

□ 論 文 □

교통대응 신호제어 시스템의 효율성 평가

The Assessment of TRACS(Traffic Adaptive Control System)

李 榮 寅 (Young-Ihn Lee)

도로교통안전협회 연구위원

— 목 차 —

I. 서론	3.2 시험가로축의 교통현
II. 체계구성 및 중앙제어 알고리즘	3.3 시험환경 구축
2.1 체계구성	3.4 평가척도 및 평가방법
2.2 신호제어 알고리즘	IV. 시험결과 분석 및 평가
2.2.1 기본개념	4.1 주행속도
2.2.2 신호시간결정 알고리즘	4.2 신호주기별 평균지체 시간
2.2.3 교통감응제어	4.3 신호주기별 교통용량 및 녹색신호시간
III. 시험계획	4.4 신호시간 계획의 효율성 평가지수
3.1 시험가로축 선정	V. 결론 및 제언

— ABSTRACT —

This paper addresses the outlines of the traffic signal timing principles engaged in TRACS and the results of field test. Research team, encompassing research institute, university, and electronic company, conducted the three-year project for developing the new system, named TRACS(Traffic Adaptive Control System). The project was successfully completed in 1994. TRACS aims at accomplishing the objectives of better traffic adaptability and more reliable travel time prediction. TRACS operates in real-time adjusting signal timings throughout the system in response to variations in traffic demand and system capacity. The purpose of TRACS is to control traffic on an area basis rather than on an isolated intersection basis. Another purpose of TRACS is to provide real-time road traffic information such as volume, speed, delay, travel time, and so on. The performance of the first version of TRACS was compared to the conventional TOD control through field test. The test result was promising in that TRACS consistently outperformed the conventional control method. The change of signal timing reacted timely to the variation of traffic demand. Extensive operational test of TRACS will be conducted this year, and some functions will be enhanced.

I. 서론¹⁾

1980년 이후 설치되기 시작한 국내 교통신호제어체계는 1세대 신호체계로서 교통혼잡의 관리에 중요한 비중을 차지하여 왔으며, 그 기능도 교통공학, 컴퓨터 공학 및 통신기술의 발달과 더불어 지속적으로 개선되어 왔다. 그러나 최근 계속적인 교통량의 증가와 통행패턴의 변화로 인하여 출퇴근시간 외에도 주요 교통축 및 교차로는 과포화상태 하에서 정체를 유발시키고 있으며, 기존의 시간대별 신호시간 조정에 의한 교통운영 개선효과를 감소시키고 있다. 이러한 문제지점의 과포화현상을 해소하기 위해서는 보다 적극적인 교통체계의 개선, 즉 교통패턴의 변화에 실시간적으로 대응할 수 있는 첨단 신호제어시스템의 적극적인 도입이 필요하다. 첨단 신호제어시스템은 실시간 제어로 교통류 변화에 대응하고, 혼잡상황, 도로조건, 교통사고 지점 및 속도정보 등을 수집하는 기능을 가짐으로써 기존 교통신호제어체계의 제어방법 및 기능상의 한계를 개선할 수 있다. 도로교통안전협회 연구소는 1991년부터 3개년에 걸쳐 서울시 경찰청의 의뢰로 교통개발연구원, 아주대학교 교통연구소, 그리고 민간업체와 공동으로 신 교통신호 제어시스템을 개발하였다.

신 신호시스템은 실시간 교통자료의 자동수집 기능, 실시간 교통정보를 이용한 고정시간 신호계획의 자동개선 기능, 그리고 실시간 교통정보에 의한 교통대응 신호제어 기능을 가진다. 신 시스템의 기본 신호제어전략은 교통대응 신호제어전략으로서, 이는 변화하는 교통상황정보를 매 신호주기별, 현시별로 수집하여 중앙 컴퓨터 시스템에서 자료를 분석, 처리하여 각 교차로의 신호시간을 설정하고, 인접교차로 간의 신호연동을 자동적으로 결정하는 신호제어전략이다. 신신호 시스템에서는 현장교통상황을 정상상태와 과포화상태로 구분하고, 교통상황에 따라 제어전략을 수립하여

교통의 흐름을 관리한다. 현재 실용가능한 교통대응 신호제어시스템은 영국의 SCOOT, 호주의 SCATS, 이태리의 UTOPIA, 그리고 프랑스의 SURF와 SAGE 등인데 이들의 효율성은 각 시스템별로 조금씩의 차이는 있으나 고정시간 신호제어와 비교하여 대략 10-20%의 개선효과를 나타내고 있다.

본 논문에서는 개발된 신 신호시스템의 개요와 지역컴퓨터의 교통대응 신호제어 알고리즘을 설명하고, 현장시험을 통하여 지역 컴퓨터의 교통대응 신호제어 효율성을 평가하였다. 신시스템에서 개발된 신호제어 알고리즘은 지역컴퓨터의 교통대응 신호제어 알고리즘, 현장제어기의 교통감응 제어 알고리즘, 그리고 검지자료의 1차처리 알고리즘으로 구분된다. 본 연구에서는 이들 중 지역 컴퓨터의 교통대응 신호제어 알고리즘을 구체적으로 설명하고, 교통대응 신호제어의 효율성을 현장시험을 통하여 평가하였다. 현장제어기의 교통감응제어 전략에 관해서는 시스템체계, 제어알고리즘, 그리고 소프트웨어는 구현되어 있으나 시험현장의 시설여건상 본연구에서 제외되었다. 중앙 시스템의 신호제어 효율성은 시험가로측의 교통상황이 기하구조나 교통시설물에 의해 영향을 받지않고, 도로의 연속성이 유지되며, 1일 교통상황이 정상상태와 과포화상태를 모두 나타낼 수 있는 조건을 가지는 강남 노선로의 3개교차로를 대상으로 평가되었다. 평가지표로서는 주행속도, 신호주기별 평균지체시간, 신호현시별 교통용량과 녹색신호시간, 효율성 평가지수를 이용하였다. 신호제어변수중 신호주기는 전 평가지표로, 녹색시간배분은 교통용량대비 통행수요와 효율성평가

주) 본 연구는 서울시의 교통소통문제를 완화시키기 위하여 서울시경찰청의 의뢰로 도로교통안전협회 연구소를 주축으로 교통개발연구원, 아주대학교 교통연구소, 그리고 민간업체가 공동으로 1991년부터 3개년에 걸쳐 개발된 신 교통신호 제어시스템의 연구과제의 일부로 수행된 것이다.

지수로, 윌셋은 주행속도와 평균지체시간으로 각각 분석하였는데 이 평가지표들은 요일별로 기존의 고정시간 신호제어시의 평가지표들과 비교평가되었다.

II. 체계구성 및 신호제어 알고리즘

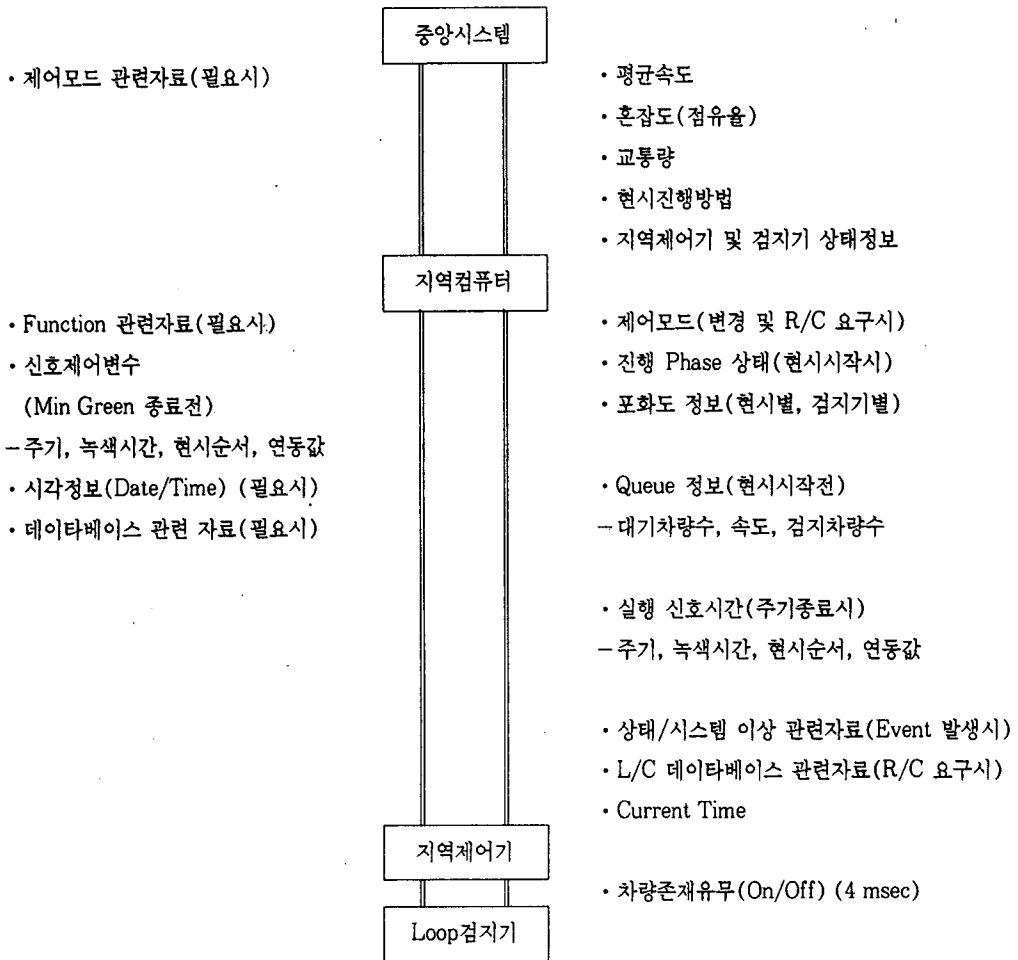
2.1 체계구성

신 전자교통신호시스템은 중앙관리용 컴퓨터 및 주변장치, 지역컴퓨터 그리고 검지기 센서를 포함하는 현장제어기의 계층형 분산구조로 구성된다. 신시스템에는 실시간 신호제어를 위한 가변통신 프로토콜이 다양하게 제공되어, 시간에 따라 변하는 송 수신 데이터의 실시간 처리가 가능하도록 구성되어 있다. 또한 장애의 시스템 용량확장, 다양한 소프트웨어의 지원이 가능하도록 개방형구조의 표준시스템을 채택하여 구성되어 있다. 중앙시스템의 구성은 전체지역을 관리하는 컴퓨터와 주변기기(예: Visual Display Unit, Plotter, Printer 등), 폐쇄회로 카메라를 갖춘 관제대와 상황판, 관제지역과의 자료 송수신 장치 등으로 이루어진다. 중앙시스템은 제어지역 전체에 대한 감시와 교통관리, 시스템의 운영, 자료수집과 보관 및 분석을 담당한다. 지역컴퓨터는 관리지역의 크기에 따라 200-500개의 현장제어기를 관리한다. 지역컴퓨터는 현장제어기와 검지기로부터 수집된 정보를 토대로 상위수준의 신호제어 소프트웨어를 이용하여 각 교차로(현장제어기)의 신호주기, 녹색시간, 윌셋 등을 매주기별로 계산한다. 현장제어기는 제어기와 감응식루프의 차량검지보드로 구성되어 있다. 제어기는 최대 32개의 검지기과 연결된다. 현장제어기는 지역컴퓨터와 검지기에서 수집되는 교통상황정보를 토대로 신호등을 구동한다. 신시스템의 검지기체계는 좌회전과 직진 정지선에 설치되는 1.8 x 4.0m의

포화도 검지기, 링크 중간에 설치되는 1.8 x 1.8m의 대기행렬길이 예측 검지기, 상류지점의 유입구에 설치되는 1.8 x 1.8m의 앞막힘 예방검지기로 구성된다.

계층적으로 분산 구성된 개별 시스템은 주어진 기능별로 필요한 정보를 처리한다. 처리된 정보와 시스템 운영을 위한 명령어 등은 공중통신망을 통해 각 계층의 시스템에 송,수신된다. <그림 1>은 개별시스템간의 정보처리체계를 나타내고 있다. 검지기 체계 중 포화도 검지기는 검지차량수, 점유시간, 비점유시간을 측정하여 포화교통류율과 차량속도를 예측한다. 대기행렬길이 예측검지기는 점유시간정보를 통하여 대기행렬길이를 예측하며, 앞막힘 예방검지기는 앞막힘 유무를 파악하여 감응제어를 위한 정보를 현장제어기에 제공한다. 현장제어기는 검지기에서 파악된 통과차량수, 점유시간, 비점유시간을 이용하여 시스템이 기본적으로 요구하는 포화교통류율, 속도, 링크의 대기차량수 등의 정보를 1차적으로 처리한다. 이들 정보는 공중통신망을 통하여 지역컴퓨터와 중앙시스템에 전달된다.

