

■ 論 文 ■

# COSMOS에서 최소녹색시간을 고려한 현시배분 보정방안 연구

The Method of the Phase Split Adjustment Considering the Minimum Green time in COSMOS

**강 다 미**

(아주대학교 교통시스템공학과 박사과정)

**오 영 태**

(아주대학교 환경건설교통공학부 교수)

## 목 차

- I. 연구의 배경 및 목적
  - II. 현시배분의 이론적 고찰 및 문제점 분석
    - 1. COSMOS 현시배분 알고리즘
    - 2. 최소녹색시간 고려시 현시배분 문제점
  - III. 개선 알고리즘 제안 및 평가
    - 1. 개선 알고리즘
    - 2. 개선 알고리즘의 평가
  - IV. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : COSMOS, 실시간 신호제어, 현시배분 알고리즘, 최소녹색시간, WATSIM

## 요 약

COSMOS에서 포화도에 따른 현시 배분시 최소녹색시간에 의해 영향을 받는 경우 불균형적인 배분이 발생한다. 포화도에 따라 배리어를 나누게 되면 수요가 많은 광로측 배리어의 값이 더 많이 배분되고 상대적으로 소로측 배리어는 적게 배분된다. 배리어 배분 후 포화도에 따라 현시를 배분하면 최소녹색시간 확보로 인해 직진 이동류가 사용 가능한 녹색시간의 대부분을 쓰게 되므로 좌회전의 경우 녹색시간이 짧아져 통행권이 박탈당하는 문제가 발생한다.

COSMOS에서는 이러한 문제점을 안고 있는 지역을 이중횡단보도를 설치하여 횡단보도 중간에 보행자용 교통섬을 설치하여 좌회전 현시와 이어지는 직진현시를 이용하여 횡단하도록 하였다.

본 연구에서는 이를 개선하기 위해 최소녹색시간을 고려하여 배리어를 계산하고 이동류별 포화도 비율에 따라 녹색시간을 계산한다.

개선 방안의 평가를 위해 아주대학교에서 개발한 COSMOS 평가 시뮬레이터를 이용하여 기존 알고리즘과 개선 알고리즘으로 v/c비 0.4~1.2 범위의 교통상황별로 지체시간을 비교하였다.

향후 개발된 알고리즘의 교통상황에 따른 적용시점에 관한 연구가 추가된다면 신호교차로의 운영효율을 극대화시킬 수 있을 것으로 기대된다.

### I. 연구의 배경 및 목적

서울시는 날로 심화되는 교통난 해소의 일환으로 현장의 교통상황에 따라 자동으로 신호시간을 산출해 주는 이른바 한국형 실시간 교통신호제어시스템인 COSMOS (Cycle, Offset, Split Model for Seoul)를 1991년에 개발을 시작하여, 지속적인 시스템 기능개선 사업을 통하여 COSMOS 시스템의 기능적 안정화를 이루었으며 현재 총 422개의 교차로에서 COSMOS를 운영하고 있다.

COSMOS는 각 교차로나 이동류의 교통상황을 나타내는 기초변수로 포화도를 사용하고 이를 기반으로 하여 신호주기(Cycle), 오프셋(Offset), 현시배분(Split)의 3가지 중요한 신호제어변수를 주기마다 재산출하는 교통대응제어(Traffic Response Control, TRC)를 실시하는 데 이러한 3가지 제어변수의 실시간 산정을 위해 정지선검지기를 이용하여 이동류별 방출차량에 대한 포화도를 산출하고 있으며 이를 통해 다음 주기의 포화도를 예측하고 이러한 예측포화도(이하 "FDS(Forecast of Degree of Saturation)"라 함)의 비율로 현시를 배분하여 다음 주기의 녹색시간을 산정하고 있다.

우리나라의 경우, 특히 서울의 경우는 외국에 비하여 대부분 광로이기 때문에 횡단보도 신호시간 제공 때문에 신호운영에 한계가 있다. 예를 들자면 심야 시간대 같은 경우는 주기길이가 아주 낮게(80초 정도) 운영되어야 하는데, 횡단보도 때문에 최소녹색시간이 지나치게 커지게 되며, 이는 결국 최소로 운영되는 주기 길이가 110초에서 많게는 130초까지 요구된다.

