

■ 論 文 ■

미시적 시뮬레이터를 이용한 실시간 신호제어시스템(COSMOS) 평가 시뮬레이션 환경 개발

Development of an Interface Module with a Microscopic Simulation Model
for COSMOS Evaluation

송 성 주
(비츠로시스
연구원)

이 승 환
(아주대학교
환경건설교통공학부 교수)

이 상 수
(아주대학교
환경건설교통공학부 조교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 범위
 - II. 기존 연구 및 개발 사례 고찰
 - 1. HILSS
 - 2. 실시간 시뮬레이터 원형 개발
 - 3. CORSIM의 Run-time Extension
 - III. COSMOS 평가 시뮬레이션 환경 개발
 - 1. WATSIM 개요
 - 2. COSMOS 평가 시뮬레이터 기본구조
 - IV. COSMOS 평가시뮬레이션 주요 개발사항
 - 1. 시뮬레이터 내 검지기관련 개발사항
 - 2. COSMOS 프로그램
 - V. COSMOS 평가 시뮬레이션 환경 검증
 - 1. 검증 환경
 - 2. 검지기정보재처리 모듈검증
 - 3. 녹색현시배분 모듈검증
 - VI. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : Simulation Model, COSMOS, NETSIM, 실시간 신호제어시스템, WATSIM

요 약

실시간 신호제어시스템은 현장의 교통정보를 수집하여 교통상황에 맞게 자동으로 신호제어를 수행하는 시스템이다. 그러나 현재까지 국내의 실시간 신호제어시스템인 COSMOS를 적절하게 모의실험 할 수 있는 미시적 시뮬레이터가 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 세계적으로 널리 사용되고 있는 미시적 시뮬레이션 모형인 NETSIM모형을 기반으로 하여 COSMOS 시스템을 평가할 수 있도록 통합 시뮬레이션 환경을 개발하였다. 본 논문은 COSMOS 평가시뮬레이터의 모듈 중에서 모의 실험환경 내에서 차량의 이동에 따라 실시간으로 검지기 정보를 추출해내는 모듈과 주요 신호변수 중 하나인 COSMOS 녹색현시배분알고리즘모듈을 제시하였다. 개발된 평가시뮬레이터 내의 정보흐름 정확성을 평가해본 결과, 연산과정 및 정보흐름이 정확한 것으로 확인되었다. 그리고 개발된 시뮬레이터를 개선하기 위한 향후과제들을 논문의 마지막에 제시하였다.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

서울시는 실시간 교통대응 신호제어시스템인 COSMOS(Cycle, Offset, Split Model for Seoul)을 1991년에 개발을 시작하여, 지속적인 시스템 기능개선사업을 통하여 COSMOS시스템의 기능적 안정화를 이루었으며 이는 운영효과를 증진시키는 효과를 가져왔다. 현재 총 422개 교차로를 대상으로 COSMOS를 운영 중에 있으며 이를 더욱더 확대하여 운영할 계획을 갖고 있다.

현재까지 COSMOS와 관련되어 수행된 연구결과는 현장자료를 수집하거나 기존의 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 평가되었다. 실제로 COSMOS 시스템의 운영을 위해서는 워크스테이션급의 장치를 갖추어야 하며, 일반 컴퓨터 환경에서는 운영이 이루어지지 않는 한계성을 가지고 있다. 그러므로 COSMOS 시스템 개선을 위한 환경이 제약받고, 이는 시스템의 개선주기를 지연시키는 결과로 나타났다.

미시적 시뮬레이터는 현장에서 일어날 수 있는 다양한 상황 및 위험요소를 사전에 평가하여, 현장상황에 더 안정적이고 효율적인 신호제어 알고리즘을 개발하여 적용할 수 있는 도구이다.

현재는 많은 연구과정에서 미시적 시뮬레이터 모형(NETSIM)을 이용하여 신호제어 알고리즘을 평가하고 있다. 그러나 이를 이용하여 실시간 교통대응 신호제어전략을 평가하는 데는 한계가 있다. NETSIM은 교통상황 변화에 따른 신호제어를 하는 것이 아닌 신호제어에 따른 교통상황의 변화만을 확인 할 수 있기 때문이다.