신호등 구동과 관련된 자료(제어모드, 실행주기, 실행녹색시간, 실행현시순서 등)는 매주기 종료시점마다 지역컴퓨터에서 현장제어기로 보내지며, 현시의 진행상태정보는 매현시의 시작시점에 현장제어기에서 지역컴퓨터로 통보된다. 시스템의 상태와 관련된 자료는 이상상태가 발생할 때마다 개별체계에서 지역컴퓨터로 보내지며, 지역컴퓨터의 요구에 의해 현장제어기의 데이터베이스 관련자료가 지역컴퓨터로 전송된다. 중앙시스템은 각 시스템에서 계산된 개별교차로의 진행방향별 평균속도, 혼잡도, 교통량, 현시진행정보, 검지기 상태정보 등을 전송받아 보관한다. 중앙시스템에 저장되는 자료는 전체 관제지역을 관리하는데 이용된다(1).



2.2 신호제어 알고리즘

신신호시스템 신호제어의 기본개념은 실제 교통상황에 대응하여 매주기별로 신호시간을 조정하는데 있다. 본 절에서는 교통대응 신호제어의 기본개념을 개관하고, 현장시험에 적용된 지역컴퓨터 교통대응제어의 신호시간결정 알고리즘, 즉 신호주기, 녹색신호시간, 그리고 윗셋의 결정과정을 설명하였다.

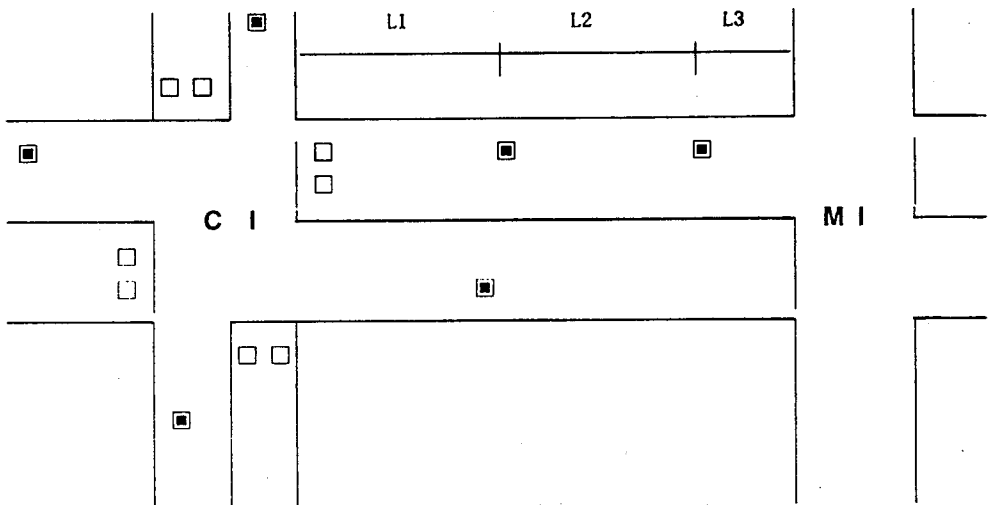
2.2.1 기본개념

신호제어의 효율성은 신호제어의 최소단위를

어떻게 설정하느냐에 따라 크게 달라진다. 신시스템에서는 서울의 교통혼잡이 대부분 간선도로상의 동일한 지점에서 반복적으로 발생되고 있으므로, 중요교차로의 현장자료를 집중적으로 수집하여 중요교차로를 중점 제어함으로써 제어지역의 원활한 교통소통을 기하도록 하였다. 최소 제어교차로군은 최소 1개 교차로에서 10개 교차로까지 구성되며, 한개의 중요교차로를 포함하고 있어야 한다. 제어교차로군은 가능한 연속되는 노선상에 구성되는 것을 원칙으로 하며, 운영자가 사전에 정의한다. 신신호시스템의 검지기체계는 정지선에 설치되는 포화도 검지기, 링크중간에 설치되

는 대기차량길이 예측 검지기, 상류부교차로에 설치되는 앞막힘 예방검지기로 구성된다. 신신호시스템의 각 검지기의 명칭 및 위치도를 개략적으로 나타내면 <그림 2>와 같다. 각 검지기는 개별차량의 점유시간과 비점유시간을 매 20 msec

마다 검색한다. 검지자료의 일차처리 알고리즘은 검지기에서 수집되는 점유시간과 비점유시간 및 교통량의 기초자료를 처리하여 포화교통류율, 포화도, 대기행렬의 길이, 주행속도, 링크의 혼잡상태 등을 추정한다(2).



- : 정지선 검지기
- : 대기행렬, 혹은 앞막힘 예방검지기
- L1 : 정지선에서, 대기행렬검지기까지의 거리
- L2 : 대기행렬 검지기부터 예방검지기까지의 거리
- L3 : 링크 유입부에서 예방검지기까지의 거리
- L : 링크의 길이 = L1 + L2 + L3

<그림 5> 검지기 명칭 및 위치 개략도

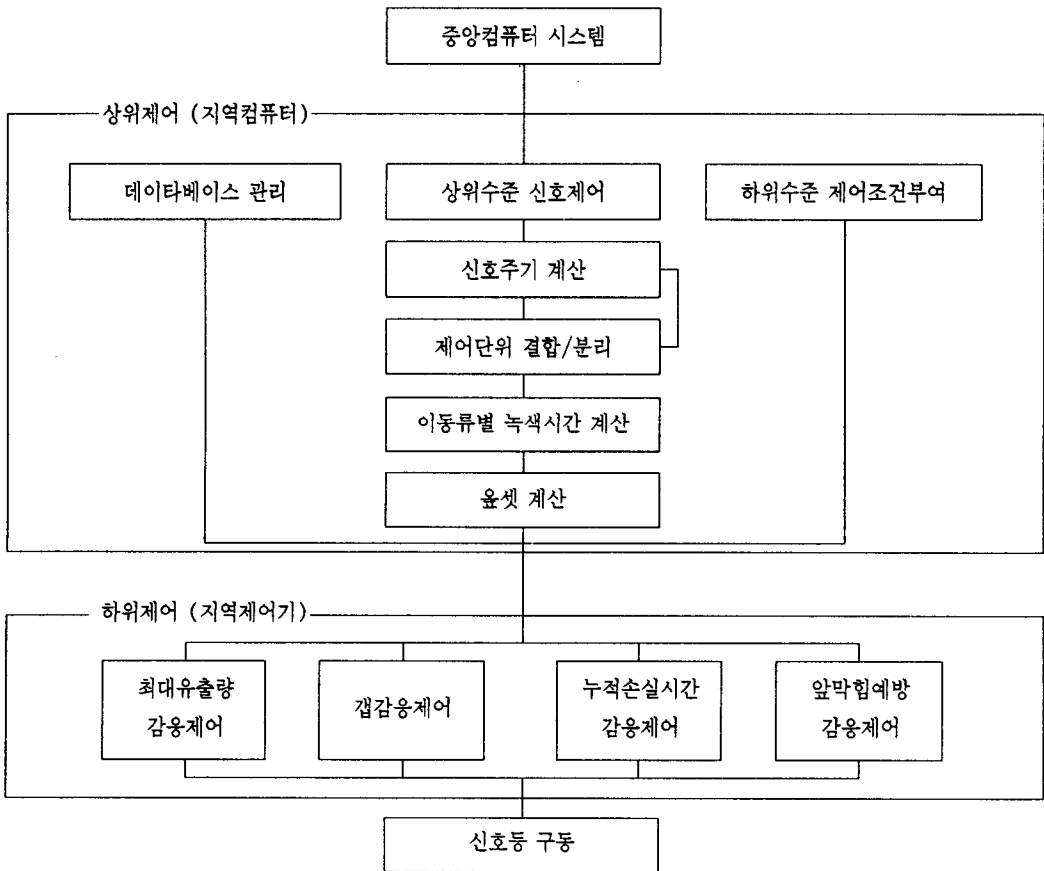
신 신호시스템은 계층적으로 분산구성된 개별 시스템별로 교통류를 계층제어한다. 신호제어는 상위수준과 하위수준의 2단계로 이루어지는데, 신호시간은 상위수준인 지역컴퓨터에서 1차계산된 후, 하위수준인 현장제어기에서 2차조정을 거쳐 신호등을 구동시킨다. 신호주기, 이동류별 녹색시간, 윌셋 등의 신호제어변수는 1차적으로 상위수준인 지역컴퓨터에서 앞주기의 검지자료를 토대로 계산된다. 하위수준인 현장제어기에서는

계산된 신호제어변수를 교차로의 소통상황에 의해 조정하여 신호등을 구동시키는 일련의 과정을 거친다. <그림 3>은 신신호시스템 계층제어의 기본개념을 나타낸 것이다.

상위수준인 지역컴퓨터에서는 신호제어, 신호 관련 데이터베이스의 관리와 통계처리 및 하위수준(지역제어기) 신호제어의 조건부여 등이 이루어진다. 상위수준 신호제어는 검지기에서 수집, 처리된 정보를 이용하여 신호제어변수인 신호주

기, 녹색시간, 율셋을 결정하고 현장제어기에 전송하는 것을 의미한다. 또한 하위수준 감응제어의 필요조건을 판단하여 감응제어의 실행명령을 전달한다. 하위수준(현장제어기)에서는 과도한 대기차량으로 인하여 정상상태의 신호운영이 불가능한 경우, 대기차량수를 관리하고 앞막힘현상을

예방하기 위하여 녹색시간을 조기종결하거나 현시를 생략하는 등의 현장감응제어를 수행한다. 현장제어기는 감응제어정보를 지역컴퓨터에 전송하여 지역컴퓨터에서 다음주기의 신호제어변수를 계산하는데 고려하도록 한다(2).



<그림 3> 신호제어의 계층제어 개념도

2.2.2 신호시간결정 알고리즘

교통신호 제어시스템의 신호제어전략은 기본개념에 의해 크게 고정시간 신호제어전략과 교통대응 신호제어전략으로 구분된다(2). 고정시간 신호제어전략에서는 운영자가 신호제어변수를 요일

별, 시간대별로 예상되는 평균적인 교통상황에 적합하게끔 사전에 계산하여 입력시켜서 신호등을 운영한다. 고정 신호시간계획에 의한 신호제어는 비교적 설치비용이 저렴하고 개념적으로 간단한 시스템으로 인식되고 있으나, 도시 전체의 교통관

런자료를 주기적으로 수집해야 하며, 새로운 신호 시간계획을 계속 개선시켜야 하고, 신호 시간의 현상 상황에의 적정성 여부를 지속적으로 관리해야 한다는 어려움이 있다. 고정 신호시간제어의 이러한 한계성을 극복하기 위하여 교통대응 신호제어 전략이 개발되었다. 교통대응 신호제어는 검지기 체계로부터 교통상황자료를 수집하고, 수집자료를 중앙시스템에서 분석, 처리하여 인접 신호교차로의 연동화를 자동적으로 결정하는 신호제어전략이다. 본 절에서는 신신호시스템의 신호제어 알고리즘 중 현장시험에 적용된 지역컴퓨터 교통대응제어의 신호시간결정 알고리즘, 즉 신호주기, 녹색신호시간, 그리고 율셋의 결정과정을 설명하였다. 신호시간 결정 알고리즘의 효율성은 다음 장에서 여러가지 평가지표에 의해 분석될 것이다.

신호주기(Cycle Length) 계산

신 시스템에서는 매주기마다 신호주기를 교차로 통행수요의 변화에 대응하여 계산한다. 신호주기는 전체 교차로 이용차량의 평균지체시간을 최소화 시키는 동시에, 급격한 주기변동에 따른 교통류에의 충격을 최소화시킬 수 있도록 결정되어야 한다.

