

교통대응 및 감응 신호제어 방식의 평가에 관한 연구

-CORSIM RTE를 이용하여-

Study for evaluating traffic-adaptive and traffic-responsive signal control method

안형준

(서울대학교 환경대학원 석사과정, y5645@hanmail.net)

이영인

(서울대학교 환경대학원 교수, yilee@snu.ac.kr)

Key Words : 교통대응신호, 좌회전 감응신호, CORSIM RTE

목 차

I. 서론

1. 연구의 배경 및 필요성

2. 연구의 목적

II. 선행연구 고찰

III. 신호시간 결정 및 평가 방법론

1. CORSIM RTE

2. 교통대응 및 감응 신호시간 결정

3. 정주기(TOD) 신호시간 결정

IV. 모형의 적용

1. 모의상황 설정

2. 결과 분석

V. 결론 및 향후과제

1. 결론

2. 연구의 한계 및 향후과제

참고문헌

I. 서론

1. 연구의 배경 및 필요성

교차로 신호제어는 초창기 정주기식 신호제어로 시작하였다. 이후 1978년 교통관제센터의 설립으로 과학적인 교통신호 운영이 중요시 되었으며, 이때부터 연동제어개념이 도입되었다.

이후 검지기를 이용한 신호제어방식으로 패턴선택형 제어방식이 실시되었고 교통신호제어방법은 연동제어개념을 중심으로 하는 정주기식 신호제어방식으로 운영되었고 이를 1세대형 신호제어방식이라고 한다.

다음으로 2세대형 신호제어방법인 교통대응신호제어(Traffic adaptive signal control) 방식의 도입이 제기되었고 1991년부터 1993년까지 3년간에 걸쳐 교통신호제어기술과 전자통신 기술을 접목시켜 새로운 신호제어시스템인 "신신호시스템"을 개발하여 1997년부터 시범운영하였다. 이는 2001년 5월 "실시간 신호제어시스템"으로 개칭하고, 영문명칭을 "COSMOS (Cycle, offset, split model of seoul)"로 정하였다. COSMOS는 SCOOT(영국), SCATS(호주), UTOPIA(이탈리아), OPAC(미국) 등의 외국 교통신호시스템보다 다소 늦게 개발되었으나, 지속적인 현장실험 및 시범운영과 기능개선을 통하여 현재 적합한 신호제어시스템으로서 자리잡아가고 있는 실정이다. 이러한 과정에서 교통대응 및 감응 신호제어 방식에 대한 효과성의 평가가 중요한 쟁점으로 제기되었다.

2. 연구의 목적

현재 각 교차로에서의 교통신호제어방식은 정주기식 신호제어 방식과 교통대응 및 감응 신호제어방식이 사용되고 있다. 하지만 기존에 교차로 성능평가를 위해서 활용되는 T7F나 NETSIM등의 시뮬레이션 모형으로는 교통대응 및 감응신호제어의 구현이 불가능하다.

따라서 본 연구는 현재 사용 중인 교통대응 및 감응 신호제어방식과 정주기식 신호제어방식의 효과 평가를 위하여 CORSIM의 RTE (Run-time Extention)를 이용하여 교통대응 및 감응 신호제어 알고리즘을 프로그래밍하여 신호시간을 도출한다. 이후, RTE를 통해 도출된 신호시간을 시뮬레이션으로 넘겨준 후, 모의 네트워크에 적용하여 그 효과를 정주기식 신호제어와 비교 평가하는데 목적이 있다.

II. 선행연구 고찰

"교통대응 신호제어 방식 평가모형 개발에 관한 연구(2001)"는 서울 시립대에서 2001년에 교통대응 신호제어 방식을 시뮬레이션 할 수 있는 모형을 개발한 것에 관한 연구이다. NETSIM을 통해 개발된 X-SIM 교통류 모형의 타당성을 검증한 이후 교통대응 신호제어 방식을 구현하여 시뮬레이션을 실행하였다. 이 연구는 모형개발에 초점을 맞춘 초기연구로서 갖는 의미가 크다.