본 연구는 COSMOS 시스템을 일반 컴퓨터 환경에서 기존의 미시적 시뮬레이션 프로그램과 연계하여 평가할 수 있는 환경을 개발하여 제시하고자 한다. 본 연구에서 제시하고 있는 실시간 미시적 시뮬레이터 환경은 WATSIM을 사용하였으며, 이를 실시간 교통대응 제어알고리즘인 COSMOS를 대상으로 한 시뮬레이터 환경을 개발하였다.

2. 연구의 범위

본 연구에서 사용된 미시적 시뮬레이터 WATSIM은

NETSIM의 모형과 동일한 Data Base, I/O Processing을 가지며, Toll Plaza Modeling과 LRT Modeling 등과 같은 기능을 추가 시킨 미시적 시뮬레이터이다(KLD, 1996). 본 연구의 검증 범위에서 미시적 시뮬레이터는 세계적으로 가장 널리 검증이 된 NETSIM모형을 사용하였으므로 이에 대한 검증은 제외되었다.

본 연구에서는 미시적 시뮬레이터와 COSMOS 프로그램간의 인터페이스 방법 및 기본 구조를 제시하였으며 미시적 시뮬레이터와 COSMOS 시스템간의 인터페이스를 위하여 미시적 시뮬레이터에서 발생하는 검지기정보 형태와 COSMOS시스템에서 요구하는 검지기정보 형태에 대한 기초 연구를 통하여 두 시스템의 한계와 요구조건을 모두 만족하도록 하였다. 즉, COSMOS 검지기체계 및 각 검지기 종류별 수집정보를 최대한 고려하여 미시적 시뮬레이터 내에 가상의 검지기를 매설하여 COSMOS 검지기정보와 유사한 정보를 가공하기 위한 '검지기정보재처리 모듈'을 개발하여 제시하였다. 또한 개발 시뮬레이션 환경의 안정성 및 정보흐름의 정확성을 검증하기 위하여 '검지기정보재처리 모듈'과 '녹색현시배분 모듈'에 대한 검증과정을 일부 제시하였다.

II. 기존 연구 및 개발 사례 고찰

실시간 시뮬레이터 환경에 대한 개발은 현재 국내외적으로 활발히 진행이 되고 있다. 따라서 본 장에서는 실시간 시뮬레이터 환경의 국내외 개발 사례 및 현황을 고찰해보고자 한다.

1. HILSS

HILSS(Hardware-In-Loop Simulation System)는 실제 Hardware 부분을 대체하여 시뮬레이션하는 것이다. 이는 수년 동안 우주항공 및 방위산업 분야에 이용되어 왔으며, 이 시스템을 교통분야에 응용한 것은 비교적 최근의 연구이다. 1995년 처음으로 텍사스주립대 교통연구소의 Urbanik과 Venglar가 HILSS를 근간으로 하여 실시간 교통류 시뮬레이션을 포함하는 SMART 다이아몬드 시스템을 구축하였고 1998년 Louisiana대학의 Bullock과 Catarilla는 FHWA의 지원으로 HILSS를 기본으로 신호시스템

을 평가하는 실시간 시뮬레이션 환경을 구축하였다 (정준하, 2001). 우리나라의 경우는 도로교통안전관리공단에서 신호제어기(Local Computer)의 성능시험과 안정성 시험 등을 평가할 수 있는 시뮬레이션환경(KHILLS)을 구축하여 신호제어기 검수에 활용하고 있으며, 더 나아가 실시간 신호제어알고리즘을 평가하기 위한 시뮬레이터 환경에 대한 개발 중에 있다 (도로교통안전관리공단, 2000).

2. 실시간 시뮬레이터 원형 개발

서울시립대 도시과학연구원에서 개발한 XSIM은 0.1 초 단위로 시뮬레이션이 수행이 되며 미시적 모형인 차량발생, 신호반응, 차량추종, 차로변경 모형 등을 개발하여 미시적 시뮬레이터 원형을 개발하였다. 여기에 현재 국내의 실시간 교통대응 신호제어시스템인 COSMOS를 탑재하였다. XSIM은 현재 미시적 시뮬레이터 원형에 대한 추가적인 검증이 요구되고 이에 따른 검증 및 개발노력이 필요하다(한동희, 2002).