신시스템에서는 차량의 지체,정지수,대기길이 등을 최소화하기 위해 이동류의 포화도 중 최대포화도가 0.9정도의 범위에서 교차로가 운영될 수 있도록 신호주기를 결정하되(4), 신호주기가 급격히 변화하지 않도록 주기변화폭을 제한한다. 즉 신시스템의 주기결정은 교통상황에 따르면서 주기변화폭을 한정하여 큰 폭의 주기변화에 따른 교통흐름의 충격과 연동화의 어려움을 동시에 해결하는 차원에서 결정된다. 신호주기의 최소주기, 확장주기 및 최대주기는 운영자가 설정한다. 정상상태에서의 신호주기는 교통수요가 증가함에 따라 확장주기까지 각 이동류의 포화도를 균등화 시킬 수 있도록 증가된다. 그러나 교통수요가 증가하여 확장주기보

다 큰 신호주기가 필요한 경우에는 제어형태가 정상제어에서 과포화제어로 바뀐다. 과포화제어에서 신호주기가 확장주기보다 클 경우에는, 확장주기를 초과하는 신호시간을 가장 대기차량이 많은 이동류의 녹색시간에 배정한다. 신 시스템에서의 주기 결정 알고리즘은 다음과 같다.

Step 1. 검기자료로부터 1차 처리된 검지기별 포화도(DS: Degree of Saturation)를 입력한다. 일반적으로 포화도(Saturation Flow Rate)는 교통량과 교통용량의 비 또는 녹색시간 이용율로 정의되는데 신 시스템에서는 녹색시간 이용율의 개념을 선택하여 호주의 SCATS에서 사용하고 있는 아래공식을 이용하여 포화도를 산정한다.

$$\text{직진포화도 } DS = \frac{\{G - (\sum \text{space} - N \times t)\}}{G}$$

$$\text{좌회전포화도 } DS = \frac{\{(G - t_{\text{start-up}}) - (\sum \text{space} - N \times t \times (1 + (1 - f_{\text{adjust}})))\}}{(G - T_{\text{start-up}})}$$

여기에서,

DS = 포화도

G = 녹색시간(초)

∑ space = 비점유시간의 합(초)

N = 비 점유시간의 수 (차량대수)

t = 포화비점유 시간(초)

t_{start-up} = 좌회전 차량의 출발지체 영향도(초)

f_{adjust} = 좌회전 포화교통류를 보정 계수

Step 2. 각 이동류별로 평균포화도(DSi)를 계산한다.

Step 3. 각 접근로의 직진 평균포화도 중에서 최대포화도(DS_{max}: Maximum Degree of Saturation)를 선택한다.

Step 4. 다음주기에 필요한 신호주기(C_{required}: Required Cycle Length)를 구한다.

$$C_{\text{required}} = a * DS_{\text{max}} + C_{\text{current}} - f(C_{\text{current}})$$

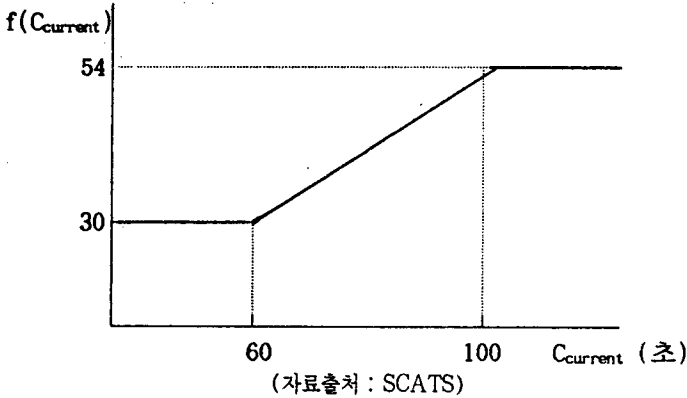
여기에서, C_{required} = 다음주기에 필요한 신호주기

a = 매개변수 (0.6)

$C_{current}$ = 현재주기

DS_{max} = 현재주기의 이동류별 포화도 중 최대 포화도

$f(C_{current})$ = 현재주기의 함수



<그림 2> 현재주기와 현재주기의 함수

Step 5. 다음주기의 신호주기(C_{next})는 현재주기 ($C_{current}$)와 구해진 요구주기($C_{required}$)와의 차를 비교하여 구한다. 즉,

$$(C_{required} - C_{current}) \geq \Delta C \text{ 이면}$$

$$C_{next} = C_{current} + \Delta C$$

$$(C_{required} - C_{current}) \leq -\Delta C \text{ 이면}$$

$$C_{next} = C_{current} - \Delta C$$

$$-\Delta C < (C_{required} - C_{current}) < \Delta C \text{ 이면}$$

$$C_{next} = C_{required}$$

여기에서, ΔC = 주기의 최대변화폭(운영자가 설정)

Step 6. 대기차량 검지기까지 대기차량이 형성된 경우에 신호주기가 이전주기보다 늘려지지 않았다면 ΔC 만큼 주기를 증가시킨다.

녹색시간(Split) 계산

신시스템에서의 녹색시간은 각 이동류별 검지에서 얻어진 포화도에 비례하여 배분된다. 신시스템의 현시체계는 녹색시간의 이용효율성을 높일 수 있도록 NEMA의 Dual-Ring 체계를 도입

하였다. 정상상태의 녹색시간은 각 이동류가 동일한 포화도를 가질 수 있도록 '동일한 포화도의 원칙'에 의하여 배분된다. 과포화 상태에서의 녹색시간은 포화도와 대기차량의 길이에 의해 결정된다. 신호주기가 확장주기를 초과할 경우에는, 먼저 확장주기를 기준으로 '동일한 포화도의 원칙'에 의해 녹색시간을 계산한 후, 신호주기와 확장주기의 차를 대기차량길이가 가장 긴 이동류에 강제로 배분한다. 그러나 그 초과시간을 특정이동류에만 계속 배정할 경우에는 타 이동류의 대기차량수가 급격히 증가할 수 있다. 따라서 신시스템에서는 초과시간을 각 접근로의 대기차량길이를 적절하게 조절할 수 있도록 배정하고 있다. 각 이동류의 녹색시간은 다음과 같이 계산된다.

Step 1. 이동류별로 검지기의 평균포화도

($DS_i(t)$)를 입력한다.

Step 2. 이동류별 평균포화도를 주기단위로 환산한다.

$$CDS_i(t) = DS_i(t) * g_i(t) / C_{current}(t)$$

여기에서, $CDS_i(t)$ = 주기단위로 환산된 현재주기의 이동류별포화도

$DS_i(t)$ = 이동류별 평균포화도
 $g_i(t)$ = 현재주기의 이동류 i의 녹색시간
 $C_{current}(t)$ = 현재 신호주기

Step 3. 이동류별로 다음주기에서의 포화도 ($CDS_i(t+1)$)를 예측한다.

$$CDS_i(t+1) = a_0 \cdot CDS(t) + a_1 \cdot CDS_i(t-1) + a_2 \cdot CDS_i(t-2) + a_3 \cdot CDS_i(t-3) + a_4 \cdot CDS_i(t-4)$$

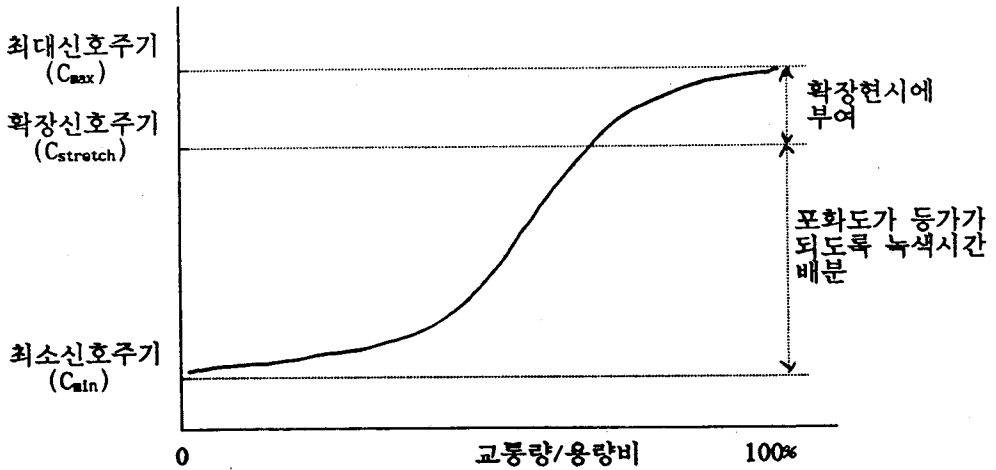
여기에서, $CDS_i(t-n) = i$ 이동류의 주기단위로 환산된 n 이전주기의 이동류별 포화도

$$a_0 + a_1 + a_2 + a_3 + a_4 = 1.0$$

Step 4. 동일한 포화도의 원칙에 의해 Critical movement의 유효 녹색시간을 계산한다.

$$g_i = C_{next} * (CDS_i(t+1) / \sum CDS_i(t+1))$$

단, 다음주기의 신호주기 (C_{next})가 확장주기 ($C_{stretch}$)보다 클 경우에는 먼저 확장주기를 기준으로 녹색시간을 계산한 후, 확장주기를 초과하는 시간 ($C_{next} - C_{stretch}$)을 사전에 지정된 이동류에 강제로 배분한다.



(자료출처 : SCATS)

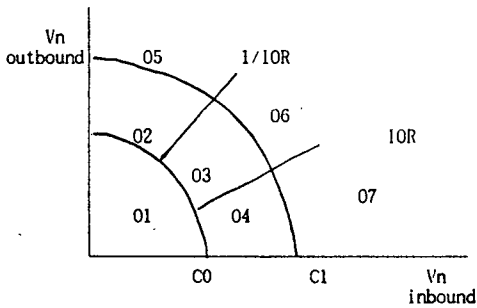
<그림 3> 주기에 따른 녹색시간 배분

오프셋(Offset)선택 및 조정

인접교차로와의 신호연동을 위해서는 교차로간의 주현시 시작시간을 교통상황에 따라 조정해 주어야 한다. 오프셋은 상류교차로에서 출발한 차량군이 하류교차로에 도착할 때 하류교차로의 녹색시간이 시작되도록 제공되는 것이 이상적이며, 하류교차로에 대기차량이 있을 경우에는 대기차량의 움직임을 고려하여 오프셋이 결정되어야 한다. 즉 대기차량이 녹색신호를 받아 출발하기 시작하여 마지막 대기차량이 움직이기 시작할 때 상류

교차로에서 유입되는 차량군이 대기차량의 후미에 도착하는 형태가 바람직 하다. 인접교차로간의 연동화 정도는 대기차량의 길이를 얼마나 정확하게 파악하여 오프셋에 반영시킬 수 있는냐에 달려 있다. 그러나 특정지점에 매설된 검지기를 통해서 대기차량을 연속적으로 측정하기는 매우 어려우며, 비록 정확한 측정을 통해 대기차량의 길이가 파악되었다 하더라도 다음주기에서의 녹색신호 시작직전의 대기차량을 예측한다는 것 또한 쉽지 않다. 따라서 본 시스템에서는 교통상황에 따라 오프셋패턴을 선택하는 기존시스템의 오프셋선택방식

을 수용하였다. 읍셋패턴은 교통상황에 따라 유입 우선, 유출우선, 그리고 유출입균형의 3가지의 패턴으로 구분되며 신호주기도 교통상황이 혼잡할 수록 증가한다. 신시스템에서는 정상상태의 읍셋 패턴으로 주기와 방향별 교통량의 비율에 의해 7 개의 읍셋패턴을 제공하였다. <그림 4>는 읍셋 패턴의 제공형태를 나타낸 것이다.



<그림 4> 읍셋선택 개념

과포화상태의 읍셋패턴으로도 교통상황에 따라 유입우선, 유출우선, 또는 유출입균형의 읍셋패턴이 제공된다. 과포화상태에서는 교통상황에 따라 제공된 읍셋패턴을 선택하여 이를 대기차량의 길이에 알맞도록 조절한다. 과포화시의 읍셋은 대기차량수에 의해 조절되며 대기차량의 길이가 줄어들면 다시 원래의 읍셋으로 환원된다. 과포화시의 읍셋조정 알고리즘은 다음과 같다.