"COSMOS 교통축 운영효율화 방안 연구(2002)"에서는 실제

로 운영되는 신호시간을 이미 확보하고 있는 상태에서 주방향과 부방향에 대한 offset을 조절하여 효과성을 NETSIM으로 평가하였다. offset의 변화에도 신호시간의 변화는 없는 것으로 가정한 연구이다. 실제 운영되는 교차로에서 현장 신호자료를 가지고 연구하였다는 의의가 있다.

“S-TRAC에 의한 신호제어 효과에 관한 연구(1997)”는 교통대응 신호제어 기법이 단일 교차로 위주로 신호 최적화를 유도하고 있다는 한계를 지적하면서 유전 알고리즘을 도입하여 시스템 전체를 고려한 모형으로 S-TRAC라는 방식의 신호 제어 기법을 제안하고 있다. 모형의 적용결과 S-TRAC의 제어방식이 정주기식 신호제어방식보다 전체 10%정도의 네트워크 대기시간을 절감시킨 것으로 나타났다.

“미국 South Lyon 시에서의 SCAT 제어의 평가연구(1999)”는 1999년에 실시간 교통대응 신호제어 하에서 교차로 지체분석을 실시한 연구로서, 분석방법은 시뮬레이션 모형의 개발을 통한 방법이고, 대상지역은 Oakland County 남부구석에 위치한 South Lyon 시였다.

이 연구의 결과로는 첫째, SCAT은 연구자가 설정한 Pattern selection 방식에 비해 평균지체가 더 높게 나타났다. 둘째, SCAT이 접근지체를 이동류별로 평균적으로 배분하여 교통량이 높고 낮은 각각의 이동류 간의 지체차이를 감소시킨다는 것이다.

III. 신호시간 결정 및 평가 방법론

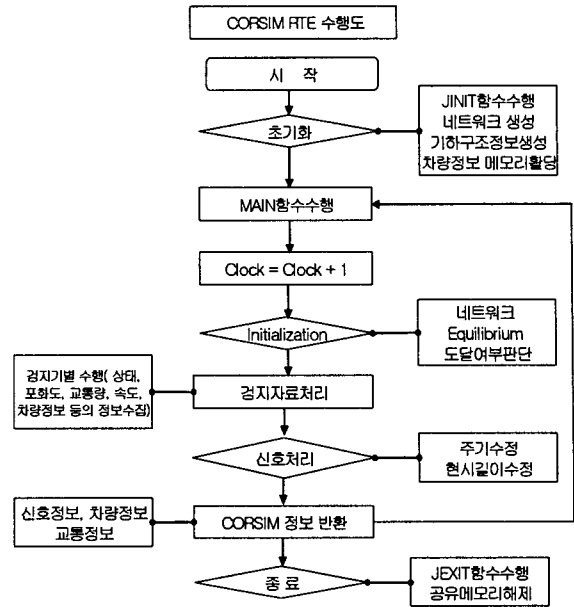
1. CORSIM RTE(Run - Time Extention)

RTE는 CORSIM과 직접연결 가능한 외부모듈로서 CORSIM의 내부 메모리와 함수를 공유함으로써 Simulation이 가능하게 하는 .dll(dynamic - link library) 모듈이다.

RTE는 기존에 제공된 신호제어 알고리즘 외에 새롭게 개발된 신호제어 알고리즘을 현장에서 평가하기 전에 시뮬레이션 상에서 구현하여 평가하고자 하는 경우 이용된다. 또한 기술의 급격한 발달로 인하여 새로운 모형을 적용하고 평가하고자 하는 경우에 이용된다.

RTE 모듈의 구동은 시뮬레이션을 수행함에 있어 매 time_step마다 CORSIM ⇒ RTE 모듈 ⇒ CORSIM을 수행함으로써 RTE에서 수행한 함수나 변수의 결과를 CORSIM에 제공하면서 시뮬레이션을 수행하도록 한다.