이를 개선하기 위해 소로는 일반 횡단보도를 설치하고, 광로는 횡단보도 중간에 보행자용 교통섬을 설치하여 좌회전 현시와 이어지는 직진현시를 이용하여 보행자가 횡단하도록 1999년 실시간 신호제어시스템 기능 개선에서 염곡동 교차로와 용우로타리에 이중횡단보도를 설치하도록 제안되었으며 현재 휘문교입구(#68), 용우로타리(#13), 경기교입구(#133), 종합전시장(#114)등이 이중횡단보도의 설치로 보행신호의 분리운영을 실시하고 있다.

이와 같은 이중횡단보도의 설치로 신호운영은 개선이 되겠으나 광로를 보행자가 횡단보도로 건너야 할 경우 교통섬에 대기를 해야 되는 경우가 발생하여 보행자를 우선시 하는 운영이 되지 않는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 최소녹색시간에 의해 발생하는 현시배분 불균형 현상을 검토하고 이중횡단보도의

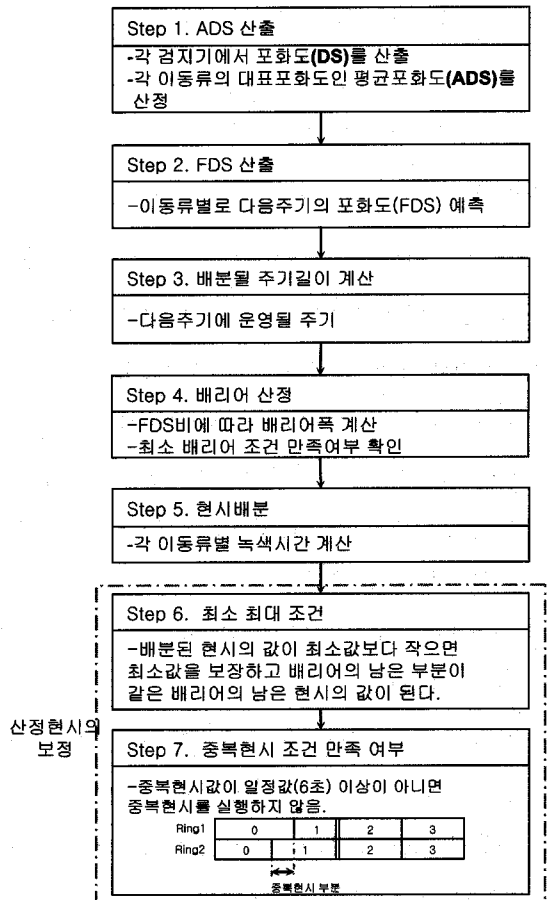
설치 없이 신호로서 해결할 수 있는 신호 운영을 개선하기 위한 방법을 제시하고 시뮬레이션을 통해 제시한 효과를 검증하였다.

### II. 현시배분의 이론적 고찰 및 문제점

#### 1. COSMOS 현시배분 알고리즘

중요교차로(CI : Critical Intersection) 및 준중요교차로(SCI : Semi Critical Intersection)는 정지선의 포화도비와 상류부 대기길이에 따라 녹색시간이 배분되며, 비중요교차로(MI : Minor Intersection)의 경우 TOD에 정의된 녹색시간을 사용한다.

또한 SA(Sub-Area)가 결합되어 부SA가 되는 그룹의 CI의 녹색시간 배분은 CI와 동일하게 이루어지며, MI의 경우도 정지선 검지기가 충분히 설치된 경우



<그림 1> 녹색시간 배분절차

포화도에 근거하여 녹색시간의 배분이 가능하다.

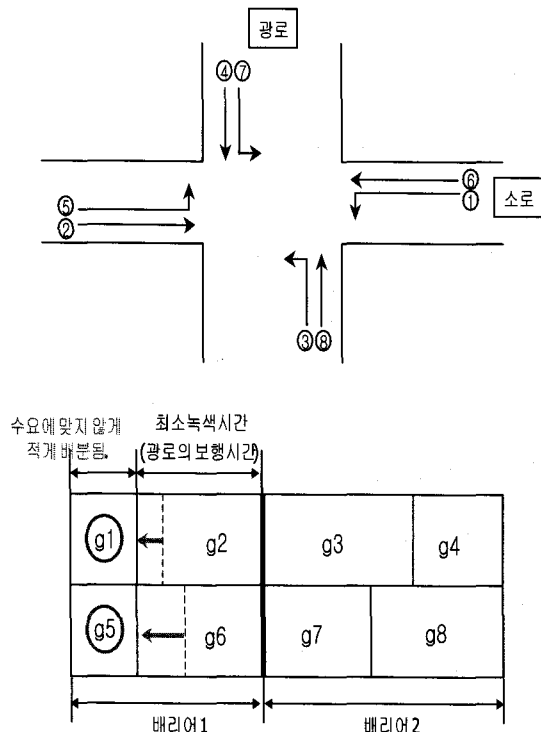
녹색시간의 결정방법은 기본적으로 접근로의 이동류별로 다음주기의 예측된 포화도비에 의해 녹색시간을 배분한다. 계산과정은 <그림 1>과 같다.