Step 1. 상류부 정지선을 통과한 차량이 검지기까지 도달하는 시간 계산

$$t_{arrive} = \frac{l_{link} - l_{queue}}{V_{link}}$$

여기에서, t_{arrive} = 상류부 정지선을 통과한 차량이 검지기까지 도달하는 통행시간

l_{link} = 링크의 길이

l_{queue} = 정지선에서 대기차량 검지기까지의 거리

V_{link} = 링크의 주행속도

Step 2. 녹색시간 시작후 대기차량 검지기에 있는

차량이 움직이기 시작할 때까지의 시간계산

$$t_{shockwave} = \frac{l_{queue}}{V_{shockwave}}$$

여기에서, $t_{shockwave}$ = 녹색시간 시작후 대기차량 검지기에 있는 차량이 움직이기시작할 때까지의 시간

l_{queue} = 정지선에서 대기차량 검지기까지의 거리

$V_{shockwave}$ = 녹색시간 시작후 대기차량의 출발 shockwave의 속도

Step 3. 다음주기 읍셋의 계산

$$O_{required} = t_{shockwave} - t_{arrive}$$

2.2.3 교통감응제어

현장제어기는 과도한 대기차량으로 인하여 정상상태의 신호운영이 불가능한 경우, 대기차량을 조정하고 앞막힘현상을 예방하기 위하여 녹색시간을 조기종결하거나 현시를 생략하는 등의 감응제어를 시행한다. 감응제어의 형태로는 주로 과포화상태의 직진교통류에 적용되는 최대유출량감응제어, 한계 갭시간을 설정하여 녹색시간을 조기종결하거나 현시를 생략하는 갭감응제어, 한계누적손실시간을 설정하여 누적손실시간이 이를 초과할 때 해당현시의 녹색시간을 조기종결하고 여분의 시간을 교통수요가 많은 이동류에 부여하는 누적손실시간 감응제어, 교차로에 앞막힘현상이 발생하였을 시 녹색시간을 조절하는 앞막힘예방 감응제어 등이 있다. 현장제어기의 교통감응제어 전략에 관해서는 시스템체계, 제어알고리즘, 그리고 소프트웨어는 구현되어 있으나 시험현장의 시설여건상 본연구에서 제외되었다.

본 장에서는 신 교통신호 제어시스템의 신호제어 개념과 현장시험에 적용된 지역컴퓨터의 신호제어 알고리즘을 설명하였다. 신 시스템의 신호제어 알고리즘은 참고문헌 2와 3에 상세히 기술되어 있다. 다음 장은 지역컴퓨터의 신호제어 효율성을 평가하기 위하여 수행한 현장시험의 시험결과를 설명한 것이다.

III. 시험환경 구축

3.1 시험가로축 선정

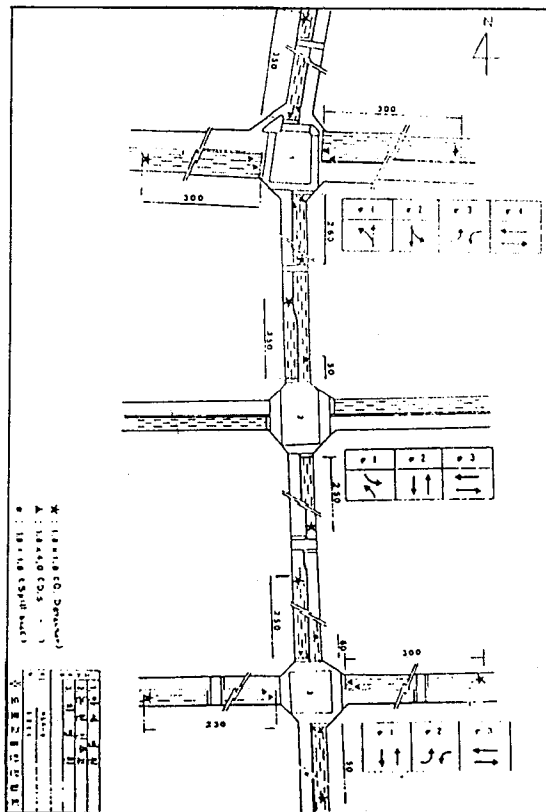
신 교통신호제어 체계의 효율성은 현장시험을 통하여 평가하였다. 신 시스템을 효율적으로 평가하기 위해서는 시험가로축이

- 교통상황이 교차로에서의 신호 외적인 요소, 즉 교차로의 기하구조, 교차로 구간의 버스정류장, 노상 주차장 등의 요인에 의한 영향이 최소화 되어야 하며,
- 차선또는 도로의 연속성이 유지되고,
- 1일 교통 상황이 과포화 상태와 정상상태를 모두 나타낼 수 있는 조건을 만족하는 지역으로 선정되어야 한다. 본 연구에서는 시험 가로축으로서 위의 세조건을 만족하는 지역인 강남 논현로의 안세

병원, 논현 천주교, 차병원 앞의 3교차로를 대상으로 신 시스템의 효율성을 평가하였다.

3.2 시험가로축의 교통현황

현재 안세병원 앞 교차로는 4현시 체계로 운영되고 있으며, 논현 천주교와 차병원앞 교차로는 동서 방향 또는 남북 방향의 좌회전이 금지 (U턴 허용)된 3현시 체계로 운영되고 있다. 링크의 횡단보도 신호등은 안세병원과 논현 천주교의 서쪽 링크상의 횡단보도 (교차로에서 서쪽으로 각각 250m와 300m 지점)가 각 교차로의 횡단보도 신호등과 동일한 신호시간으로 운영되고 있다. 남북 방향의 횡단보도 신호등은 독자적인 현장제어기에 의하여 구동되고 있다. <그림 3>과 <표 1>은 시험 가로축의 기하구조와 신호운영체계를 보여주고 있다.



<그림 3> 시험가로축의 기하구조 및 신호운영체계

< 표 1 > 시험가로축의 고정시간 신호계획

(단위 : 초)

구		분	07:00-10:00	10:00-18:00	18:00-21:00
안세병원	신 호 주 기		130	130	130
	현시시간	1현시	42	40	39
		2현시	35	40	41
		3현시	19	16	16
		4현시	34	34	34
	읍		77	70	57
횡단보도	신 호 주 기		130	130	130
	보행시간	적 색	108	108	108
		녹색(횡단보도)	22	22	22
	읍		7	124	111
논현천주교회	신 호 주 기		130	130	130
	현시시간	1현시	65	65	69
		2현시	33	33	29
		3현시	32	32	32
	읍		5	16	3
횡단보도	신 호 주 기		130	130	130
	보행시간	적 색	108	108	108
		녹색(횡단보도)	22	22	22
	읍		0	7	124
차 병원	신 호 주 기		130	130	130
	현시시간	1현시	62	57	58
		2현시	26	29	29
		3현시	42	44	43
	읍		78	78	72
횡단보도	신 호 주 기		130	130	130
	보행시간	적 색	108	108	108
		녹색(횡단보도)	22	22	22
	읍		61	56	43

대상지역의 통과교통량은 오전피크(07:30 09:30)보다 낮시간대(12:30 14:30)나 저녁피크시(17:30 19:30)에 더 많은 분포를 나타내고 있다. 표 2 와 그림 4 는 대상 가로축의 통과교통량을 조사시간대별로 나타낸 것이다. 대상지역의 통행량은 오전 출근시보다 낮 시간대와 오후 퇴근시에 집중되고 있다. 안세병원과 차병원앞 교차로의 통행

량분포는 교통상황이 정상상태(오전시간대)에서 근포화상태(낮시간대)로 변함에 따라 점차 교통량이 증가하였다. 그러나 정체가 발생하는 저녁시간대에는 두 교차로의 통과 교통량이 모두 근포화상태인 낮시간대보다 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 서울시의 혼잡지역에 일반적으로 나타나는 현상으로 서 통행량이 오전보다 오후와 저녁시간대에 높게 나

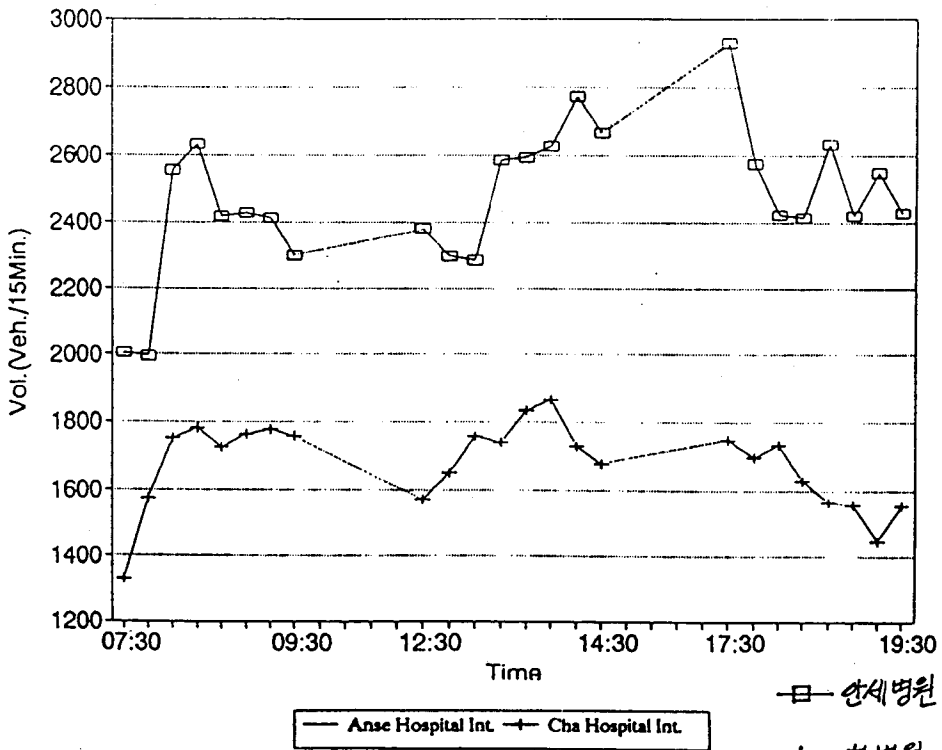
타나며, 특히 저녁시간대에 발생하는 심한 정체로 인하여 저녁피크시의 통행량은 낮시간대의 통과 교

통량과 거의 비슷하거나 오히려 감소되는 현상을 나타내고 있다

<표 2> 대상 가로축의 통과교통량

교차로 명	시간\접근로	동	서	남	북
안세병원	07:30 - 08:30	3164	1838	2268	2885
	08:30 - 09:30	2964	1980	2067	2698
	12:30 - 13:30	2372	2295	2206	2554
	13:30 - 14:30	2994	2580	2384	2782
	17:00 - 18:00	2956	2777	2306	2311
	18:00 - 19:00	3253	2797	1808	2199
차병원	07:30 - 08:30	1305	1536	2148	1521
	08:30 - 09:30	1722	1797	1863	1639
	12:30 - 13:30	1671	1755	1795	1500
	13:30 - 14:30	1806	1847	1728	1719
	17:00 - 18:00	1996	1869	1627	1316
	18:00 - 19:00	2023	1850	965	1284

<자료 : 11. 19. 94>



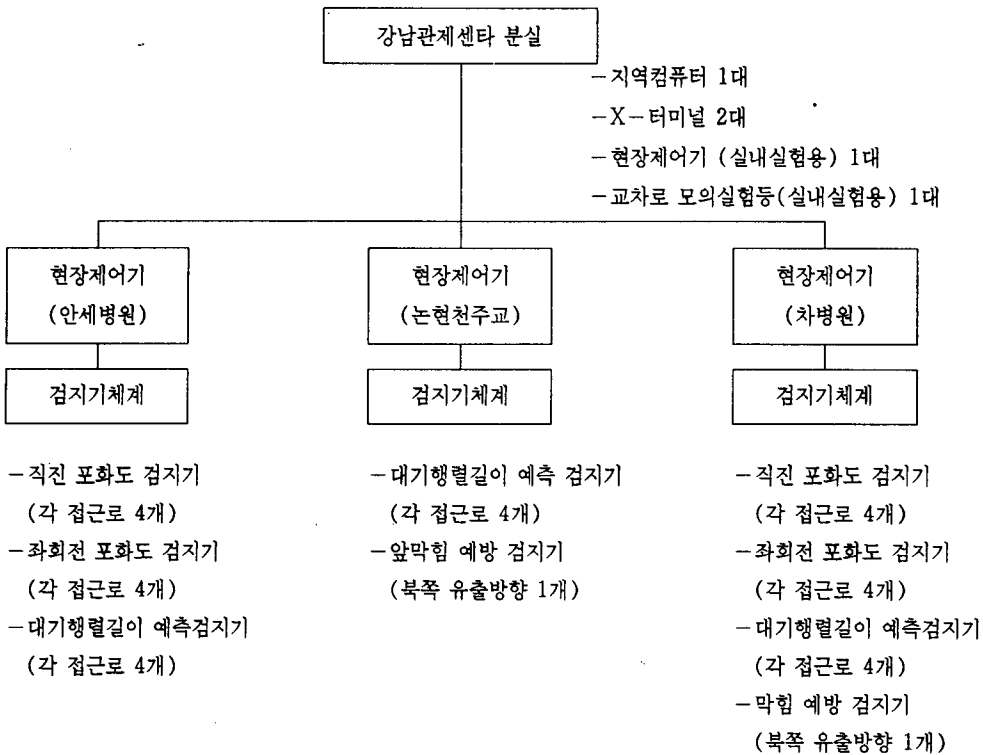
<그림 4> 대상 가로축의 통과교통량 분포

3.3 시험환경 구축

강남 관제센터 분실

시험가로측의 하드웨어체계는 <그림 5>와 같이 구성하였다. 강남관제센터분실에는 시험가로측의 신호시간계획을 관리하고, 현장에서의 신호등 구동상태를 관제센터에서 직접 확인할 수 있도록 지역컴퓨터 1대, X-터미널 2대, 현장제어기 (실내실험용) 1대, 교차로 모의신호등 (실내실험용) 1대를 설치하였다. 현재 안세병원앞 교차로는 4현시 체계로 운영되고 있으며, 논현천주교와 차병원앞 교차로는 동서 방향 또는 남