CORSIM RTE의 알고리즘 수행도는 다음과 같다.



<그림 1> CORSIM RTE 알고리즘 수행도

2. 교통대응 및 감응 신호시간 결정

본 연구에서는 교통대응 및 감응 신호시간 결정을 위하여 <그림 2>의 알고리즘을 프로그래밍하여 구현하였으며 이를 RTE 모듈에 적용하였다.

1) 신호주기 결정

본 연구에서는 대상교차로의 최적신호주기를 구하기 위하여 Webster식을 사용하였다. 또한 알고리즘 수행도에서 Max C는 200초 Min C는 50초로 설정하여 그 사이에서 최적주기가 산출되도록 함으로써 너무 과도하거나 작은 값이 도출되지 않도록 하였다.

2) Barrier와 현시시간 결정

Barrier와 각 이동류별 현시는 그 값이 상식적이고 합리적인 값을 취하도록 하기 위하여 각각 Min 값 및 Max 값을 설정한다. 우선 Barrier의 경우 Min Barrier는 0.3, Max barrier는 0.7로 설정하여 이 사이에 Barrier값이 들어오도록 하였다. 이동류별 현시의 경우, 회전이동류의 Min g는 10초, 직진 이동류의 Min g는 15초로 설정하였다.

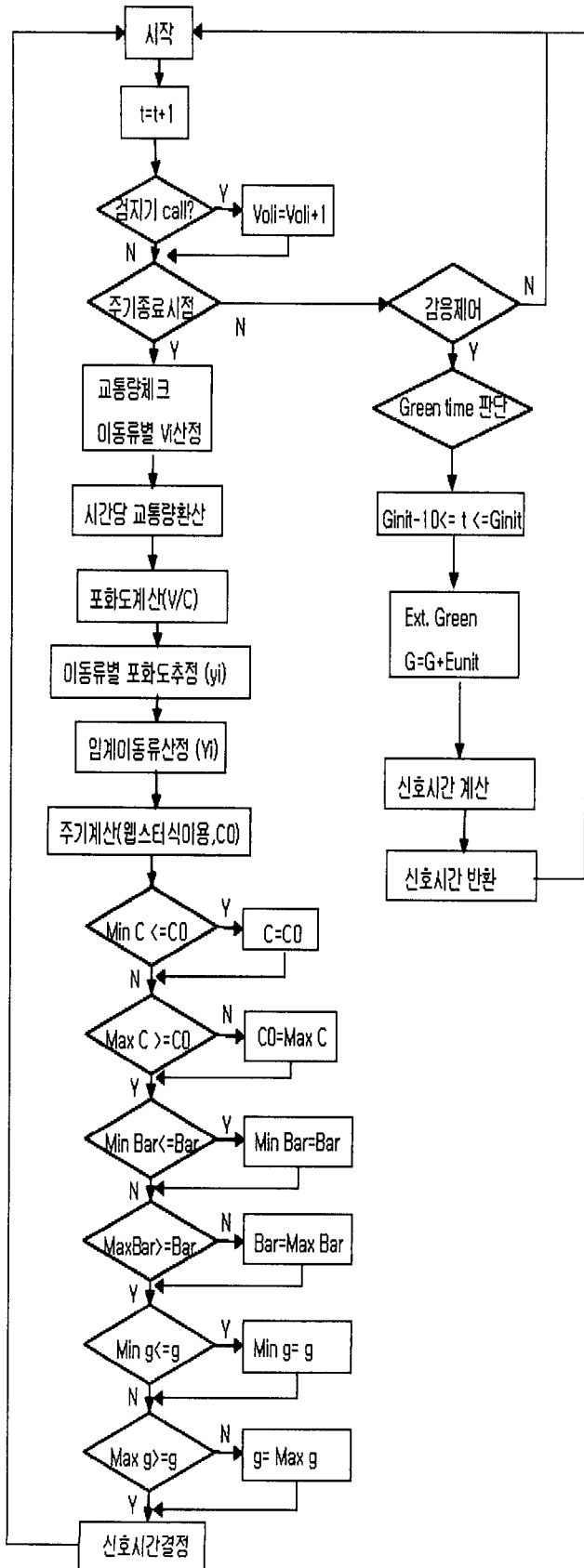
3) 좌회전 감응제어