## 2. 최소녹색시간 고려시 현시배분 문제점

<그림 2>는 최소녹색시간 확보로 인한 불균형적 배분의 예를 나타낸 그림이다. 먼저 포화도에 따라 배리어를 나누게 되면 수요가 많은 광로측 배리어2의 값이 더 많이 배분되고 상대적으로 소로측 배리어1은 적게 배분된다.

배리어 배분 후 포화도에 따라 현시를 배분하면 점선과 같이 배분되지만, 최소녹색시간 확보로 인해 직진 이동류가 사용 가능한 녹색시간의 대부분을 쓰게 되므로 좌회전의 경우 녹색시간이 짧아져 통행권이 박탈당하는 문제가 발생한다.

이는 COSMOS의 기본 철학인 각 이동류별로 포화도비에 따라 균등하게 녹색시간을 배분한다는 기본 원칙이 무시되는 것이다.



<그림 2> 최소녹색시간 보정으로 인한 현시 불균형 문제

## III. 개선 알고리즘 제안 및 평가

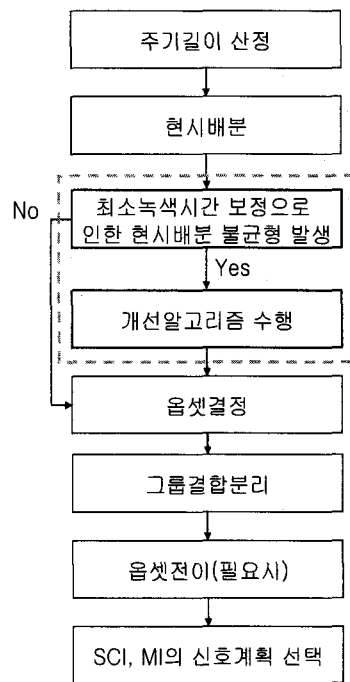
### 1. 개선 알고리즘

COSMOS의 신호제어 알고리즘 흐름에서 <그림 3>과 같이 현시배분 후에 최소녹색시간 보정으로 인한 현시배분 불균형 발생 여부에 따라 개선 알고리즘을 수행한다.

#### 1) 수행조건

개선 알고리즘은 우선 직진이동류(2, 4, 6, 8 이동류)의 포화도에 따른 녹색시간이 최소녹색시간보다 작은 경우 수행되게 된다.

개선 알고리즘 수행시 각 이동류의 포화도에 따라 최소녹색시간 확보에 따른 부담을 링전체에 다시 할당한다는 원칙이 안 지켜지고 오히려 배리어의 크기가 줄어드는 경우가 생긴다. 즉, <그림 4>에서 보면 배리어가 오른쪽으로 이동하여 1번 이동류의 녹색시간을 늘려주어야 하는데 반대로 배리어가 왼쪽으로 이동하여 1번 이동류의 녹색시간이 기존 알고리즘의 녹색시간보다도 오히려 줄어드는 경우가 생긴다. 따라서, 개선 알고리즘 수행을 위해서 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.



<그림 3> 개선 알고리즘 흐름도

$$\frac{Y1}{Y2} > \frac{B1 - MinGT2}{B2}$$

여기서,  $Y1 = \text{Max}(FDS1, FDS5)$   
 $Y2 = \text{Max}((FDS3+FDS4), (FDS7+FDS8))$

위의 조건은 반대의 경우(3, 4, 7, 8 이동류)에는 다음과 같다.

$$\frac{Y2}{Y1} > \frac{B2 - MinGT4}{B1}$$

여기서,  $Y1 = \text{Max}(FDS3, FDS7)$   
 $Y2 = \text{Max}((FDS1+FDS2), (FDS5+FDS6))$

이상과 같은 조건은 최소녹색시간 확보로 인해 손해 보는 좌회전 이동류의 포화도가 조건에 맞을 정도로 큰 값이어야 배리어 이동에 따른 현시 재배분이 가능하다는 것을 의미한다.