3. CORSIM의 Run-time Extension

FHWA는 CORSIM을 수정하여 다른 외부모듈이 시뮬레이션 내부에서 발생이 되는 일부 DATA BASE에 접근이 가능하도록 만들었다(FHWA, 1998). 이는 CORSIM의 확장성을 높이기 위하여 교통대응 신호제어 알고리즘의 개발 및 평가를 가능하도록 하였다. 이를 이용하여 이미 RHODES, OPAC, GASCAP, SCOOT 등이 CORSIM 시뮬레이터 환경 내에서 Run-time extension 환경을 이용하여 개발되었다(Hansen, 2000). 이는 세계적으로 널리 검증받고 있는 NETSIM을 기반으로 하기 때문에 시뮬레이터 모형에 대한 추가적인 검증이 필요 없으며, 실시간 교통대응 신호제어알고리즘에 대한 검증과 인터페이스에 대한 검증만을 통하여 시뮬레이션 환경을 구축할 수가 있다.

III. COSMOS 평가 시뮬레이션 환경 개발

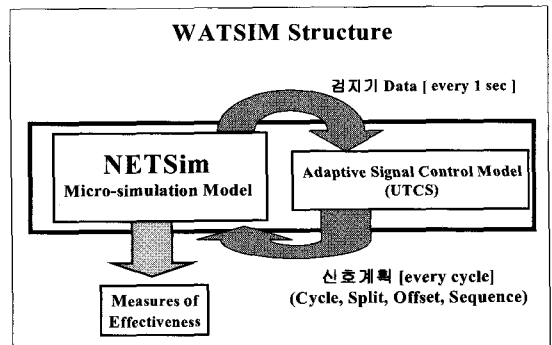
앞장에서 언급한 것과 같이 10년 이상 개발되어 운영되고 있는 서울시 실시간 신호제어시스템을 적절하게 모의 실험할 수 있는 모의실험도구가 없는 실정

이다. 따라서 본 연구에서는 PC 환경에서 미시적 시뮬레이터와 COSMOS 시스템을 통합한 모의실험환경을 개발하였다.

본 장에서는 COSMOS 평가 시뮬레이션 환경의 기본 구조를 제시하도록 한다.

1. WATSIM 개요

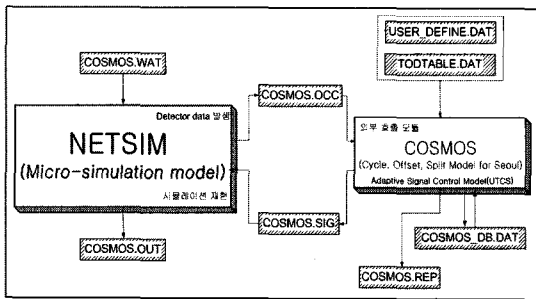
WATSIM(Wide Area Traffic Simulation)은 널리 사용하고 있는 미시적 시뮬레이터인 NETSIM을 기반으로 개발되었다. 이는 NETSIM의 주 개발 업체인 미국의 KLD회사에서 NETSIM의 모형, Data Base, I/O Processing 등을 기반으로 하여 기존의 단속류(신호교차로)뿐만 아니라 연속류(고속도로), 램프 등을 혼합하여 시뮬레이션 환경을 구성할 수 있도록 만든 시뮬레이터이다. 또한 HOV, toll plaza model, LRT model, real-time signal control 등과 같은 기능을 추가 및 수정하여 상업용으로 만든 미시적 시뮬레이터이다(KLD, 1996). 즉, <그림 1>과 같이 WATSIM은 실시간 교통대응 신호제어가 가능할 수 있도록 검지기자료와 신호 테이블 코드를 외부의 별도 신호제어 모듈과 연계할 수 있는 구조로 되어있다.



<그림 1> WATSIM UTCS지원기능

2. COSMOS 평가 시뮬레이터 기본구조

본 연구에서 개발한 COSMOS 평가 시뮬레이터는 <그림 2>에 제시된 바와 같이 크게 2개의 프로세스가 독립적으로 운영되는 구조로 구성되어있다. 그리고 각각의 프로세스는 상호 인터페이스 형태로 서로 간에 파일 입출력 방식을 취하고 있다.