좌회전 감응제어는 좌회전 검지기에서 좌회전 교통류의 상태를 파악하여, 좌회전 수요가 없으면 현시를 종결시켜 남은 시간을 다른 시간의 교통류가 이용하게 하고, 반대로 좌회전 수요가 주어진 좌회전 녹색시간보다 많으면 녹색시간을 연장하는 기능이다.

본 연구에서는 좌회전 전용차로 후방에 검지기를 설치하여 좌회전 신호에 대하여 Green Extention을 실시한다.

이는 Green time 종료10초전부터 Green time 종료

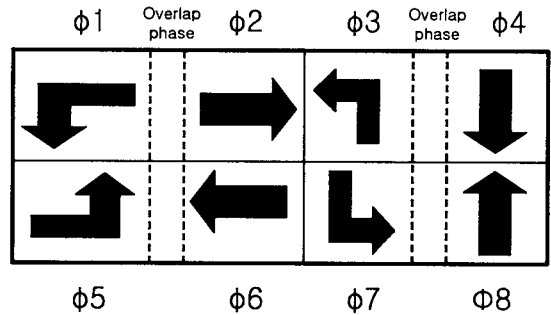
시까지 차량이 검지 시 Extention Unit 만큼 Green time을 연장시키는데 이때의 Extention Unit은 5초로 설정하였다.



<그림 2> 교통 대응 및 감응 신호제어 알고리즘 수행도

3. 정주기(TOD) 신호시간 결정

교차로의 신호는 Dual-Ring 형태로 부여하며, 최적 신호시간은 Transit-7F를 이용하여 산출한다. 현시운영 순서 및 변수 설정은 <그림 3>과 같이 한다.



<그림 3> Dual-Ring 신호주기

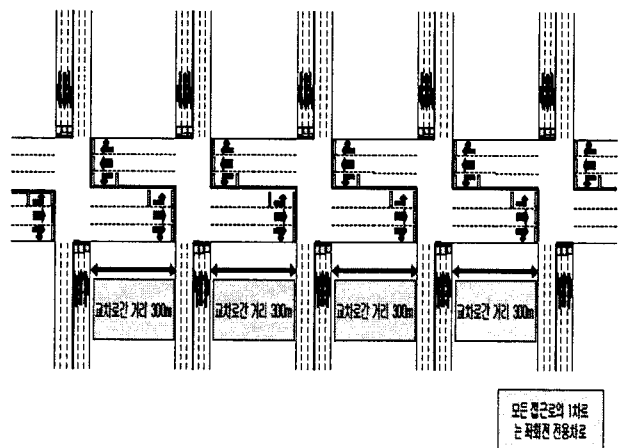
IV. 모형의 적용

1. 모의상황 설정

1) 모의실험 네트워크

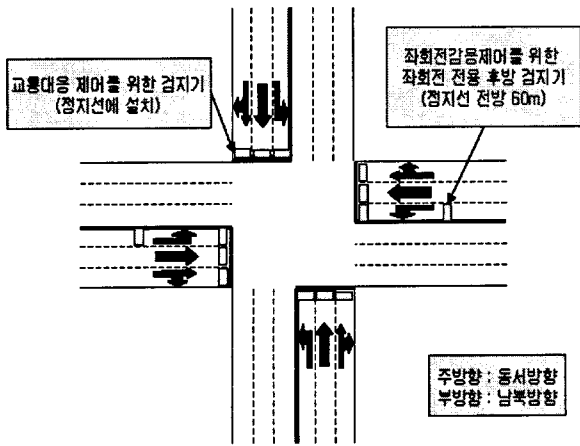
모의실험을 위한 네트워크는 다음의 그림과 같이 구성하였다.