2) 조건 유도과정

개선알고리즘에 따라 배리어가 이동하기 위해선 <그림 4>에서 g2의 MinGT2를 확보한 뒤 재계산된 g1이 B1-MinGT2의 값보다 커야한다.

$$g1 = (B1+B2-MinGT2) \times \frac{Y1}{Y1+Y2}$$

$$> B1 - MinGT2$$

$$B1 \cdot Y1 + B2 \cdot Y1 - MinGT2 \cdot Y1$$

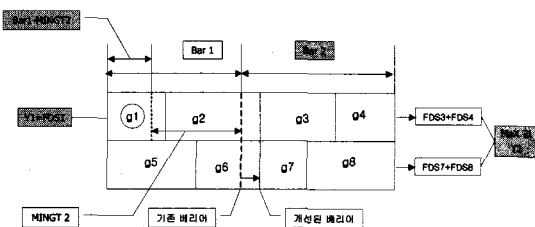
$$> (Y1+Y2) \times (B1 - MinGT2)$$

$$B1 \cdot Y1 + B2 \cdot Y1 - MinGT2 \cdot Y1$$

$$> B1 \cdot Y1 - MinGT2 \cdot Y1 + Y2 \cdot B1 - Y2 \cdot MinGT2$$

양변을 소거하면,

$$B2 \cdot Y1 > Y2(B1 - MinGT2)$$



<그림 4> 개선알고리즘 수행조건에 대한 개념도

$$\therefore \frac{Y1}{Y2} > \frac{B1 - MinGT2}{B2}$$

3) 수행절차

[Step 1] 직진이동류(2, 4, 6, 8)의 녹색시간이 최소 녹색시간보다 작으면 개선알고리즘 수행

[Step 2] 최소녹색시간확보로 손해보는 좌회전 이동류중 포화도가 큰 값 선택

$$Y1 = \text{MAX}(FDS1, FDS5)$$

$$\text{or } Y2 = \text{MAX}(FDS3, FDS7)$$

[Step 3] 반대방향 배리어의 예측포화도의 합이 큰 값 선택

$$Y1 = \text{MAX}((FDS1+FDS2), (FDS5 + FDS6))$$

$$\text{or } Y2 = \text{MAX}((FDS3+FDS4), (FDS7+FDS8))$$

만약,

$$\frac{Y1}{Y2} > \frac{B1 - \text{Max}(MinGT2, MinGT6)}{B2}$$

or

$$\frac{Y2}{Y1} > \frac{B2 - \text{Max}(MinGT4, MinGT8)}{B1}$$

이면 기존알고리즘 수행

[Step 4] 배리어폭 계산

[Step 4-1] 최소배리어폭 계산

$$MinBar1 = MinGT1 + MinGT2$$

$$MinBar2 = MinGT3 + MinGT4$$

[Step 4-2] MinBar와 CL의 비율로 배리어폭 계산

$$Bar1 = \frac{MinBar1}{MinBar1 + MinBar2} \times CL$$

$$Bar2 = \frac{MinBar2}{MinBar1 + MinBar2} \times CL$$

[Step 5] [Step 4]에서 구해진 배리어로 이동류별 포화도 비율에 따라 녹색시간계산

2. 개선 알고리즘의 평가

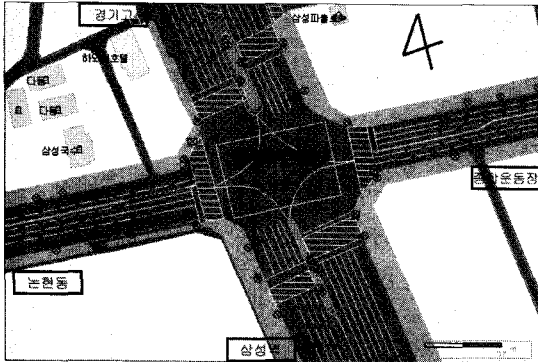
1) 시뮬레이션 평가

(1) 대상지점 선정

대상지점은 114번 종합전시장 교차로로 <그림 5>에 서 보여지는 것처럼 영동대로와 봉은사로가 만나는 준중요교차로이며 광로인 영동대로에는 이중횡단보도가 설치되어 있고, 소로인 봉은사로에는 일반 횡단보도가

