSIM의 함수형식에 맞도록 변경하고, Compiling을 통해서 COSMOS TRC 모듈을 새롭게 만든다. 둘째, 생성된 COSMOS TRC 모듈을 CORSIM 데이터 구조에 연결한다. 마지막으로 CORSIM 시뮬레이션 인터페이스 연결하여 시뮬레이션 상의 가상 검지기에서 수집되는 자료에 의해 신호제어 변수가 변경 되는지 확인한다.



<그림 7> RTE 구현 방법

#### ② COSMOS-CORSIM 인터페이스 구현[10][11]

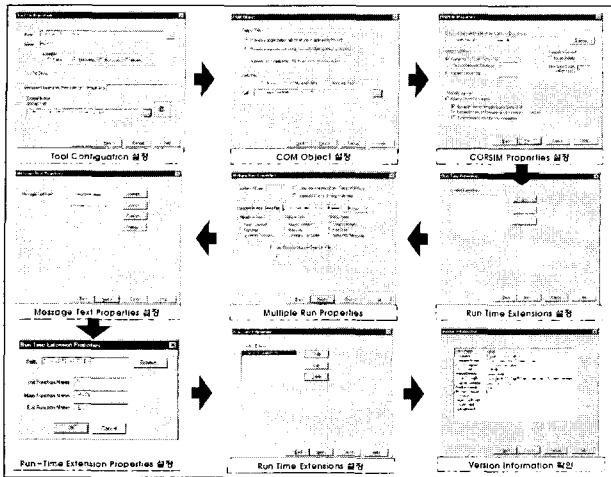
본 연구의 가장 핵심 내용인 COSMOS-CORSIM 인터페이스 구성과 알고리즘의 프로세스 처리 과정은 다음 <그림 8>과 같다.



<그림 8> COSMOS-CORSIM 인터페이스 개념도

③ CORSIM 모형의 시뮬레이션 환경 설정

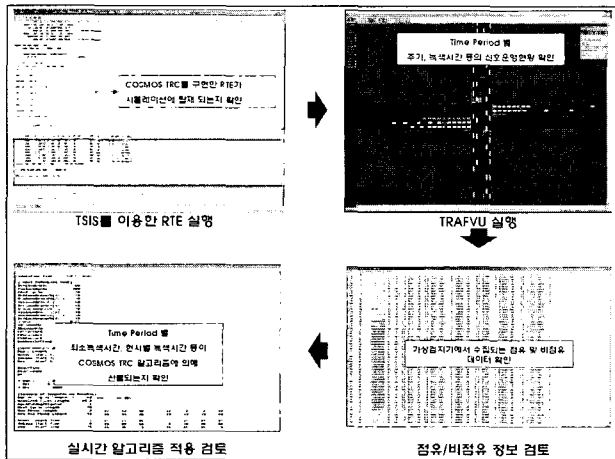
RTE를 이용하여 COSMOS TRC 알고리즘이 구현된 COSMOS\_TRC.dll 파일을 CORSIM 모형의 시뮬레이션 환경에 탑재하기 위한 방법 및 절차는 다음 <그림 9>과 같다.



<그림 9> 시뮬레이션 환경 설정

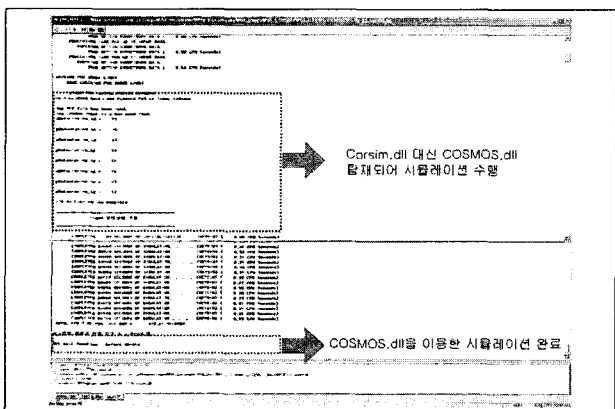
④ CORSIM 시뮬레이션 실행

CORSIM 모형으로 COSMOS TRC 알고리즘을 구현한 RTE를 실행하는 방법은 TSIS와 TRAFVU를 이용하며, 세부 실행 과정은 다음 <그림 10>과 같다.