- 기하 구조 : 주방향(동서방향) 3차로 / 부방향(남북방향) 3차로의 4지 교차로로서, 네트워크 도로조건은 이상적 조건으로 설정하였다. 각 이동류별 좌회전 전용차로 1개로 설정하였다.

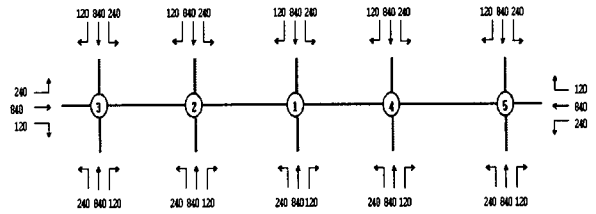


- 이동류 : 직진과 좌회전 이동류로 구성하며, 직진 70%, 좌회전 20%, 우회전 10%로 교통량을 구성하였다.

- 검지기 : 4지교차로 모든 접근로의 정지선에 검지기를 설치하였으며, 좌회전 감응 제어를 위하여 좌회전 전용차로 후방에 좌회전 전용 후방검지기(60m)를 설치하였다.



<그림 4> 모의실험 네트워크



<그림 7> 교차로 교통량 (V/C=1.0)

2) 시나리오 설정

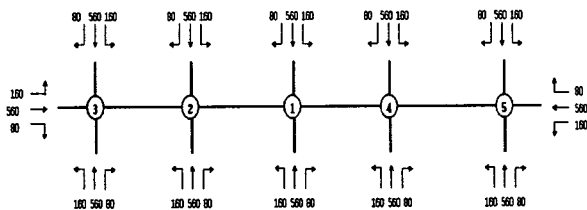
신호운영의 평가를 위해 다음과 같이 시나리오를 구성하였다.

<표 3> 시나리오 구성

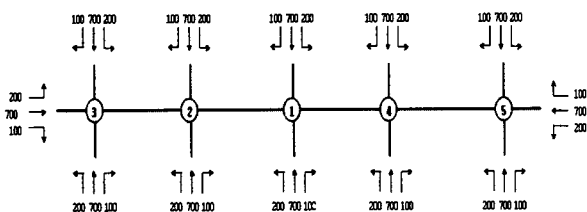
시나리오	신호시간 운영
1	TOD
2	교통량대응 + 좌회전 감응 신호제어방식

교통소통 상황별로 2가지 신호제어 기법의 효과성을 분석하기 위하여 교차로 교통량을 V/C를 기준으로 0.6, 0.8, 1.0의 3가지 경우로 나누어 분석을 실시한다.

시나리오별로 20Cycle에 대하여 시뮬레이션을 실시하여 결과를 도출하였으며 교통량 조건은 다음과 같다.



<그림 5> 교차로 교통량 (V/C=0.6)



<그림 6> 교차로 교통량 (V/C=0.8)

2) TOD 신호시간 결정

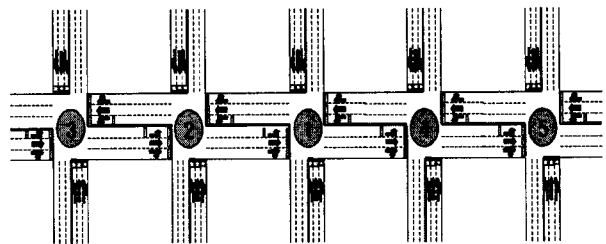
기본 신호 운영 방식을 TOD로 설정하고 최적 신호주기 및 녹색시간을 Transit-7F로 산정한 결과, 각 현시별 신호 시간 및 교통량은 <표 1>과 같다.