〈표 1〉 종합전시장 교통량  
(2004년 6월 15일 오전 7:30~8:30 운영자료)

방향	좌회전		직진, 우회전	
	교통량	비율(%)	교통량	비율(%)
EB	77	13	495	87
WB	265	19	1144	81
NB	167	13	1128	87
SB	167	12	1186	88

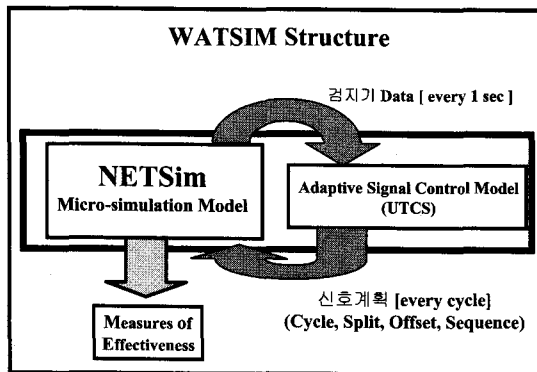


〈그림 5〉 종합전시장 기하구조

설치되어 있다. 또한 검지기 수집정보를 이용하여 현시 배분을 실시하고 있으며 〈표 1〉과 같이 소로인 EB, WB의 좌회전 교통량 비율이 13% 이상이고, 소로 직진의 최소녹색시간 확보로 인해 현시의 불균형 배분이 일어나 현시를 재배분할 필요가 있는 지역이기 때문에 대상지점으로 선정하였다.

(2) 평가도구

아주대학교에서 개발한 실시간 신호제어시스템(COSMOS) 평가 시뮬레이션 환경을 이용한다. 이것은 NETSIM 모형을 탑재한 미시적 시뮬레이터인 WATSIM과 일반 컴퓨터(PC) 환경에서 개발한 COSMOS 알고리즘 프로그램이



〈그림 6〉 WATSIM의 구조

상호 인터페이스된 것이다.

COSMOS 알고리즘 프로그램은 실제 운영되고 있는 현장제어기(L/C)와 지역컴퓨터(R/C)내의 소프트웨어를 PC 환경내에서 작동 가능하도록 변환한 것으로 여기서 계산된 신호시간계획이 미시적 시뮬레이터에서 수행되도록 개발한 평가 시뮬레이션 환경이다.

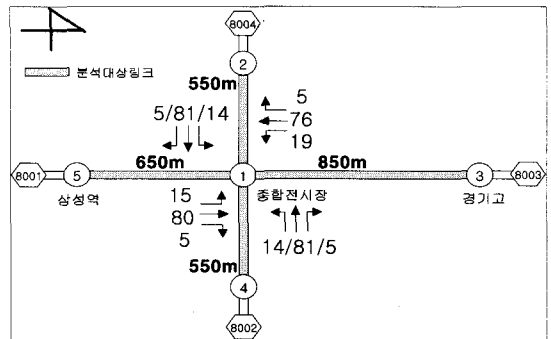
2) 평가방법

(1) 가로망 구성

〈그림 5〉의 실제 기하구조를 기반으로 〈그림 7〉과 같이 설계하였다.

직진 정지선 검지기는 좌회전 차량이 직진차량에 미치는 영향을 파악하기 위해 1차로에, 좌회전 검지기는 실제 상황과 유사하게 정지선에서 12m 떨어진 지점에 설치하였으며 대기길이 검지기는 정지선으로부터 100m, 200m, 400m에 설치하였다.

또한 회전비율은 〈그림 7〉과 같이 입력하여 분석하였다.



〈그림 7〉 분석구간의 노드설계 및 회전

(2) 시뮬레이션 입력

교통상황에 따른 효과를 분석하기 위해 교통조건을 v/c비 0.4~1.2 범위에서 변화폭 0.4로 나누어 시나리오1~시나리오3으로 시뮬레이션을 실시하여 기존방식과 개선방식을 적용하였을 때 차량당 지체시간을 비교하여 효과를 분석하였다.

시뮬레이션 분석단위는 120초, 시뮬레이션 시간은 3600초로 약 30주기이다.