〈그림 2〉 COSMOS 평가시뮬레이터 기본 구조

위의 그림에서와 같이 COSMOS 평가시뮬레이터의 구성을 살펴보면, 크게 3가지 단계로 구분된다.

- 첫째, NETSIM에 의해서 차량이 발생되고, 이들 차량들의 움직임으로 검지기 정보를 추출해낸다.
- 둘째, 수집된 검지기 정보는 COSMOS프로그램으로 보내져 주기, 현시, 율셋, 현시순서 등을 계산하여 미시적 시뮬레이션 모형의 신호계획 테이블을 수정하게 된다.
- 마지막 단계로 미시적 시뮬레이션 모형은 수정된 신호계획 테이블에 따라 신호등을 구동하여 시뮬레이터 안의 차량들의 움직임을 제어한다. 즉, COSMOS 시뮬레이터는 시뮬레이터 내의 검지기에서 수집된 자료를 이용하여 실시간 신호제어를 자동으로 계획하는 환경을 구축하고 있다.

IV. COSMOS 평가시뮬레이션 주요 개발사항

앞 장에서는 제시한 바와 같이 COSMOS 평가시

뮬레이션 환경은 외국의 시뮬레이터 개발업체로부터 NETSIM의 검지기정보 발생로직에 대한 주요 소스와 DB의 일부 소스를 제공받아 COSMOS 환경에 적합한 20ms 단위의 검지기정보를 발생시키도록 개발하였으며 이를 기반으로 NETSIM과 COSMOS 시스템의 실시간 통합모의실험환경을 구축하였다. 본 장에서는 본 모의실험환경의 주요 개발사항인 검지기 관련 개발사항과 COSMOS 프로그램의 정보흐름에 대해서 제시하도록 한다.

1. 시뮬레이터 내 검지기관련 개발사항

기존의 미시적 시뮬레이터 내 가상의 검지기에서 발생하는 검지기 정보와 COSMOS 검지기에서 수집되는 검지기 정보는 정보수집주기, 통신시점, 매설 가능한 검지기수량 등 다양한 차이점이 존재하고 있었다. 이러한 검지기 정보와 같은 기초 정보에서 나타나는 차이로 인하여 신호제어 모형에 의해서 나온 결과 값에 큰 영향을 미칠 가능성이 높다. 따라서 본 COSMOS 평가 시뮬레이터 환경 개발에 있어서 우선적으로 가상의 검지기에서 발생하는 정보와 이를 통하여 1차 가공되는 정보들을 현장의 COSMOS 검지기에서 수집되는 정보와 가능한 유사하게 만드는데 중점을 두어 실제와 유사한 검지기 정보를 발생하도록 만들었다.

〈표 1〉은 본 시뮬레이터의 검지기관련 개발 사항을 정리한 것이다.