<표 4> 신호시간 및 교통량

구분	신호 시간(s)			
	g1,g5	g2,g6	g3,g7	g4,g8
V/C=0.6	12	18	12	18
V/C=0.8	16	24	16	24
V/C=1.0	34	56	34	56

※ 각 현시별 황색시간 3초 포함

2. 결과 분석



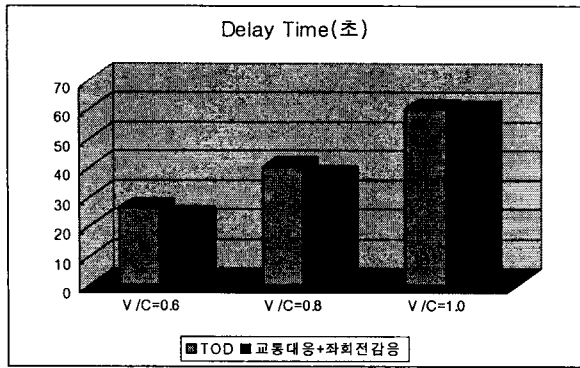
<그림 8> 모의실험 네트워크 5개의 독립교차로 구성도

1) 지체 시간

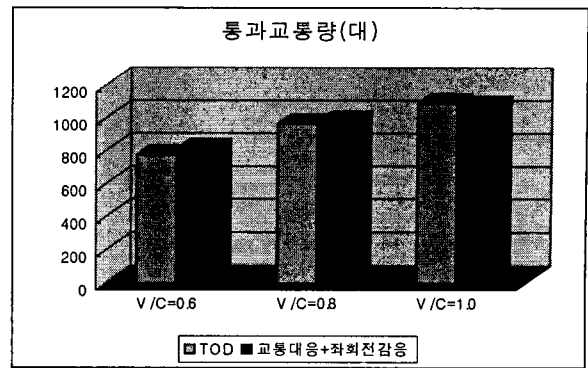
네트워크 전체의 V/C에 따른 delay time은 아래의 <표 3>과 같이 나타났다.

<표 5> Delay time(초)

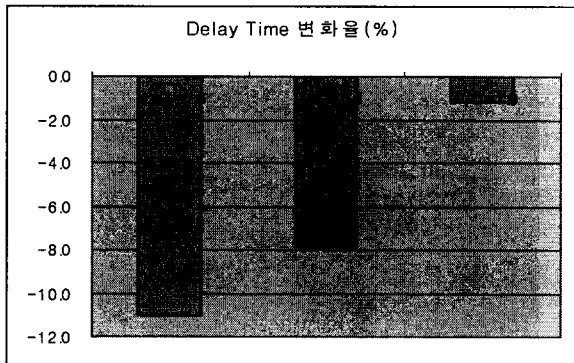
교차로	시나리오		변화율 %
	TOD제어	교통대응+좌회전감응제어	
V/C=0.6	26.4	23.5	-11.0
V/C=0.8	40.3	37.1	-7.9
V/C=1.0	60.2	59.5	-1.2



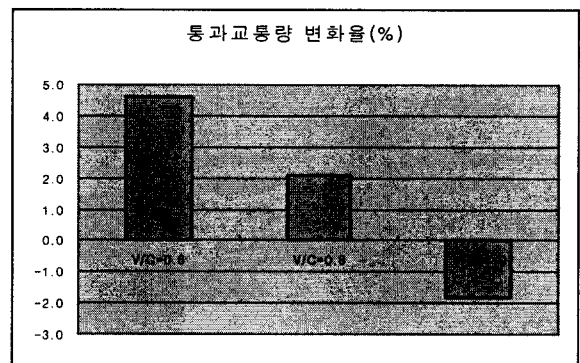
<그림 9 > Delay Time



<그림 11 > 통과교통량



<그림 10 > Delay Time 변화율



<그림 12 > 통과교통량 변화율(%)

교통 대응 및 좌회전 감응 신호제어 방식의 시뮬레이션결과 TOD 방식에 비해 전체 교차로에 대해서 지체시간 감소의 효과를 보였다.