3) 평가결과

아주대학교에서 개발한 COSMOS 평가 시뮬레이터를 이용하여 시나리오별로 지체시간을 비교한 결과는

〈표 2〉 개선전, 개선후의 지체시간 비교

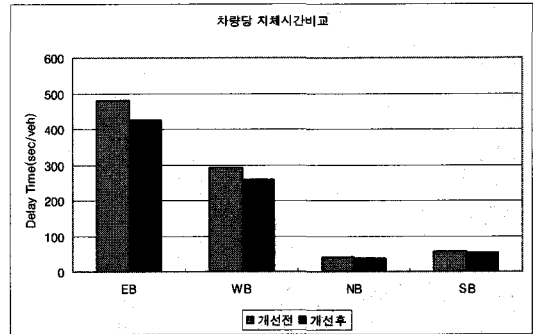
구분	광로 v/c	소로 v/c	광로 Delay Time			소로 Delay Time			총 증감 (%)
			개선전	개선후	증감 (%)	개선전	개선후	증감 (%)	
시나리오 1	0.4	0.4	42.84	41.78	-2.46	35.05	34.45	-1.17	-2.25
		0.8	50.81	45.58	-10.29	200.3	187.3	-6.49	-7.28
		1.2	48.06	45.88	-4.54	385.9	340.45	-11.77	-11.2
시나리오 2	0.8	0.4	214.86	205.80	-4.21	214.86	205.8	-4.21	-4.17
		0.8	161.54	172.73	+6.92	232.4	223.6	-3.37	+2.55
		1.2	206.63	189.28	-8.39	397.4	384	-3.37	-5.48
시나리오 3	1.2	0.4	358.39	349.35	-2.52	47.15	38.9	-17.49	-2.82
		0.8	409.16	407.33	-0.44	231.8	208.85	-9.9	-1.89
		1.2	355.77	380.58	+6.97	374.72	379.81	+1.35	+1.35

〈표 2〉와 같다.

(1) 시나리오 1 분석

광로의 v/c가 0.4일 때 교차로의 지체시간은 전체적으로 감소하였으며, 소로의 v/c가 1.2일 때 기존 알고리즘보다 개선 알고리즘이 가장 효과적인 결과를 보였다.

이는 기존 알고리즘으로는 소로인 EB, WB에 수요에 미치지 못하는 녹색시간이 배분되다가 개선 알고리즘에 의한 현시의 재배분 결과 수요가 많지 않은 광로인 SB, NB의 녹색시간은 줄어들고 EB, WB에 녹색

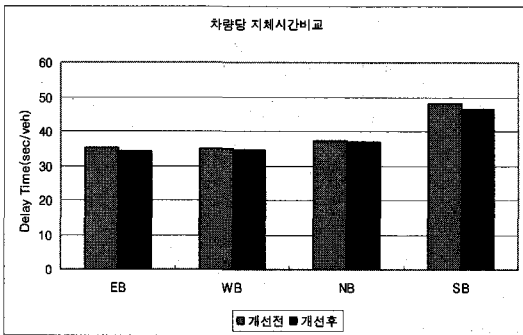


〈그림 10〉 광로 v/c 0.4 : 소로 v/c 1.2

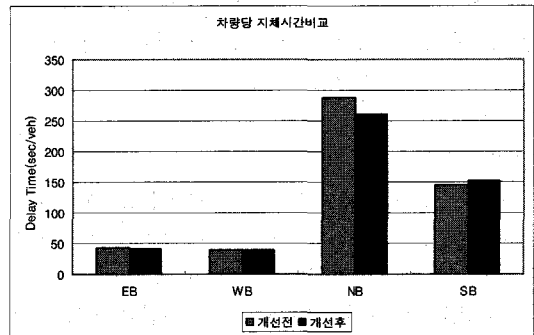
시간이 더 배분되었기 때문이다.