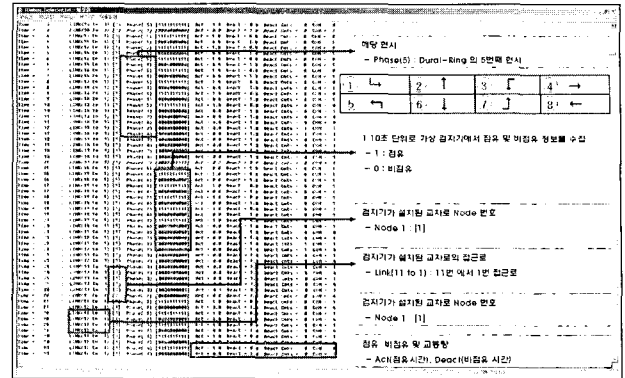
<그림 10> CORSIM 모형의 RTE 실행 과정

TSIS를 이용한 RTE를 탑재하여 실행한 결과는 다음 <그림 11>과 같다.



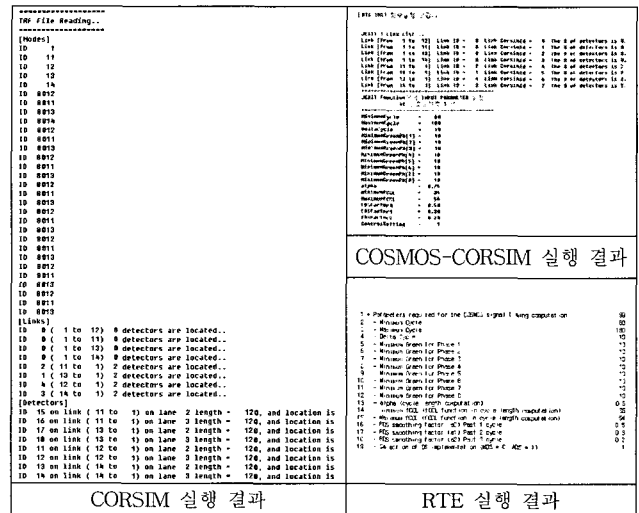
<그림 11> TSIS를 통한 RTE 실행화면

시뮬레이션 상에 설치한 가상 검지기에서 수집된 점유, 비점유 정보 등의 결과는 다음 <그림 12> 과 같다.



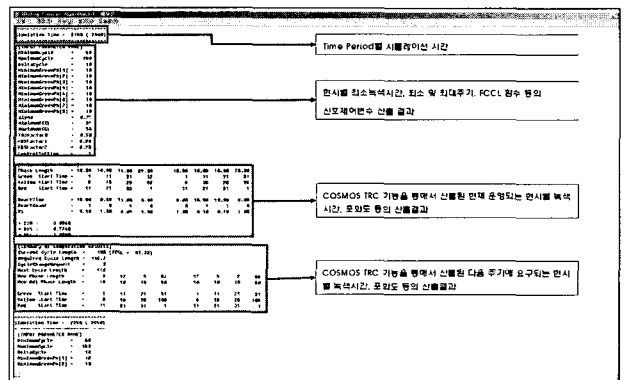
<그림 12> TSIS를 통한 RTE 실행화면

CORSIM 모형에 의해 RTE의 실행 유무와 COSMOS TRC 알고리즘에 의한 시뮬레이션이 수행 되는가를 결과물 모듈을 만들어 확인하면 다음 <그림 13>와 같다.



<그림 13> COSMOS TRC 알고리즘의 RTE 실행

COSMOS TRC에 의해 산출된 주기, 녹색시간, 포화도, 다음 주기에 요구되는 주기값, 현시 등의 신호제어 변수의 산출 결과는 다음 <그림 14>과 같다.