북 방향의 좌회전이 금지 (U턴 허용) 된 3현시 체계로 운영되고 있다. 신 신호시스템의 기본단위는 Subarea로서 각 Subarea는 1-10개의 교차로로 구성되는데, 시험가로측은 안세병원앞 교차로 (Subarea 1)와 논현천주교와 차병원앞 교차로 (Subarea 2)의 2개의 Subarea로 구분하였다. 현장에서의 신호등 구동상태는 관제센터에서 직접 현장의 3개교차로 신호등 구동상태와 동일하게 화면처리된 X-터미널을 통하여 확인할 수 있다. 실내실험용 지역제어기와 모의 신호등은 신호제어 프로그램의 수정시 수정결과를 현장에 시험하기 전에 실내실험으로 확인하였다.



<그림 5> 현장시험의 시험장비

현장제어기

시험가로측에는 안세병원, 논현천주교와 차병원앞 교차로에 각각 1개의 현장제어기를 설치하

였다. 링크 중간에 설치되어 있는 횡단보도 신호등은 모두 교차로 횡단보도 신호등과 동일하게 운영되도록 설치하였다. 링크의 횡단보도 신호등

은 안세병원의 남쪽과 서쪽 링크상의 횡단보도(교차로에서 각각 남쪽으로 250m와 서쪽으로 300m 지점)는 안세병원 지역제어기에, 논현천주교의 남쪽과 서쪽 링크상의 횡단보도(교차로에서 각각 남쪽으로 250m와 서쪽으로 300m 지점)는 논현천주교 지역제어기에, 차병원의 남쪽 링크상의 2개 횡단보도(교차로에서 각각 남쪽으로 200m와 300m 지점)는 차병원 지역제어기에 연결되어 각 교차로의 횡단보도 신호등과 동일한 신호시간으로 운영되고 있다.

검지기체계

시험가로축에는 총 26개의 검지기를 설치하였다. 중요교차로인 안세병원에는 네 접근로(직진은 정지선, 좌회전은 정지선에서 12m상류지점)에 8개의 포화도 검지기, 접근로의 링크 중간(정지선으로부터 250 350m 지점: <그림 3> 참조)에 4개의 대기행렬길이 예측검지기를 설치하였다. 비 중요교차로인 논현천주교에는 남쪽과 북쪽접근로의 링크 중간(정지선으로부터 250 350m 지점: <그림 3> 참조)에 2개의 대기행렬길이 예측검지기를 설치하였으며, 1개의 앞막힘 예방 검지기를 논현천주교에서 북쪽방향(유출방향) 60m 지점에 설치하였다. 중요교차로인 차병원에는 네 접근로(직진은 정지선, 좌회전은 정지선에서 12m상류지점)에 8개의 포화도 검지기, 접근로의 링크 중간(정지선으로부터 250 350m 지점: <그림 3> 참조)에 4개의 대기행렬길이 예측검지기를 설치하였으며, 1개의 앞막힘 예방 검지기를 차병원에서 북쪽방향(유출방향) 60m 지점에 설치하였다.

3.4 평가척도 및 평가방법

신 신호운영의 평가를 위한 MOE는 현장조사를 통하여 수집된 교통량, 속도를 이용하였다.

MOE의 평균값은 신호제어시스템의 효율성을 측정하는 지표로 일반적으로 사용되어 왔다. 그러나 시간별 평균지표로는 실시간 신호운영의 효율성을 정확하게 평가하기는 어렵다. 교통대응 신호제어에서는 신호주기와 신호현시시간이 교통량에 따라 수시로 변하며, 그 결과 측정지표도 신호주기별로 변하게 된다. 따라서 시간별 평균지표로 교통대응 신호제어의 효과를 정확하게 측정하기에는 많은 제약요소가 따르게 된다. 특히 교통상황에 따라 교통신호운영의 목표가 다르게 설정되는 경우에는 시간별 평균지표에 의한 신호운영체계의 평가는 그 의미를 상실하게 된다고 하겠다. 일반적으로 신호운영의 목표는 정지횟수의 최소화(Band Width Maximization), 지연시간의 최소화(Delay Minimization), 또는 대기차량의 최소화(Queue Length Minimization)로 설정되는데, 대상지역의 기하구조 조건이나 통행량의 정도에 따라 각기 달리 목표가 설정되어야 한다(5). 교차로간 간격이 짧은 도로망에서 앞막힘 현상이 자주 발생하는 경우에는 대기차량의 최소화를 신호제어의 목표로 설정하는 것이 타당하며, 동일한 지역에서도 통행량이 집중되어 정지횟수의 최소화가 불가능한 시간대나 앞막힘 현상이 쉽게 발생하는 시간대에는 지연 시간의 최소화나 대기차량의 최소화가 각각 목표로 설정되어야 한다.

신신호시스템의 효율성 평가는 시험대상지역이 강남 논현로로서 교차로 간격이 600 700m인 기하구조 조건과 교통혼잡이 쉽게 나타나는 지역적 특성을 고려하여 평가지표로서 평균주행속도, 신호주기별 차량당 평균지체시간을 이용하였다. 또한, 녹색시간 배분의 효율성을 평가하기 위하여 현시별 교통용량과 T-P Hsu가 제안한 효율성 평가지수(Adaptability-Quotient)를 이용하였다. 신신호운영의 평가를 위한 MOE(Measurement of Effectiveness)는 현장조사와 신신호시스템에서 계산된 효과척도를 이용하였다. <표 3

>은 효율성 평가의 기초자료를 나타낸 것이다. 현장조사는 '93년 6월 11일부터 12월 1일까지 7회에 걸쳐 실시하였다. 시험가로축의 통행패턴은 화-목요일은 비슷하게 나타나고 있으나 금요일 오후에는 급격하게 통행량이 증가하여 심한 정체 현상을 나타내고 있다. 따라서 신시스템의 운영효율성은 요일별로 기존의 고정시간 신호제어 결과와 비교 분석하여 평가되어야 한다. 교통대응 신호제어의 운영효과는 금요일(11.19)과 수요일

(12. 1)에 조사하였으며, 이를 고정시간 신호제어로 운영하여 조사된 금요일(11.26)과 화요일(11. 9)의 운영효과와 요일별로 비교 평가하였다. 현장조사는 평일 오전피크(07:30 09:30), 낮시간대(12:30 14:30)및 저녁피크(17:30 19:30)에 신호주기별로 교통량을 조사하였으며, 차량 주행을 통해 통행속도를 조사하였다. 신신호시스템에서 산출된 자료는 현장조사와 동일한 시간대의 효과적도, 신호주기, 녹색시간, 율셋 등이다.

<표 3> 효율성 평가의 기초자료

일 시	현 장 자 료	신 시스템 효 과 척 도	비 고
93. 6.11(화) ~ 13(목)	<ul style="list-style-type: none"> • 교통신호주기별 교통량 • 대기차량수 • 정지지체 		TOD 모드
93.11. 9(화)	<ul style="list-style-type: none"> • 주행속도 • 신호주기별 교통량 • 대기차량수 • 정지지체 	<ul style="list-style-type: none"> • 신호주기 • 현시별 녹색시간 • 차량지체 	TOD 모드
93.11.19(금)	<ul style="list-style-type: none"> • 주행속도 • 신호주기별 교통량 • 대기차량수 • 정지지체 	<ul style="list-style-type: none"> • 신호주기 • 현시별 녹색시간 • 차량지체 	교통 대응모드
93.11.26(금)	<ul style="list-style-type: none"> • 주행속도 	<ul style="list-style-type: none"> • 신호주기 • 현시별 녹색시간 • 차량지체 	TOD 모드
93.12. 1(수)	<ul style="list-style-type: none"> • 주행속도 	<ul style="list-style-type: none"> • 신호주기 • 현시별 녹색시간 • 차량지체 	교통 대응모드

IV. 현장시험 결과분석

4.1 주행속도

신호제어시스템의 운영효율을 가장 쉽게 평가할 수 있는 지표가 주행속도이다. 시험가로측의 남북방향(도심방향과 외곽방향)의 시간대별 평균 주행속도는 교통대용 신호제어시와 고정시간 신호제어시 간에 요일별로 상호비교되었으며, 금요일간의 비교는 <표 4>, 주중인 화, 수요일간의 비교는 <표 5>와 같다. 주행속도는 이동차량방법으로 각 제어시에 실측되었다.

금요일간의 비교분석 결과, 주행속도는 교통대용신호제어의 효과가 고정신호제어의 운영보다 도심방향 및 외곽방향 모두 양호한 것으로 나타났다. 도심방향의 주행속도는 오전 피크시 16.4%, 낮시간대가 33.1%, 저녁피크시가 54.7%씩 각각 개선되는 것으로 분석되었다. 대상지역의 통행량은 오전에서 저녁시간이 될 수록 점점 증가하는 현상을 보이고 있으므로 통행량이 증가할수록 주행속도의 개선효과는 크게 나타나는 것으로 분석되었다. 그러나, 오전첨두시간에 비하여 낮시간대나 저녁첨두시에는 주행속도가 20Km/h이하로서 교통혼잡이 지속되므로, 낮시간대나 저녁첨두시 주행속도의 개선율은 큰 의미가 없다고 하겠다.

저녁첨두시의 도심방향 주행속도는 교통대용신호운영시가 고정시간 신호제어시에 비해 54.7%의 개선효과를 나타내고 있으나, 개선된 평균주행속도는 8.2km/h에 불과하여 정체상황이 지속되고 있으므로 54.7%의 개선효과는 큰 의미가 없다. 금요일의 경우 외곽방향의 주행속도도 오전과 낮시간대에는 각각 31.8%, 24.7%의 개선효과를 보이고 있다. 그러나, 대상가로측에 정체가 시작되는 오후시간대에는 오히려 6.8%의 주행속도의

감소를 초래하고 있다.

화,수요일의 경우 도심방향의 주행속도는 낮시간대가 4.1%, 저녁피크시가 34.4%씩 각각 개선되는 것으로 분석되었다. 특히 저녁시간대의 도심방향 주행속도는 평균 14km/h에서 19km/h로 개선되어 혼잡상황이 크게 개선되고 있다. 외곽방향의 주행속도는 낮시간대에는 22.2%의 개선효과를 보이고 있으나 대상가로측에 정체가 시작되는 저녁시간대에는 오히려 13.5%의 주행속도의 감소를 초래하고 있다.

주행속도는 교통대용신호제어의 효과가 저녁시간대의 외곽방향을 제외하고는 고정신호제어의 운영보다 도심방향 및 외곽방향 모두 양호한 것으로 나타났다. 저녁시간대의 외곽방향 주행속도가 감소되는 현상은 시스템의 연동체계가 도심방향으로 설정되어 있고 시험가로측의 신호체계가 Single-Ring체제로 설정되어 있기 때문인 것으로 파악된다. 즉, 과포화시에는 도심방향의 교차로 앞막힘현상을 예방하기 위하여 도심방향 이동류의 녹색시간을 줄이고 이를 동서방향 이동류에 할당하기 때문에 외곽방향의 녹색시간도 감소하게 되고 결과적으로 외곽방향의 주행속도도 감소하게 된다.