〈표 1〉에서와 같이 기존의 1초단위로 검지기정보

〈표 1〉 검지기 관련 개발사항 정리

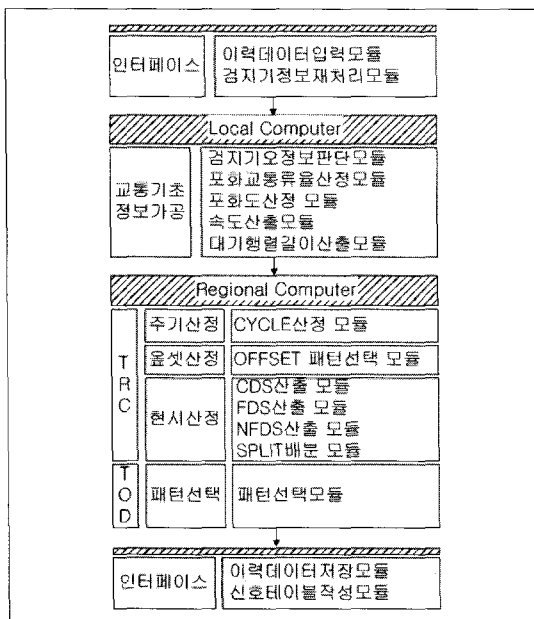
항목	현황 분석		COSMOS 평가 시뮬레이션 개발사항 및 수정사항
	COSMOS 검지기정보	WATSIM 검지기 정보	
수집 주기	20ms (0.02초)	1초	10ms(0.01초)
수집 정보	차량대수, 점유시간(sec)	차량대수, 점유율(%)	차량대수, 점유시간(sec)
통신 시점	각 교차로의 주기 끝단	고정되어있지 않음	각 교차로의 주기 끝단
교통량	'ON' -> 'OFF'로 될 때 한대	'ON' -> 'OFF'로 될 때 한대	.
점유 정보	20ms 단위로 event call	1 sec 단위로 점유율(%) 제공	20ms 단위로 event call
검지기 형태	32각(4M×1.2M) 원형(반지름:0.9m)	사각형 폭 : 도로 폭으로, 길이 : 4ft(1.2m)(수정 가능)	사각형 폭 : 도록 폭으로, 길이 : 3ft(0.9m)(수정가능)
차량 실 검지 영역	차량의 앞측~뒷측	차량의 앞범퍼~뒷범퍼	차량의 앞측~뒷측
검지 기수	교차로 당 32개의 검지기 매설 가능	각 이동류 당 1개(총 8개)	교차로 당 40개의 검지기 매설 가능

가 발생되던 것을 0.01초 단위의 정보수집이 가능하도록 프로그램 내 스캐닝주기의 변경 및 시뮬레이터의 DB를 수정하였다. 이에 따라 미세한 시간간격의 차량 움직임을 검지기에서 수집하여 개별차량 점유시간과 비점유시간 등의 추출이 가능하도록 개발하였다. 이러한 개별차량의 검지정보를 이용하여 COSMOS 시스템이 요구하는 주기단위의 비점유시간, 교통량 등을 제공하는 인터페이스환경을 구축하였다. 그리고 실제 현장과 같은 패턴의 개별차량 간 비점유시간을 얻기 위하여 차량의 실검지 영역에서도 프로그램내의 검지기 발생로직의 소스프로그램을 수정하여 시뮬레이터내의 차량의 앞바퀴 위치에서 검지를 시작하여 차량의 뒷바퀴위치에서 검지를 완결하도록 검지기 발생로직을 수정하였다.

2. COSMOS 프로그램

본 개발환경내의 COSMOS 프로그램은 <그림 3>과 같은 구조로 구성되어있다.

미시적 시뮬레이터의 검지기 정보를 제공받아 1차 가공하여 Local Computer 모듈에 보내어 교통정보를 포화도, 속도, 포화교통류율 등의 2차 정보로 가공하고 이를 다시 Regional Computer 모듈로 보내어 신호제어 변수를 산출한다. 여기서 만들어진 신호



<그림 3> COSMOS 프로그램 구조

제어 변수는 다시 미시적 시뮬레이터와 연계된 신호 테이블을 수정하게 된다.

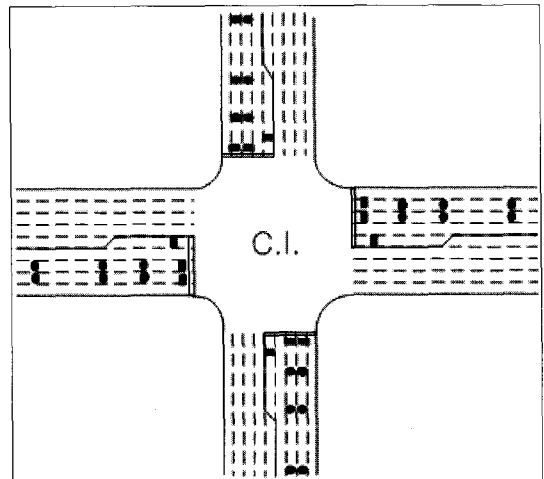
V. COSMOS 평가 시뮬레이션 환경 검증

앞장에서 COSMOS 평가 시뮬레이터의 개발 기본 구조와 인터페이스 환경들에 대하여 기술하였다. 본 장에서는 각 모듈 별 정보흐름의 정확성 검증하기 위하여 '검지기정보 재처리 모듈'과 '신호현시배분 모듈'에 대하여 개발시뮬레이션과 Excel을 이용하여 검증을 실시하였다.