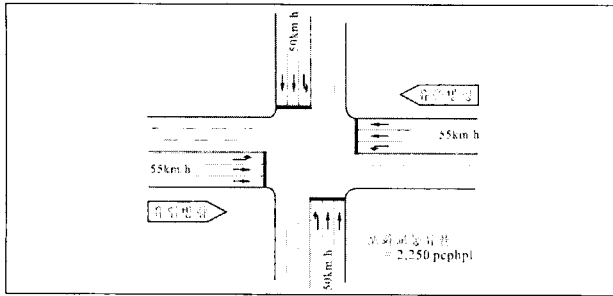


<그림 14> 실시간 신호운영 결과

3. 기능평가를 위한 모의실험 환경 구축

1) 도로조건

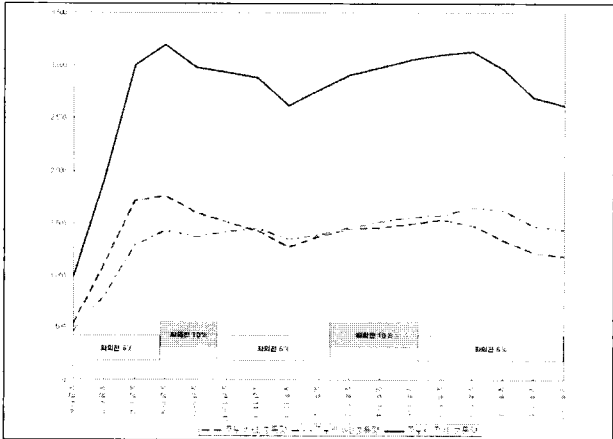
도로조건은 주도로(동서방향, 양방향 6차로, 좌회전 전용1차로, 직진전용2차로), 부도로(남북방향, 양방향 6차로, 좌회전 전용1차로, 직진전용 2차로), 기타(횡단보도, 버스전용차로, 주차시설 등은 제외 등)로 구축하였다.[1]



<그림 15> 기하구조 조건

2) 교통조건

교통조건은 승용차 100%, 횡단 보행자가 없는 등의 이상적인 조건으로 가정하였으며, 동일한 교통수요 조건에서 혼잡 수준에 따른 TOD운영 및 실시간신호제어 운영을 비교하기 위해 시간대별, 교통수요별 조건을 설정하였다.

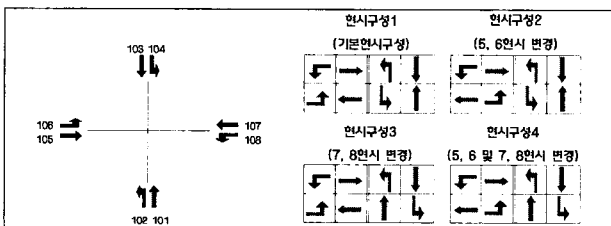


<그림 16> 기하구조 조건

3) 신호제어 조건

① TOD분석을 위한 신호제어 조건

좌회전 형태는 보호좌회전방식으로 설정하였으며, 현시 구성은 Dual-Ring 체계로 설정하였다. 주기 길이는 최소 60초에서 최대 180초로 설정하였고 모든 현시에서 황색시간은 3.0초, 출발 손실시간은 2.3초, 진행연장시간은 2.0초로 설정하였다. 4가지 현시구성 중 TRANSYT-7F(ver9.0)로 분석하여 지체가 가장 작은 현시구성을 적용하였다.[1]

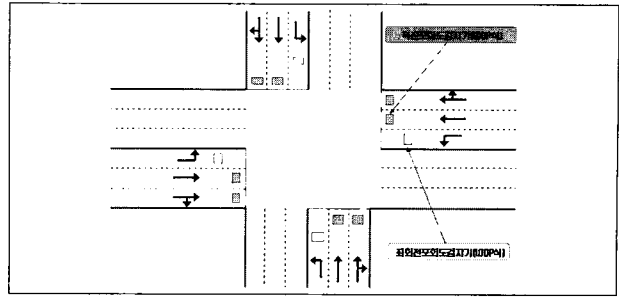


<그림 17> TOD 신호제어 조건

② COSMOS TRC 분석을 위한 신호제어 조건

직진 및 좌회전 정지선 검지기를 접근로 당 설치하여, COSMOS-CORSIM 인터페이스를 통해 시간대별로 변화되는

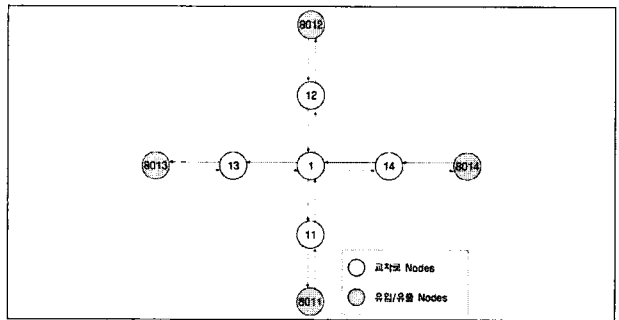
교통수요에 따라 신호시간이 바뀔 수 있도록 한다.