주행속도는 시스템의 연동화를 가늠할 수 있는 주요지표이다. 시험현장의 신호시간은 연동체계가 도심방향으로 설정되어 있고 시험가로측과 인접한 주변교차로들에서의 영향을 배제할 수 없다는 제약요건이 있다. 요일별 평균주행속도의 분석 결과 15km/h 이상의 주행속도가 15-32% 개선된 것은 윤셋과 이동류별 녹색시간이 현장교통상황의 변화에 적절히 대응하여 제공되고 있음을 나타내고 있다.

<표 4> 시험가로측의 주행속도(금요일 비교)

시 간		외곽방향속도(km/h)			도심방향속도(km/h)			비 고
		TOD	대응모드	개선율(%)	TOD	대응모드	개선율(%)	
오전	7~8	26.7	33.9	27.0	22.3	29.5	32.3	TOD : 화요일 ¹⁾
첨두	8~9	32.8	29.7	-9.1	31.4	33.0	5.1	대응모드 :
시간	평균	29.8	31.8	6.7	26.9	31.3	16.4	금요일 ²⁾
비첨두	1~2	24.2	24.2	0	9.7	15.5	59.8	TOD : 금요일 ¹⁾
	2~3	21.6	25.1	16.2	15.1	17.4	15.2	대응모드 :
	시간	평균	22.9	24.7	7.9	12.4	16.5	33.1
저녁	4~5	17.7	16.5	-6.8	6.7	10.2	52.2	TOD : 금요일 ¹⁾
	첨두				3.9	6.1	56.4	대응모드 :
	시간	평균	17.7	16.5	-6.8	5.3	8.2	54.7

주1) TOD모드조사 : 93.11. 9(화), 93.11.19(금)

2) 대응모드조사 : 93.11.26(금)

<표 5> 시험가로측의 주행속도(화요일:TOD, 수요일:대응모드 비교)

시 간		외곽방향속도(km/h)			도심방향속도(km/h)			비 고	
		TOD	대응모드	개선율(%)	TOD	대응모드	개선율(%)		
오후	1~2	25.8	26.8	3.9	26.4	23.1	-12.5	TOD : 화요일 ¹⁾	
비첨두	2~3	25.3	35.8	41.5	14.6	19.6	34.2	대응모드 :	
시간	평균	25.6	31.3	22.2	20.5	21.4	4.1	수요일 ²⁾	
저녁	4~5	27.7	23.6	-11.9	14.7	17.3	17.7	TOD : 화요일 ¹⁾	
	첨두	5~6	26.2	22.2	-18.0	13.5	20.6	52.6	대응모드 :
	시간	평균	26.6	23.0	-13.5	14.1	19.0	34.4	수요일 ²⁾

주1) : TOD모드조사 : 93.11. 9(화)

2) : 대응모드조사 : 93.12. 1(수)

4.2 신호주기별 평균지체 시간

평균지체시간은 신호교차로의 효과적도로써 널리 사용되고 있다. 교통수요에 따라 신호주기, 현시시간 및 윤셋이 변하는 교통량대응 신호제어에

서는 신호주기별 평균지체를 이용하여 운영효율성을 평가하였다. 신호주기별 평균지체시간은 시스템에서 계산된 지체시간을 이용하여 비교분석하였다.

표 6 은 시험교차로중 논현천주교와 차병원앞

교차로의 신호주기별 차량당 평균지체시간을 나타낸 것이다. 논현천주교와 차병원앞 교차로의 각 접근로별 지체시간은 낮시간대와 오후시간대 모두 교통대응신호운영이 고정시간 신호운영에 비해 19~45%의 개선효과를 나타낸 것으로 분석되었다. 신호주기별 차량당 평균지체시간의 시간대별 분포는 <그림 6>과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 차병원앞 교차로의 남북방향의 경우 신신호시스템의 개선효과는 전시간대에 걸쳐 나타나고 있다. 지체시간에 의한 신시스템의 개선효과는 낮시간대에 논현천주교가 41.1%, 차병원이 35.9%로 분석되었으며, 저녁시간대의 개선효과는 논현천주교가 35.7%, 차병원이 48.2%로 각각 분석되었다. 신호교차로에서의 지체시간은 인접교차로와의 신호시간 연동에 크게 좌우된다. 시험교차로중 차병원과 안세병원앞 교차로의 신호시간 연동은 신시스템보다는 기존시스템에 의해 구동되는 교차로에 의해 더 많은 영향을 받는다. 따라서 신시스템의 운영효율성은 신시스템으로

연동되는 논현천주교앞 교차로의 지체시간 개선 효과에 의해 평가되는 것이 타당하다 하겠다. 교통대응 신호제어의 신호주기별 평균지체시간은 고정시간 신호운영에 비해 낮시간대에 평균 41.1%, 오후시간대에 평균 35.7%가 각각 감소하는 효과를 나타내었다. 논현천주교앞 교차로의 접근로별 지체시간은 남북방향의 지체시간이 동서방향의 지체시간보다 모두 낮게 나타났다. 이는 논현천주교앞 교차로의 신호시간이 동서방향으로는 인접교차로의 신호시간에 의한 연동을 고려하지 못하기 때문으로 판단된다.

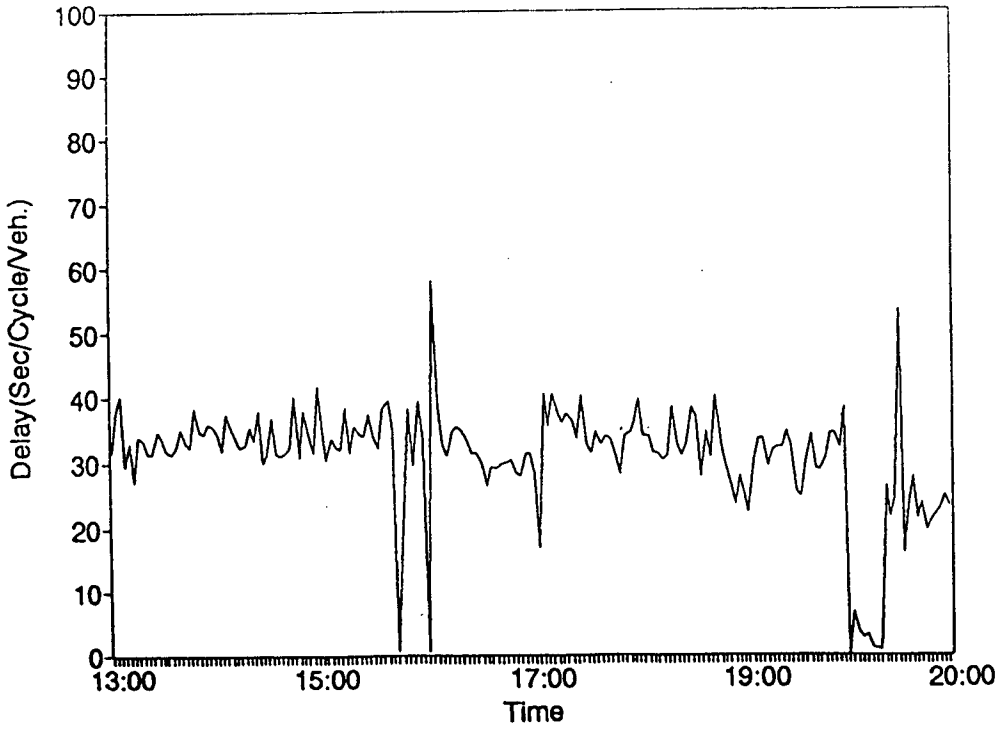
신시스템의 주기별 신호시간은 교차로의 정지선 검지기에서 측정되는 포화도에 의해 결정된다. 신호주기별 평균지체시간의 분석결과(35-41% 개선)는 신시스템의 이동류별 녹색시간이 교차로의 통과교통량, 즉 포화도에 의해 적절하게 배분되고 윌렛이 자동조절됨으로써 평균지체시간이 감소됨을 나타내고 있다.

<표 6> 논현천주교 및 차병원앞 교차로의 평균지체시간

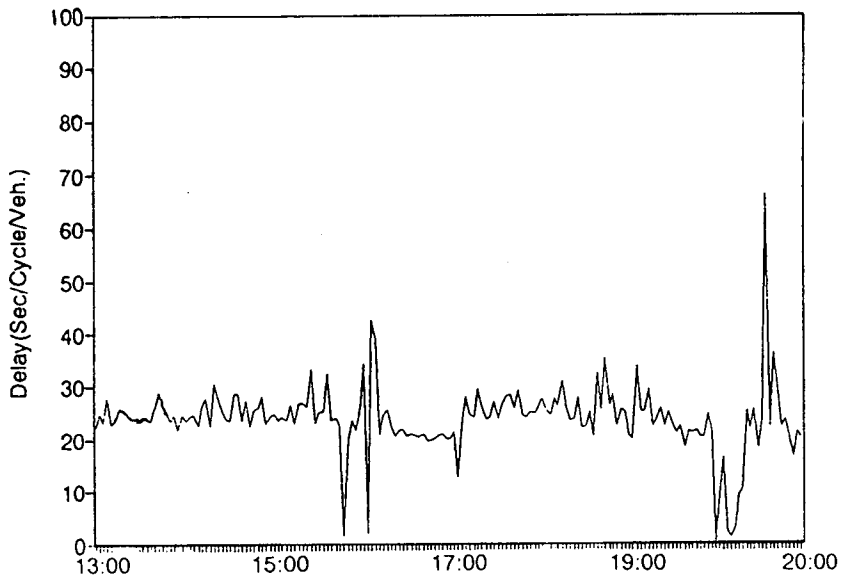
시 간	접근로	논현천주교차로지체시간(sec/veh)			차병원교차로(sec/veh)		
		TOD모드 ¹⁾	교통대응모드 ²⁾	개선율(%)	TOD모드	교통대응모드	개선율(%)
낮시간대 (12:00 -14:00)	동	44.19	24.23	45.1	47.82	23.1	59.7
	서	42.88	24.85	42.0	42.08	25.45	39.3
	남	25.08	18.36	26.8	49.85	34.73	29.3
	북	33.58	18.33	45.4	40.85	27.72	32.1
	평균	36.43	21.44	41.1	44.97	28.84	35.9
오후시간대 (16:30 -18:00)	동	44.04	27.52	37.5	65.24	27.09	58.5
	서	42.03	26.79	36.2	44.51	25.14	43.5
	남	25.28	20.33	19.6	51.46	43.11	16.2
	북	33.71	18.59	44.8	44.33	27.71	37.5
	평균	36.26	23.31	35.7	51.46	26.66	48.2

주1) 교통량대응모드 : '93.11.26(금)

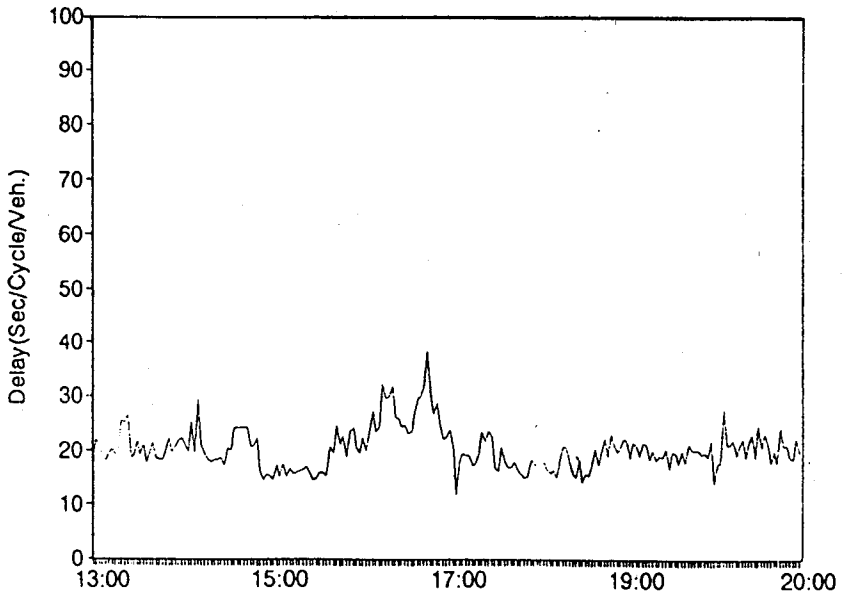
2) TOD 모드 : '93.11.19(금)