하지만 V/C가 증가할수록 지체시간 감소폭이 줄어드는 것을 볼 수 있다.

이는 V/C가 높을수록 교차로의 전 접근로에서 대기하고 있는 차량의 수는 편차가 적어져 녹색시간 분할의 유동성이라는 측면 보다 Barrier 설정의 영향이 커지게 되었기 때문인 것으로 분석된다.

2) 통과교통량

네트워크 전체의 V/C에 따른 통과교통량은 아래의 <표 4> 과 같이 나타났다.

<표 6> 통과교통량(대)

교차로	시나리오		변화율 (%)
	TOD제어	교통대응+좌회전감응제어	
V/C=0.6	774	809.8	4.6
V/C=0.8	960	980.5	2.1
V/C=1.0	1089	1069.4	-1.8

교통대응 및 좌회전 감응신호제어로 인한 통과교통량은 V/C가 0.6, 0.8일 때 증가하며, 과포화 상황이라고 할 수 있는 V/C=1.0의 상황에서는 통과교통량이 오히려 줄어드는 것으로 분석되었다.

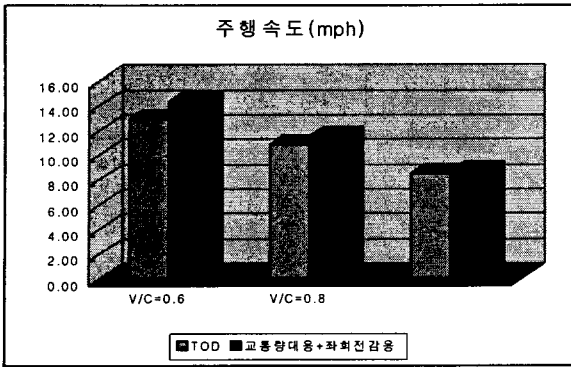
이를 통하여 교통량이 증가하게 되는 경우 교통대응 신호제어에 비해 정주기식이 보다 많은 통과교통량을 처리할 수 있다는 사실을 알 수 있다.

3) 주행속도

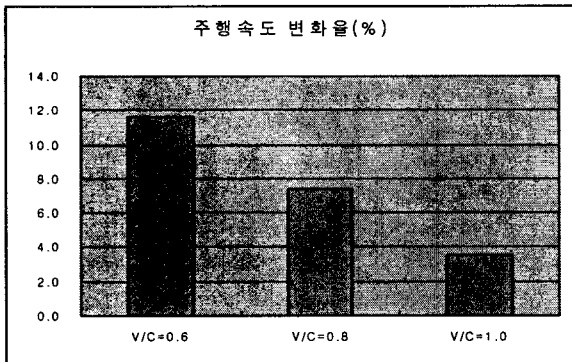
네트워크 전체의 V/C별 주행속도는 아래의 <표 5>와 같이 나타났다.

<표 7> 주행속도(mph)

교차로	시나리오		변화율 (%)
	TOD제어	교통대응+좌회전감응제어	
V/C=0.6	12.9	14.4	11.6
V/C=0.8	10.8	11.6	7.4
V/C=1.0	8.5	8.8	3.5



<그림 13> 주행속도



<그림 14> 주행속도 변화율

주행속도의 V/C별 분석결과를 앞서 분석한 지체시간 감소 효과와 연계해 보면, 지체시간의 감소는 주행속도의 증가로 이어지므로 위의 결과는 논리적으로 타당하다고 할 수 있다.

하지만 V/C가 증가할수록 주행속도의 증가폭은 감소하는 것을 볼 수 있다.

이는 앞서 지체시간 감소효과에서 언급한 효과 이외에 좌회전 감응제어의 영향도 크게 작용한 것으로 분석된다.