1. 검증 환경

1) 기하구조

본 개발 시뮬레이터 평가를 위해서 가상의 독립교차로를 구현하였으며, 본 독립교차로는 중요교차로(C.I.)와 같은 수준으로 검지기를 매설하였다. <그림 4>는 기하구조와 검지기 매설 환경이다.



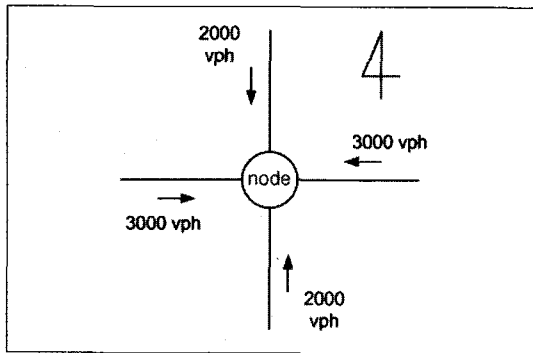
<그림 4> 독립교차로 기하구조

2) 유입교통량

현시배분알고리즘을 검증하기 위하여 동서방향의 접근로와 남북방향의 접근로의 입력 교통량을 <그림 5>와 같이 입력하였다.

3) 초기 운영 현시

<그림 6>은 초기운영현시로 좌회전은 모두 20초로 직진은 모두 50초로 설정을 하였다.



〈그림 5〉 입력 교통량

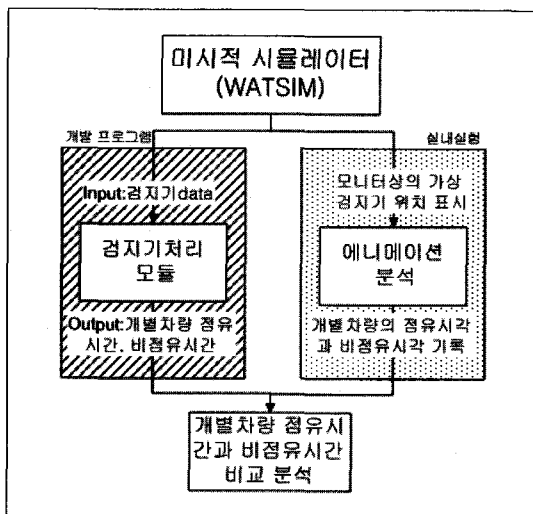
20sec	50sec	20sec	50sec
20sec	50sec	20sec	50sec

〈그림 6〉 초기 운영 현시 및 현시순서

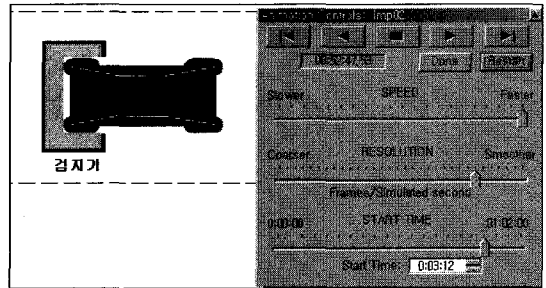
2. 검지기정보재처리 모듈검증

1) 검증 방법

미시적 시뮬레이터에서 발생하는 검지기정보를 COSMOS 시스템이 인식할 수 있는 정보로 바꾸는 검지기 정보 재처리 모듈에 대한 검증방법은 〈그림 7〉에 제시되어 있다.