<그림 18> 검지기 설치

4) 시뮬레이션 네트워크 구축

최적화된 TOD 신호운영과 실시간신호제어시의 운영효과 비교를 위한 시뮬레이션 네트워크는 다음 <그림 21>과 같다.



<그림 19> 시뮬레이션 네트워크 구축

4. 평가방법

본 연구의 평가는 COSMOS TRC로 운영했을 때와 TOD로 운영했을 때의 효율성을 파악하기 위해 V/C ratio별 평균 운영지체, 평균 운영지체, 총 지체를 비교 및 분석하여 COSMOS TRC의 기능을 평가한다.

<표 3> 평가방법 및 내용

방법	내용
1	V/C ratio별 평균 운영지체 비교
2	평균 운영지체 비교
3	총 지체 비교

5. 분석결과 및 해석

1) V/C ratio 변화에 따른 평균 운영지체 비교

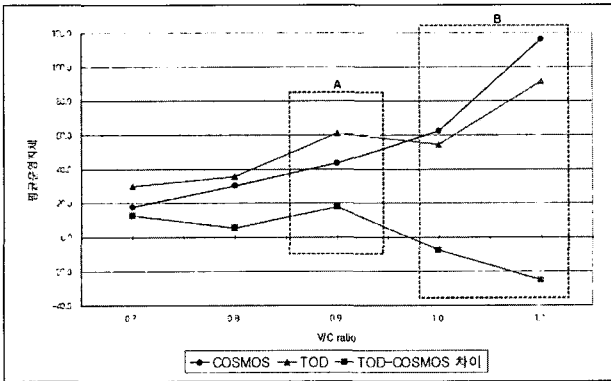
평가방법 1의 분석결과 V/C가 0.7에서 0.9 사이에는 TOD보다 COSMOS TRC로 운영했을 때 평균운영지체가 더 낮게 분석되었으며, V/C가 1.0 이상일 때는 TOD로 운영했을 때 평균 운영지체가 낮게 분석되었다. TOD와 COSMOS TRC의 평균 운영지체 차이는 V/C=0.9 일때 효과가 가장 큰 것으로 분석 되었다. V/C가 1.0~1.1 일때(근포화, 과포화 시) COSMOS TRC 보다 TOD로 운영시 지체가 낮게 분석되었다. 평가방법 1에서 도출된 결과는 이정윤, 김진태, 장명순(2004)의 연구에서의 “교차로 운영상태가 근포화(포화도가 0.9~1.0)일 경우 비교적 교차로의 지체수준을 최소화 하는 주기로 설계한다.”와 “교차로 운영

포화도가 0.9이하인 상황에서는 지체도를 최소화 하지 못하는 주기 길이로 설계 한다”라는 연구 결과와 일치한다. 평가방법 1의 분석 결과는 <표 4> 및 <그림 20>과 같다.

<표 4> V/C ratio별 평균운영지체 비교

항목	MOE V/C	평균 운영지체(대-시간)				
		0.7	0.8	0.9	1.0	1.1
COSMOS 운영	17.6	30.2	43.4	62.1	116.5	
TOD 운영	29.8	35.7	61.0	54.4	91.3	
TOD - COSMOS	12.2	5.5	17.6	-7.7	-25.2	
운영효과(%)	40.9	15.4	28.9	-14.2	-27.6	