(2) 시나리오 2 분석

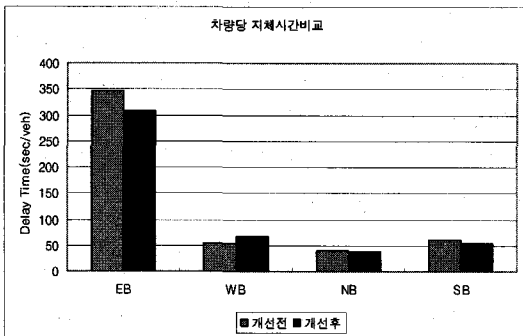
광로의 v/c가 0.8이고 소로의 v/c가 0.8인 경우 지체시간이 2% 정도 증가하였으나 지체의 정도는 미미하다. 또한 소로의 v/c가 0.4, 1.2인 경우는 지체시간이 -6% 이내로 감소하여 개선 알고리즘이 기존 알고리즘보다 효과적인 결과를 보여, 교차로 전체적으로 보면 지체가 감소하여 광로의 v/c가 0.8인 경우에는 기존 알고리즘보다 개선 알고리즘이 효과적이다.



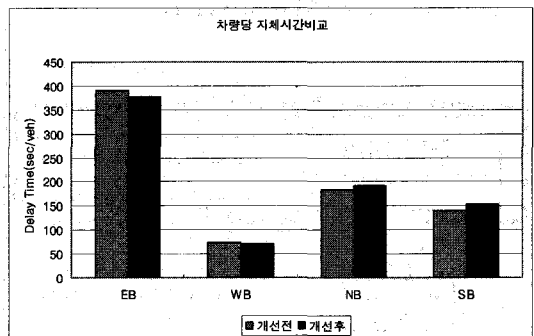
〈그림 8〉 광로 v/c 0.4 : 소로 v/c 0.4



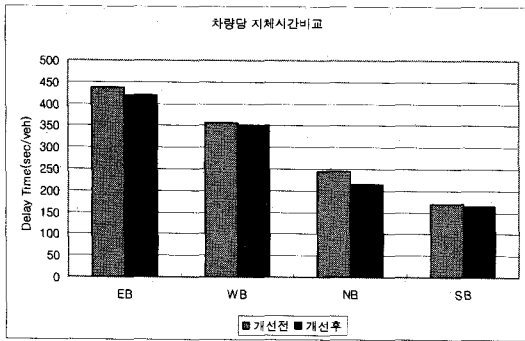
〈그림 11〉 광로 v/c 0.8 : 소로 v/c 0.4



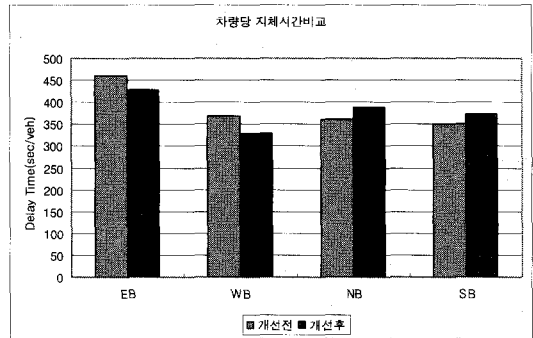
〈그림 9〉 광로 v/c 0.4 : 소로 v/c 0.8



〈그림 12〉 광로 v/c 0.8 : 소로 v/c 0.8



〈그림 13〉 광로 v/c 0.8 : 소로 v/c 1.2



〈그림 16〉 광로 v/c 1.2 : 소로 v/c 1.2

(3) 시나리오 3 분석

광로의 v/c가 1.2인 경우는 소로의 v/c가 1.2인 경우를 제외하고 지체시간이 -3% 이내로 감소하였다. 이것은 과포화상태의 현시배분 알고리즘의 영향으로 이 알고리즘은 과포화된 광로 직진의 FDS값을 가중시켜 커지게 하여 이 값으로 현시배분을 실시하면 다음현시의 주기가 늘어나면서 광로의 녹색시간이 증가된다. 이렇게 구한 녹색시간은 다음주기의 CDS(Cycle based Degree of Saturation) 산정시 사용되고 과포화가 계속적으로 진행되는 경우 계속적으로 녹색시간이 증가된다.

따라서 광로의 v/c가 1.2인 경우는 개선알고리즘으로 인한 지체시간의 감소가 크지는 않지만 개선 알고리즘이 기존 알고리즘보다 효과적이다.