〈그림 7〉 검증 과정 및 방법



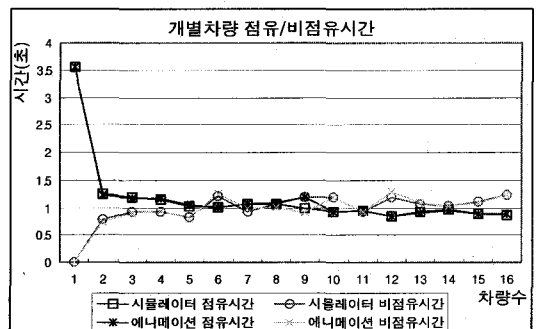
〈그림 8〉 애니메이션 화면

우선 시뮬레이터에서 생성되는 가상의 검지기정보를 '검지기정보 재처리 모듈'을 통하여 개별차량의 점유 시간과 비점유시간을 수집하고 미시적 시뮬레이터 (WATSIM)에서 지원하는 애니메이션 기능을 활용하여 비디오분석과 같은 방식으로 분석하였다. 〈그림 8〉은 시뮬레이터의 애니메이션 화면이다.

미시적 시뮬레이터 내에 매설한 가상의 검지기의 위치와 크기를 모니터위에 표시한 후, 위를 지나가는 차량의 검지시작시점과 검지끝시점을 애니메이션으로 비디오분석과 같은 방법으로 조사를 하였다. 애니메이션 기능은 3/100 sec까지 시뮬레이션 재생이 가능하다. 이를 통하여 가상의 검지기 위를 지나는 개별 차량의 점유시간과 비점유시간을 측정하였다. 조사된 각 시각의 차이를 구하여 개별차량의 점유시간과 비점유시간을 산출하였다. 이렇게 해서 산출된 개별차량들의 점유시간과 비점유시간들을 비교하였다.

2) 검증결과

〈그림 9〉는 '검지기정보재처리모듈'에서 산출한 값과 애니메이션으로부터 관측한 값을 비교한 것이다. 시뮬레이션 시간동안 애니메이션을 통하여 분석한 것과



〈그림 9〉 개별차량 점유/비점유시간

본 개발 프로그램에서 나온 것과 거의 유사함을 볼 수가 있다. 그러나 일부차량들에서 약간의 오차가 존재하였으며, 이는 개발프로그램은 1/100sec 단위의 점유시간을 사용하여 점유/비점유시간을 산출하지만, 애니메이션은 3/100sec 단위의 프레임 재생이 가능함으로 여기서 발생된 오차로 여겨진다.

3. 녹색현시배분 모듈검증

1) 검증 방법

COSMOS프로그램이 적절히 작동을 하는지를 검증하기 위하여 주요 신호제어변수 중, 하나인 녹색현시배분 모듈을 검증하였다. 이를 검증하기 위하여 Excel 프로그램을 이용하여 COSMOS 녹색현시배분 모듈을 작성하였으며, 이를 본 COSMOS 평가 시뮬레이터에서 산출된 값과 상호 비교하였다. 초기 3주기 동안은 동일한 현시로 시뮬레이션을 하였으며, Excel 프로그램과 동일한 포화도(DS) 값을 기반으로 예측포화도(Forecasted DS, FDS)와 최소녹색시간, 최대녹색시간, 최소배리어폭 등을 동일하게 입력하였다. 또한 녹색현시배분만을 검증하기 위하여 신호주기를 140초로 고정시켰다.

2) 검증 결과

〈표 2〉는 각 접근로별 직진 현시들을 나타낸 것이다. '시뮬레이터'는 COSMOS 평가시뮬레이터에서 계산된 신호현시값이고 "Excel"은 Excel에서 계산된 값이다. 검증 결과, 두개의 프로그램에서 산출된 녹색현시배분값은 매 주기 동일하게 산출되었다. 이를 통하여 녹색현시배분모듈은 프로그램 상의 문제는 없으며 정보의 흐름 또한 동일하게 진행이 되고 있음을 확인하였다.

VI. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 검증된 미시적 시뮬레이션 모형을 기반으로 한국의 실시간 교통대응 신호제어시스템인 COSMOS를 평가할 수 있는 환경을 일반 PC를 실험환경으로 하여 개발하였다는데 의의가 있다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 세계적으로 가장 많이 사용되고 널리 검증된 NETSIM