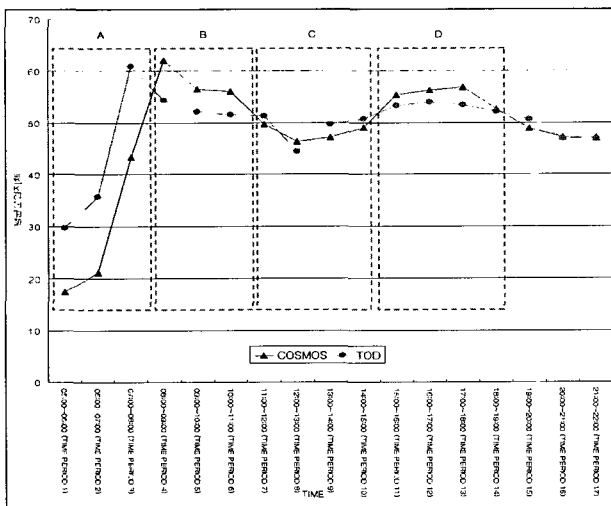
주 : 운영효과(%) = (TOD-COSMOS)/TOD



<그림 20> V/C ratio별 평균운영지체 비교

2) 평균 운영지체 비교

평균 운영지체를 분석한 결과 다음 <그림 21>과 같이 A(05:00~08:00)와 C(11:00~15:00)의 경우는 COSMOS TRC로 운영 했을 때 지체가 낮게 분석되었으며, B(08:00~11:00)와 D(15:00~19:00)의 경우는 TOD로 운영 했을 때 지체가 낮게 분석되었다. 교통수요가 집중되어 과포화가 발생하는 첨두 시간에는 COSMOS보다 TOD로 운영 했을 때 지체가 더 낮았으며, 교통수요가 적고 변화가 많은 비첨두시에는 COSMOS로 운영하는 것이 지체가 낮게 분석되었다.



<그림 21> 평균 운영지체 비교

3) 총 지체 비교

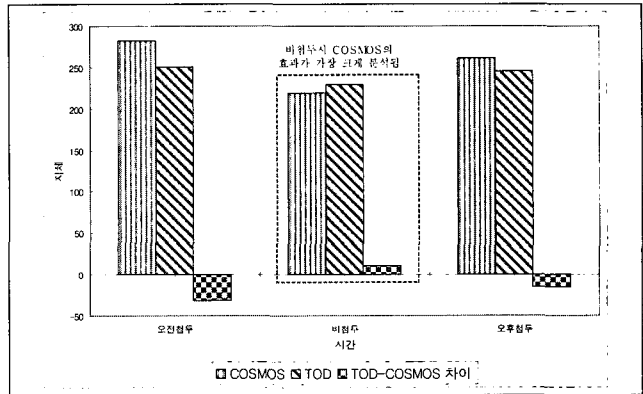
COSMOS TRC와 TOD의 시간대별 총 지체를 비교한 결과 오전 및 오후 첨두시에는 COSMOS보다 TOD로 운영하는 것이 지체가 낮게 분석되었다. TOD의 지체가 낮게 분석된 이유는

평가방법1의 분석결과와 같이 첨두시의 V/C가 1.0 이상의 과포화 상태가 발생했기 때문이다. 평가방법 3의 세부 분석결과 및 내용은 다음 <표 5> 및 <그림 25>과 같다.

<표 5> 총 지체 비교

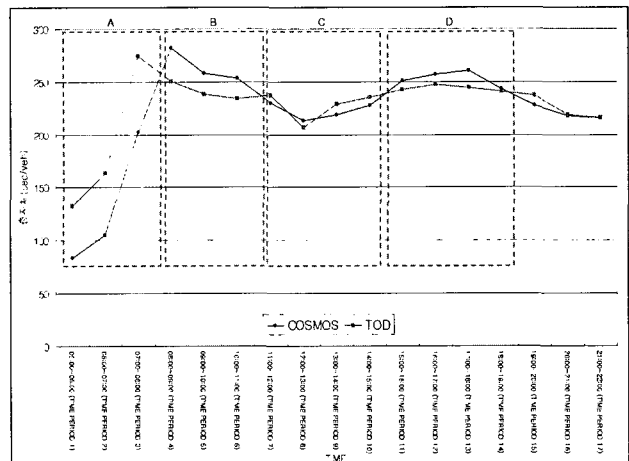
항목	총 지체		
	오전첨두 (08:00~09:00)	비첨두 (13:00~14:00)	오후첨두 (17:00~19:00)
COSMOS 운영	282.2	219.1	260.6
TOD 운영	250.9	229.7	245
TOD - COSMOS	-31.1	10.6	-15.6
운영효과(%)	-12	5	-6

주 : 운영효과(%) = (TOD-COSMOS)/TOD



<그림 22> 총 지체 비교

시간대별 총 지체를 비교한 결과 A(05:00~08:00)와 C(11:00~15:00)의 경우는 COSMOS로 운영 했을 때, B(08:00~11:00)와 D(15:00~19:00)의 경우는 TOD로 운영 했을 때 지체가 낮게 분석되었다. 이는 평가방법 1과 평가방법 2의 분석 결과와 같다.