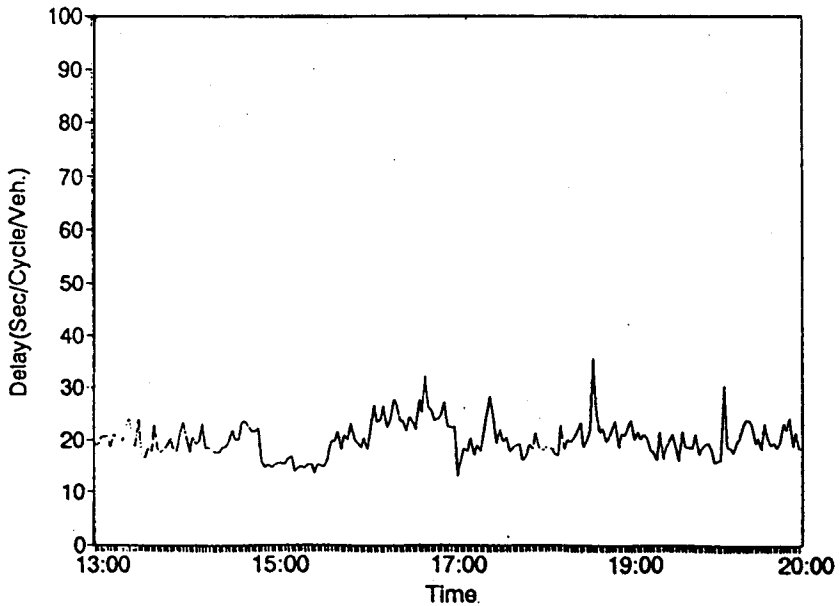
<그림 6.a> 신호주기별 평균지체시간 (TOD 차병원, 남향)



<그림 6.b> 신호주기별 평균지체시간 (대응모드 차병원, 남향)



<그림 6.c> 신호주기별 평균지체시간 (TOD 차병원, 북향)



<그림 6.d> 신호주기별 평균지체시간 (대응모드 차병원, 북향)

4.3 신호주기별 교통용량 및 녹색신호시간

신호주기별 교통용량은 교통대응 신호제어에서

는 매주기마다 현시의 녹색시간과 신호주기의 시간에 따라 변한다. 신호주기별 교통용량은 통행량이 많을수록 신호주기가 길어짐으로 인하여 증가

한다. 또한 동일 주기내에서 신호현시별 교통용량은 현시별로 서로 영향을 미친다. 즉, 특정현시의 교통용량이 증가하면 나머지 현시의 용량은 감소하게 된다. 이러한 현상은 특히 평균 통행량이 적정한 수준으로서 이동류의 패턴의 변화가 크게 나타나는 시간대에 두드러지게 나타난다. 신호현시별 교통용량이 동일한 고정주기 신호제어에 비하여 신호현시별 교통용량이 변화하는 교통대응 신호제어에서는 신호주기가 고정주기 신호제어와 동일하다면 이러한 현시별 교통용량의 변화는 교통소통에 크게 기여할 수 있다. 이는 교통상황에 관계없이 일정한 신호주기나 녹색시간을 부여하는 고정시간 신호제어에서 발생하는 비효율적인 신호시간을 최소화할 수 있기 때문이다.

안세병원앞 교차로의 남쪽접근로와 북쪽접근로의 통과 교통량과 녹색시간의 관계는 <그림 7>과 같다. 고정시간 신호제어의 녹색신호시간은 녹색신호시간의 비율을 교통대응주기에 적용하여 산출하였다. 현시별 통행용량은 다음식에 의해 산출되었다(6).

$$C_i = \frac{R_i}{C} \times S_i$$

여기에서, C_i = i 현시의 교통용량

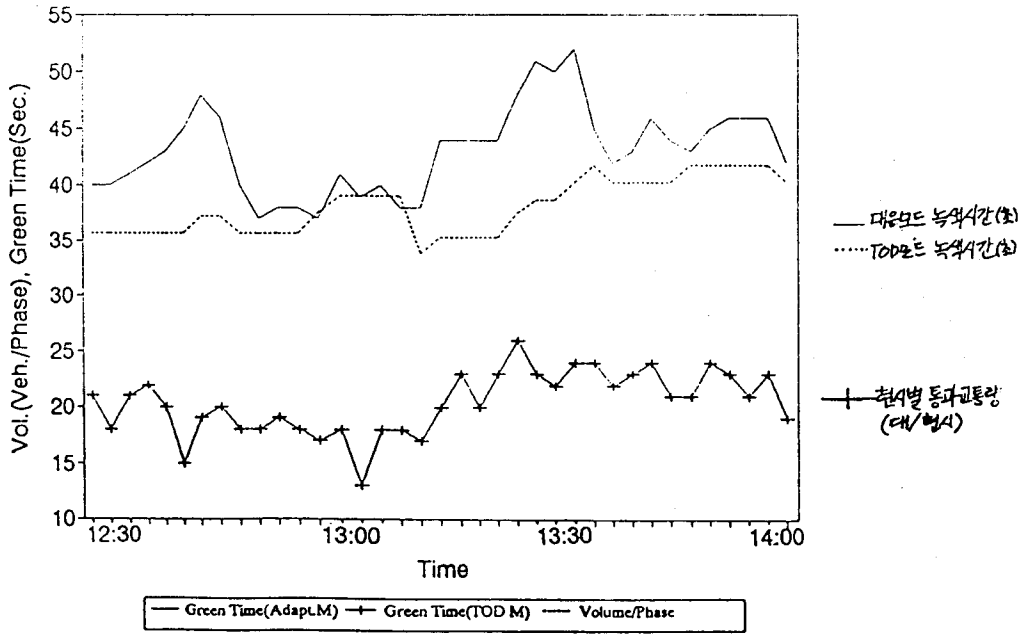
$$\frac{R_i}{C} = \text{해당 주기에서 } i \text{ 현시의 녹색시간 비율}$$

$$S_i = i \text{ 현시의 포화교통류율}$$

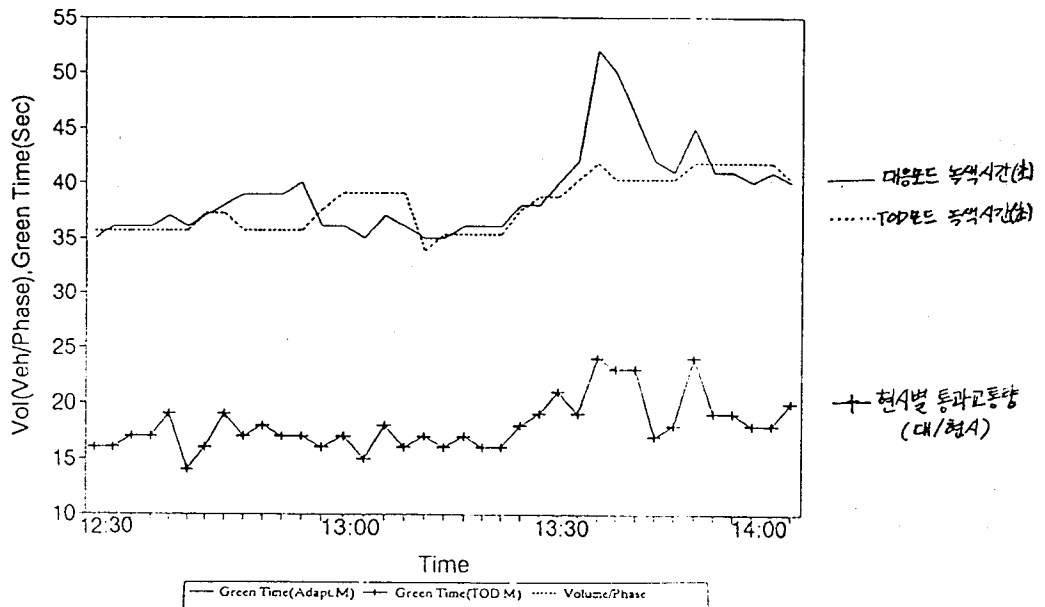
그림에서 보는 바와 같이 교통대응 신호제어의 녹색신호시간은 교차로의 통행수요와 비슷한 분포를 나타내는데 반해 고정시간 신호제어의 녹색신호시간은 통행수요의 변화를 충분히 고려하지 못하고 있다. 특히 남북방향 교통량의 변화가 타 신호주기에 비해 심한 오후 2시 전후의 녹색신호시간은 교통대응 신호제어가 고정시간 신호제어보다 훨씬 민감하게 변화하고 있다. 따라서 통행수요에 의해 조정되는 교통대응 신호제어의 녹색신호시간은 고정시간 신호제어에서 발생하는 신호시간계획의 비효율성을 최소화 할 수 있다. 신호현시별 평

균교통용량과 통과교통량은 <표 7>, <그림 8>과 같이 분석되었다. 비혼잡시의 통과교통량은 통행수요와 일치하므로 <그림 8>에서 보는 바와 같이 교통량 대응 신호제어에서는 통행수요에 의해 현시의 녹색시간이 조정되므로 주기별 교통용량은 교차로의 통행수요를 모두 수용할 수 있다. 그러나 고정주기 신호제어에서는 교통용량이 고정되어 있으므로 통행패턴이 변할 경우에는 교차로의 통행 수요가 교통용량을 초과하는 현상(그림에서 빗금친 부분)을 초래하게 된다. 근포화 교통상황에서 이러한 대기차량이 발생하게 되면 정상상태로 되돌아 가기 위해서는 통행수요가 용량을 초과한 시간보다 훨씬 장시간의 교차로 혼잡이 지속되게 된다. <그림 8>에서 보는 바와 같이 고정시간 신호제어에서 3주기간의 용량초과로 인한 교통혼잡을 해소하기 위해서는 6주기의 시간이 경과하여야 한다. 고정시간 신호제어에서 13시 이후에 발생하는 교통혼잡은 14시 이후의 통행수요가 용량에 근접할 경우에는 저녁 피크시까지 지속되어 대상 지역은 상습정체지역으로 분류될 것이다. 이에 반하여 교통대응 신호제어에서는 녹색신호시간을 효율적으로 배분함으로써 신호현시별 교통용량이 교차로의 통행수요를 수용할 수 있으므로 낮 시간대에는 정상상태를 유지할 수 있을 것이다.

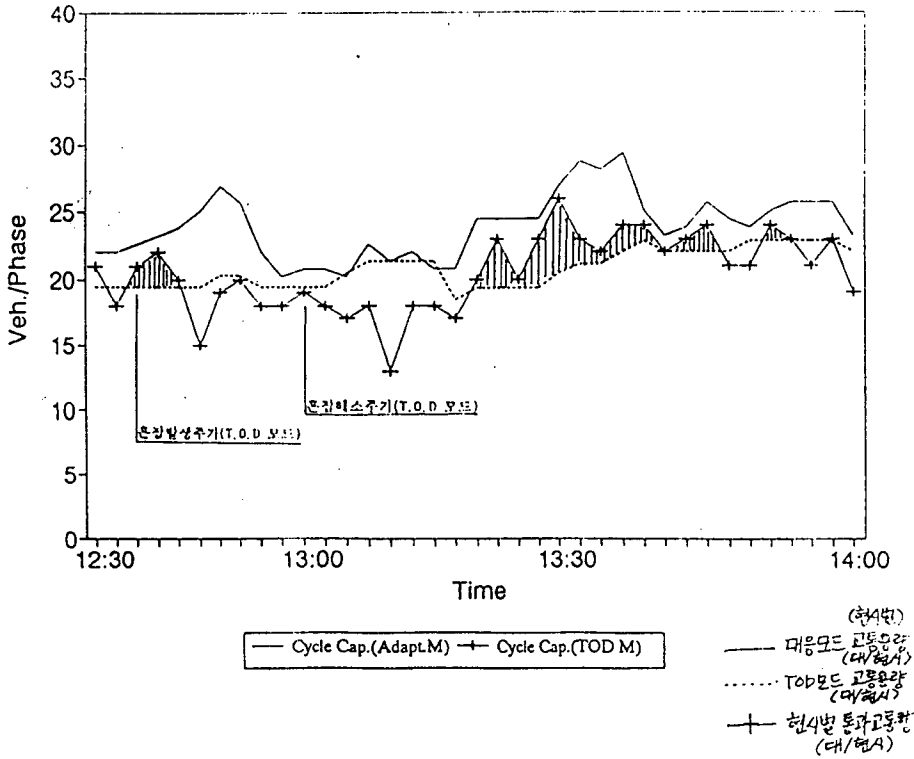
신시스템의 이동류별 녹색시간은 정지선 검지기에서 측정되는 포화도에 의해 결정된다. 정지선 검지기에서 측정되는 포화도는 현장교통상황을 나타내는 지표이며 포화도 1.0이하의 비 혼잡시에는 통과교통량이 각 접근로의 통행수요와 일치한다. 비혼잡시 안세병원앞 교차로의 남,북접근로의 통과교통량과 녹색신호시간의 관계를 분석한 결과 교통대응 교통대응 신호제어가 고정시간 신호제어보다 민감하게 변화하여 교통혼잡을 예방하고 있다. 분석결과는 통행수요에 의해 조정되는 교통대응 신호제어의 녹색신호시간이 고정시간 신호제어에서 발생하는 신호시간계획의 비효율성을 최소화함을 나타내고 있다.