〈표 2〉 녹색현시배분 모듈 검증

주기	시뮬레이터				Excel			
	EB	WB	NB	SB	EB	WB	NB	SB
1	71	46	65	46	71	46	65	46
2	69	46	53	57	69	46	53	57
3	78	46	70	46	78	46	70	46
4	78	46	64	46	78	46	64	46
5	72	57	53	46	72	57	53	46
6	66	46	51	46	66	46	51	46
7	71	46	44	46	71	46	44	46
8	75	46	45	46	75	46	45	46
9	83	46	67	46	83	46	67	46
10	83	46	61	46	83	46	61	46
11	81	46	75	46	81	46	75	46
12	83	46	69	46	83	46	69	46
13	83	46	65	46	83	46	65	46
14	82	46	52	46	82	46	52	46
15	81	46	61	46	81	46	61	46
16	80	46	80	46	80	46	80	46
17	81	46	68	46	81	46	68	46
18	79	46	79	46	79	46	79	46
19	77	46	77	46	77	46	77	46
20	77	46	77	46	77	46	77	46
21	80	46	58	46	80	46	58	46

모형을 기반으로 COSMOS 시스템을 평가할 수 있도록 PC내에 직접 COSMOS 프로그램 코딩하여 인터페이스를 하였다.

- 미시적 시뮬레이터에서 발생하는 검지기정보에 대한 기초 연구와 COSMOS 시스템에서 요구하는 검지기 정보에 대한 기초연구를 통하여 시뮬레이터와 COSMOS 시스템의 정보가 유사하도록 '검지기정보재처리 모듈'을 개발하였다.
- 개발된 모듈에 대하여 애니메이션과의 검증결과 수집되는 정보가 유사하게 나타났다.
- COSMOS 프로그램 중 녹색현시배분 알고리즘이 적절히 프로그램밍되어 수행되는지를 살펴본 결과, 동일한 신호현시배분 결과를 제공하였다.

본 연구는 COSMOS 평가 시뮬레이터의 개발 초기과정으로 향후 다음과 같은 연구를 추가적으로 수행할 예정이다.

- 2개 이상의 제어그룹(S.A.)을 대상으로 시뮬레이션 검증
- 현장의 자료를 기반으로 COSMOS 프로그램 내부의 각 모듈을 검증
- 과포화제어모듈 탑재 및 검증
- COSMOS 프로그램 내의 운영자 설정값에 대한 보정
- 다양한 교통상황 재현을 통한 검증

참고문헌

1. 서울지방경찰청(1991), "서울시 교통신호제어 시스템 개발 연구 용역 1차년도 결과 보고서".
2. 서울지방경찰청(2000), "2000년 신신호시스템 기능개선".
3. 장진일(2000), "Formulation of a Real-time control policy for Oversaturated Arterials", Ph. D., Dissertation, Polytechnic University.
4. 도로교통안전관리공단(2000), "교통신호제어시스템 성능검사 및 평가 시뮬레이터 개발(2단계 -제작 및 사례적용)".
5. 이영인·김이래(2001), "교통대응 신호제어전략의 평가를 위한 미시적 시뮬레이터의 원형 개발", 대한교통학회지, 제19권 제6호, 대한교통학회, pp.143~160.
6. 정준하·하동익·이돈주(2001), "교통신호제어시스템 성능평가 시뮬레이션 시스템 개발", 대한교통학회지, 제19권 제5호, 대한교통학회, pp.71~83.
7. 한동희(2002), "첨단 신호시스템의 신호제어전략 평가를 위한 미시적 시뮬레이터의 개발, 석사학위논문, 서울시립대학교, pp.81~83.
8. KLD Associates(1996), WATSIM : Wide-Area Traffic Simulator User's Guide, pp.1~13.
9. Black G. Hansen(2000), "SCOOT Real-Time adaptive control in a CORSIM Simulation Environment", Transportation Research Board 78th Annual Meeting January 9-13, Washington, D. C.
10. Federal Highway Administration(1998), "Traffic Software Integrated System Version 4.2 User's Guide".
11. ITS(2000), SMARTTEST: Final Report for Publication, Institute for Transport Studies, University of Leeds, Leeds, U. K.

☞ 주 작 성 자 : 송성주

☞ 논문투고일 : 2003. 11. 15

논문심사일 : 2004. 3. 11 (1차)

2004. 4. 7 (2차)

심사판정일 : 2004. 4. 7

☞ 반론접수기한 : 2004. 8. 31