<그림 23> 시간대별 총 지체 비교

IV. 결론 및 향후 연구과제

본 연구의 가장 핵심적인 내용은 현재까지 방법상의 한계로 시도되지 못했던 CORSIM RTE를 이용하여 COSMOS TRC의 기능을 평가하는 연구이다. 기능평가를 위해 CORSIM 모형에서 COSMOS TRC로 운영했을 때와 TOD로 운영 시를 비교하여 V/C ratio별 운영지체, 평균운영지체, 총 지체를 비교 분석하였다. 분석결과를 종합해 보면 V/C가 0.7~0.9 사이에는 TOD보다 COSMOS TRC로 운영했을 때 평균운영지체가 더 낮게 분석되

었으며, 특히 V=0.9일때 COSMOS TRC의 효과가 가장 좋은 것으로 분석되었다. V/C가 1.0~1.1일 때는 TOD로 운영했을 때 COSMOS TRC보다 평균 운영지체가 낮게 분석되었다. 이때 V/C가 1.1일때는 가장 나쁘게 분석되었다. 결론적으로 본 연구를 통해 도출된 결과를 요약하면 첫째, 교통수요가 집중되어 과포화(V/C>1.0)가 발생하는 첨두시에는 COSMOS TRC보다 TOD로 운영시 지체를 최소화 할 수 있다. 둘째, 교통수요가 적고 변화가 많은 비첨두시에는 TOD보다 COSMOS TRC 운영시 지체를 최소화 할 수 있다. 셋째, V/C=0.9일때 COSMOS TRC로 운영할 때 가장 효과가 크게 분석되었다. 따라서 COSMOS TRC와 TOD를 교통상황에 따라 유기적으로 운영하는 것이 현재 실시간신호제어시스템의 효과를 극대화 할 수 있을 것이라고 판단된다.

본 연구의 가장 큰 의미는 방법상의 문제로 한계에 있었던 COSMOS TRC 기능을 RTE를 활용하여 CORSIM 모형에 탑재 후 TOD와 비교하여, 그 기능을 평가한 것이다. 그러나 본 연구는 검지기가 설치되는 중요교차로(Critical Intersection)를 중심으로 분석하여, 링크 및 네트워크 단위로 확장해서 평가하는 것은 한계가 있다. 또한 주기 및 녹색시간 결정 등의 COSMOS TRC 기능을 RTE로 구현하여 평가하였으며, SA(Sub-Area) 결합분리, 읍셋 전이, 앞막힘 예방 등의 알고리즘은 본 연구의 평가 대상에서 제외 하였다. 보다 정확하고 신뢰성 있는 결과 도출을 위해 도로, 교통, 신호 등의 조건이 동일한 모의실험 환경을 구축하여, 실제 교통상황에 반영시 상이한 결과를 나타낼 수도 있는 한계가 있다. 향후 CORSIM의 RTE를 통해 COSMOS의 모든 알고리즘이 구현되어야 하며, 특히 실제 현장의 링크 및 네트워크 단위의 다양한 분석이 가능하도록 발전시켜야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 김진태, 장명순, 박재완(2005), “모의실험 환경에서의 읍셋전 이길기 비교연구”, 대한교통학회지 제23권 7호, pp.43-52
2. 정준하(2007), “HILLS 기법을 이용한 실시간 교통신호제어 평가시스템 개발”, 아주대학교 박사학위논문
3. Black G. Hansen(2000), “SCOOT Real-Time adaptive control in a CORSIM Simulation Environment”, Transportation Research Board 78th Annual Meeting
4. 대한교통학회(2002), “COSMOS 2000 운영자 개입 및 정책적 신호제어 전략 수립에 관한 연구”, pp.108~113
5. Ken Fox, Peter Balmforth, Peter Franklin and Yim Ling Siu(ITS), Ray Heywood(HETS), Fabrizio Biora(MIZAR) and D. Pietrantonio(Comune di Torino), DRIVE II PROJECT V2016 : PRIMAVERA, “Report on Analysis of Field Trials”
6. 서울지방경찰청(2001), “2000년 신신호시스템 기능개선”
7. 서울지방경찰청(2002), “COSMOS 2001 : 실시간 신호제어 시스템 실무해설집”
8. 서울지방경찰청(2002), “2001년 실시간신호제어시스템기능개선”
9. ITT Industries, Inc., Systems Division ATMS R&D and Systems Engineering Program Team(2003), CORSIM Data Dictionary Version5.1
10. ITT Industries, Inc., Systems Division ATMS R&D and Systems Engineering Program Team(2003), CORSIM Run-Time Extension(RTE) Developer's Guide Version5.1
11. Chintan S. Jhaveri(2003), “SCOOT Adaptive Signal Control : An Evaluation of its Effectiveness over a Range of Congestion Intensities”, Transportation Research Board 2003 Annual Meeting