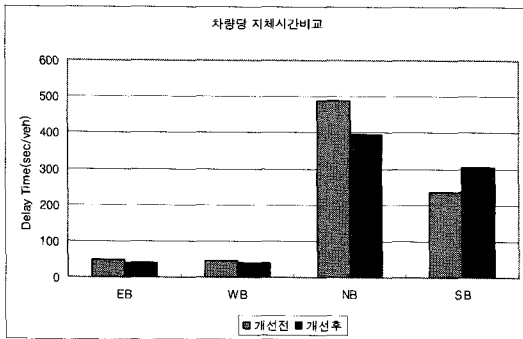
IV. 결론 및 향후 연구과제

아주대학교에서 개발한 COSMOS 평가 시뮬레이터를 이용해 개선 알고리즘을 평가한 결과 기존 알고리즘보다 개선 알고리즘을 사용하는 것이 교차로의 지체를 감소시키는 효과를 보였다.

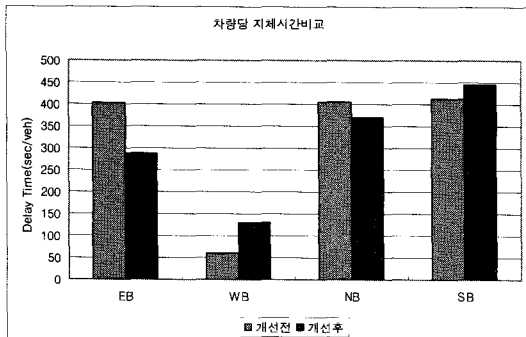
녹색시간 배분절차에서 배리어 배분 후 포화도에 따라 현시를 배분하면 최소녹색시간 확보로 인해 직진 이동류가 사용 가능한 녹색시간의 대부분을 쓰게 되므로 좌회전의 경우 녹색시간이 짧아져 통행권이 박탈당하는 문제가 발생한다. 이는 COSMOS의 기본 철학인 각 이동류별로 포화도에 따라 균등하게 녹색시간을 배분한다는 기본 원칙이 무시되는 것이다.

개선 알고리즘을 적용하기 위해서는 소로의 좌회전 녹색시간을 늘리기 위해 광로의 좌회전, 직진 현시를 줄이기 때문에 광로의 현시가 줄더라도 광로의 수요를 처리하기에 무리가 없어야 한다. 그러므로 현장에 적용하기에 앞서 여러 기하조건이나 다양한 교통상황에 따라 세분화된 실험을 실시하여 본 개선안의 효과가 극대화되는 조건을 일반화시키는 것이 바람직하다.

본 연구는 단일 교차로로 기하구조나 현시의 변경 없이 최소녹색시간을 고려한 현시배분 방법을 고려한 것이다. COSMOS는 매 주기마다 교차로의 교통상황에 적합한 신호시간을 계산하므로 본 개선안을 적용하여 최적의 현시배분을 기대할 수 있다. 그리고 향후에 교차로 그룹제에서 본 연구결과에 대한 효과분석과 기하구조의 변경을 통한 최소녹색시간으로 인한 현시의



〈그림 14〉 광로 v/c 1.2 : 소로 v/c 0.4



〈그림 15〉 광로 v/c 1.2 : 소로 v/c 0.8

불균형적 배분 보정에 대한 분석도 필요하다. 그리고 이러한 기법들이 현장에 적절히 사용될 수 있도록 앞으로 많은 연구가 진행되기를 바란다.

## 참고문헌

1. 서울지방경찰청(2002), 실시간 신호제어시스템 실무해설집.
2. 서울지방경찰청(2004), 서울시 실시간 신호제어시스템 기술운영 보고서(기술운영 및 주행조사).
3. 서울지방경찰청(2002), 실시간 신호제어시스템 기능개선 용역.
4. 서울지방경찰청(1999), 신신호시스템 기능개선 용역.
5. 송성주·이승환·이상수(2003), "미시적 시뮬레이터를 이용한 실시간 신호제어시스템(COSMOS) 평가환경 개발", 대한교통학회 제44회 학술발표회.
6. 송성주(2004), "미시적 시뮬레이터를 이용한 실시간 신호제어시스템(COSMOS) 평가환경 개발", 아주대학교 석사학위 논문.
7. 이준형(2001), "신신호시스템에서 보행자 녹색시간을 고려한 최적현시배분 알고리즘 개발", 아주대학교 석사학위 논문.
8. KLD Associates(1996), "WATSIM Wide-Area Traffic Simulator User's Guide".

✉ 주 작 성 자 : 강다미

✉ 논문투고일 : 2004. 10. 13

논문심사일 : 2004. 10. 29 (1차)

심사판정일 : 2004. 10. 29

✉ 반론접수기한 : 2005. 4. 30