일반적으로 좌회전 감응제어는 좌회전 통행패턴의 변동이 심한 교차로에 적합한데, 교차로가 과포화 상황으로 갈수록 늘어나는 좌회전 수요에 Extention Unit을 제공함으로써 인해 주방향 직진 통과교통량 처리를 위한 신호가 불합리해 지기 때문이다.

V. 결론 및 향후과제

1. 결론

본 연구는 현재 우리나라의 신호교차로에 적용되고 있는 신호제어 방식인 “실시간 신호제어 시스템”의 효과평가가 필요성을 인지하고 이러한 신호제어방식의 평가가 기존의 교통 시뮬레이터에서 구현이 불가능하다는 것에 착안하여 시작하였다.

교통대응 및 감응 신호제어방식의 효과평가를 위해 정주기식 신호제어방식과 비교를 수행하였으며 이를 위해, CORSIM의 RTE (Run-time Extention)를 이용하여 교통대응 및 감응 신호제어 알고리즘을 프로그래밍 하였으며, 시뮬레이션 상에서

구현하여 그 효과성을 정주기식 신호제어와 비교 평가하였다.

지체시간, 통과교통량, 주행속도의 3가지 평가 MOE를 가지고 5개의 연속된 교차로에 V/C별로 적용하였다.

그 결과 일반적인 비포화 상황(V/C=0.6)에서 교통대응+좌회전 감응 신호제어는 정주기식 신호제어에 비해 유동적인 녹색 시간 분할을 통해 지체감소, 통과교통량 증가 및 주행속도 증가의 효과가 탁월히 나타났다.

비포화 상황에서 과포화 상황(V/C=1.0)으로 갈수록 교통대응+좌회전 감응 신호제어의 효과는 차츰 감소되는 것으로 나타났다.

이는 Barrier 설정의 영향이 커져서 교통대응 + 좌회전 감응제어의 효과가 떨어짐을 의미한다.

또한, 좌회전 감응제어의 경우 일반적으로 좌회전 수요의 변동이 큰 상황에서 유리하므로, 이는 비포화 상황에 적용하는 것이 적합하다.

결론적으로, 모든 교통상황에 대해서 교통대응 및 감응신호제어가 우수한 것이 아니라 상황에 따라서 이러한 신호제어의 효과가 나빠질 수도 있다는 점에 주목할 필요가 있다.

2. 연구의 한계 및 향후과제

본 연구는 독립교차로가 아닌 다수의 교차로에 대하여 분석을 수행하여 어느 정도 현실성을 반영하였다고 할 수 있겠으나, 모든 교통량 구성을 승용차에 제한했던 점, 감응제어 기법의 여러 종류 중 좌회전 감응만을 택하였던 점이 연구의 한계로 판단되며, 향후 과제로는 이러한 제약을 벗어나, 교통량 구성을 다양화 하며, 신호제어 알고리즘을 변화시켜 새로운 시도의 알고리즘에 대한 평가가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 도철웅, “교통공학원론(상), 2004
2. CORSIM Run-Time Extention(RTE) Developer’s Guide Version 5.1, FHWA
3. 이영인, 한동희 「첨단 신호시스템의 신호제어전략 평가를 위한 미시적 시뮬레이터의 개발」, 제40회 대한교통학회, 2001
4. 오영태, 「COSMOS 교통축 운영효율화 방안 연구」, 대한교통학회 창립20주년 기념 국제학술대회, 2002
5. 이영락, 「교통대응 신호제어 방식의 평가에 관한 연구」, 서울대학교 환경대학원 석사학위 논문, 2003
6. James C. Spall, Daniel C. Chin, 「Traffic-Responsive Signal Timing for System-Wide Traffic Control」, Transportation Research Part C, 1997
7. Brian Wolshon, William C. Taylor, 「Analys of intersection dealy under adaptive signal control」, Transportation Research Part C, 1999