<그림 7.a> 녹색신호시간(대응모드 및 TOD)과 현시별 교통량분포 (안세병원 남향, 93. 11. 19)



<그림 7.b> 녹색신호시간(대응모드 및 TOD)과 현시별 교통량분포 (안세병원 북향, 93. 11. 19)



<그림 8> 현시시간 통행용량과 통과교통량

4.4 신호시간 계획의 효율성 평가지수 (Adaptability-Quotient)

교통대응 신호제어의 효율성을 평가하기 위한 지표로는 T-P Hsu가 제안한 평가지수 (Adaptability-Quotient)를 이용하였다. 교통대응 신호제어는 교차로 각 접근로의 통행량(통행 수요)에 대응하는 신호시간을 제공하여 소통효율을 높이는데 기본적인 목표를 둔다. 따라서 교통대응 신호제어에서는 신호시간 계획이 "동일한 포화도의 원칙"(the policy of the same degree of saturation)에 의하여 산출되기 때문에(6), 교차로의 적정 포화도에 각 현시의 포화도가 근접할 수록 신호제어가 효율적으로 이루어 졌다고 할 수 있다. 각 이동류의 포화도(X_{ij} : j 이동류의

i현시에서의 포화도)와 교차로의 적정 포화도와 의 차이로서 신호시간 계획이 효율성을 평가할 수 있다. 신호시간 계획이 효율성 평가지수는 다음과 같이 정의된다(7).

$$X_o = (\sum V_i/S_i) \times (C/(C-L))$$

$$X_i = V_i \times C/(g_i \times S_i)$$

$$AQ = |X_i - X_o|$$

여기에서,

X_o = 교차로의 적정 포화도

X_i = i이동류의 포화도

V_i = i이동류의 교통량

S_i = i이동류의 최대포화교통류율

C = 신호주기

L = 손실시간

g_i = i이동류의 유효녹색시간

<표 7> 현시시간 통행용량과 통과교통량

(단위 veh/phase)

	현시시간별 통행용량		신호주기별 교통량
	대응모드	TOD모드	
12:30:23	22	21	19
	22	18	19
	23	21	19
	23	22	19
	24	20	19
	25	15	19
	27	19	20
	26	20	20
12:50:12	22	18	19
	20	18	19
	21	19	19
	21	18	19
	20	17	20
	23	18	21
	21	13	21
	22	18	21
13:14:34	21	18	21
	21	17	18
	24	20	19
	24	23	19
	24	20	19
	24	23	19
	27	26	20
	29	23	21
13:40:25	28	22	21
	29	24	22
	25	24	23
	23	22	22
	24	23	22
	26	24	22
	24	21	22
	24	21	23
13:58:34	25	24	23
	26	23	23
	26	21	23
	26	23	23
	26	23	23
	23	19	22

주) 안세병원 북향 교통량, '93. 11. 19. (화)

신호시간계획의 효율성 지표(AQ)는 0 과 1사이의 값을 가지며 통행패턴의 변화에 완벽하게 대응하는 신호시간계획일 때의 평가지수는 0의 값을 가진다. 일정시간(예:15분)동안의 신호시간계획의 운영효과는 효율성지표의 평균값과 변화폭으로 평가할 수 있다. 표 8과 그림 9는 안세병원앞 교차로의 효율성 지표를 신호주기별로 나타낸 것이다. 교통량 대응모드의 효율성지표는 평균값이 0.223으로 TOD모드의 0.278보다 낮은 값을 가진다. 효율성 지표의 변화폭도 그림에서 알 수 있듯이 교통량 대응모드의 평균값이 0.127

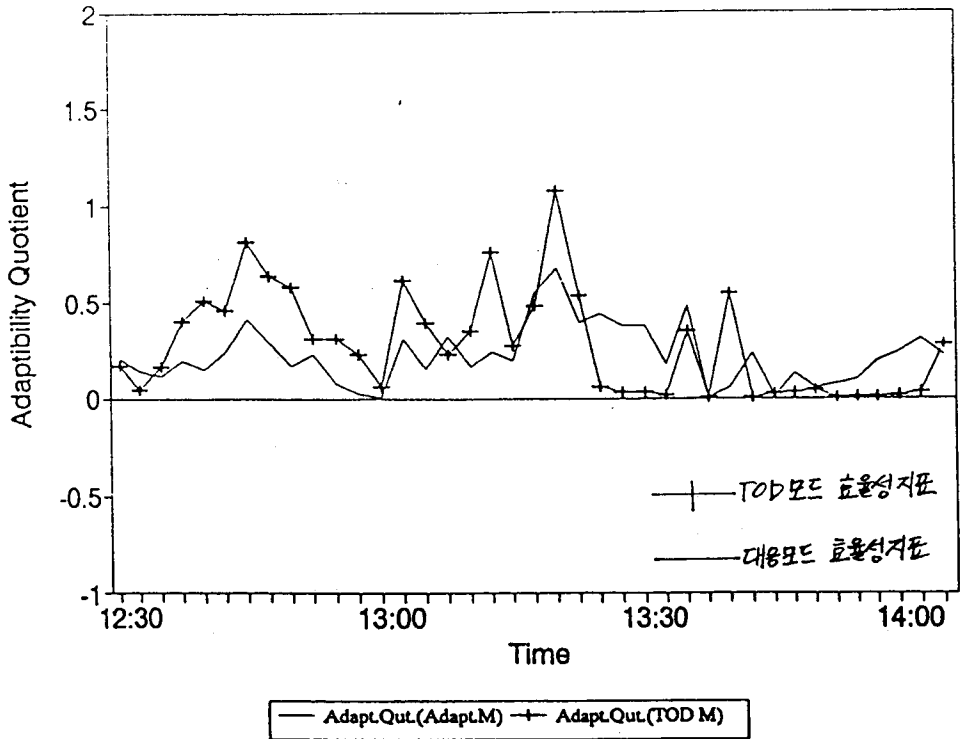
로서 TOD모드의 0.217보다 낮다. 따라서, 효율성 지표의 평균값에 의하여 대응모드가 TOD모드보다 녹색시간을 효율적으로 각 현시에 배분하고 있음을 판정할 수 있다. 또한, 효율성 지표의 변화폭의 평균값에 의하여 대응모드가 TOD모드보다 통행패턴의 변화에 효율적으로 대처하고 있음을 알 수 있다. 이러한 분석결과는 교통대용신호제어의 신호시간계획이 '동일한 포화도의 원칙'의 측면에서 고정시간 신호제어의 신호시간계획보다 효율적으로 이루어졌음을 나타내고 있다.

<표 8> 신호시간계획의 효율성 지표

주 기	교통량 대응 신호제어		고정시간 신호제어	
	효율성 지표 ¹⁾	변화폭 ²⁾	효율성 지표	변화폭
3	0.115	0.023	0.161	0.121
6	0.241	0.096	0.456	0.053
9	0.289	0.120	0.640	0.177
12	0.026	0.048	0.229	0.081
15	0.153	0.157	0.395	0.226
18	0.241	0.078	0.760	0.410
21	0.195	0.045	0.272	0.488
24	0.391	0.228	0.535	0.477
27	0.172	0.205	0.015	0.015
30	0.526	0.293	0.549	0.544
33	0.128	0.120	0.029	0.001
36	0.241	0.046	0.013	0.007
평균	0.223	0.127	0.278	0.217

주1) : 해당주기의 효율성 지표

2) : 앞 주기와의 변화폭



<그림 9> 신호시간계획의 효율성 지표의 주기별 분포

V. 결론 및 제언

지역컴퓨터 교통대응 신호제어의 효율성 및 현장 적용성은 강남논현로의 안세병원, 논현천주교, 차병원앞 교차로를 대상지역으로 평가하였다. 평가지표로서는 평균주행속도, 신호주기별 차량당 평균지체시간을 이용하였으며, 녹색시간 배분의 효율성을 평가하기 위하여 현시별 교통용량과 T-P Hsu가 제안한 효율성 평가지수(Adaptability-Quotient)를 이용하였다. 신호제어변수 중 신호주기는 전 평가지표로, 녹색시간배분은 교통용량대비 통행수요와 효율성평가 지수로, 윗셋은 주행속도와 평균지체시간으로 각각 분석한 결과 교통대응 신호제어의 결과가 고정시간 신호제어의 결과에 비해 전반적으로 개선된 것으로 나타

났다. 평가결과를 요약하면 다음과 같다.

대상지역의 통행량은 오전 출근시보다 낮 시간대와 오후 퇴근시에 집중되고 있다. 안세병원과 차병원앞 교차로의 통행량분포는 교통상황이 정상상태에서 근포화상태인 낮시간대로 변함에 따라 점차 교통량이 증가하였다. 그러나 정체가 발생하는 저녁시간대에는 두 교차로의 통과 교통량이 모두 근포화상태인 낮시간대보다 감소하는 경향을 보이고 있다.

주행속도는 교통대응신호제어의 효과가 저녁시간대의 외곽방향을 제외하고는 고정신호제어의 운영보다 도심방향 및 외곽방향 모두 4-54.7%의 개선효과를 나타내는 것으로 분석되었다. 그러나 대상으로측에 정체가 시작되는 저녁시간대에는 외곽방향의 주행속도가 오히려 7-13% 감소하였다. 저녁시간대의 외곽방향 주행속도가 감소

되는 현상은 시스템의 연동체계가 도심방향으로 설정되어 있고 시험가로축의 신호체계가 Single-Ring체계로 설정되어 있기 때문이다. 즉, 과포화시에는 도심방향의 압박현상을 예방하기 위하여 도심방향 이동류의 녹색시간을 줄이고 이를 동서방향 이동류에 할당하기 때문에 외곽방향의 녹색시간도 감소하게 되고 결과적으로 외곽방향의 주행속도도 감소하게 된다.

신호주기별 평균지체시간은 19-45%의 개선 효과를 나타내는 것으로 분석되었다. 논현천주교 앞 교차로의 접근로별 지체시간은 남북방향의 지체시간이 동서방향의 지체시간보다 모두 낮게 나타났다. 이는 논현천주교 앞 교차로의 신호시간이 동서방향으로는 인접교차로의 신호시간에 의한 연동을 고려하지 못하기 때문으로 판단된다.

신호현시별 교통용량은 고정시간 신호제어시에는 통행수요의 변화에 민감하게 대응하지 못하기 때문에 일단 정체가 발생하면, 그 주기 이후의 통행수요가 용량에 근접할 경우에는 혼잡이 지속된다. 이에 반하여 교통량 대응신호제어에서는 통행수요에 의하여 녹색신호시간을 효율적으로 배분하므로 정체를 방지할 수 있을 뿐 아니라, 정체가 발생하더라도 짧은 시간에 이를 해소할 수 있다.

효율성 지표의 평균값(대응모드 0.223, TOD모드 0.278)에 의하여 대응모드가 TOD모드보다 녹색시간을 효율적으로 각 현시에 배분하고 있음을 판정할 수 있다. 또한, 효율성 지표의 변화폭의 평균값(대응모드 0.127, TOD모드 0.217)에 의하여 대응모드가 TOD모드보다 통행패턴의 변화에 효율적으로 대처하고 있음을 알 수 있다. 이러한 분석결과는 교통대응신호제어의 신호시간 계획이 '동일한 포화도의 원칙'의 측면에서 고정시간 신호제어의 신호시간계획보다 효율적으로 이루어졌음을 나타내고 있다.

본 논문에서는 신신호 제어시스템의 신호제어 개념과 현장시험결과를 요약설명하였다. 교통신호 제어시스템은 제어지역의 특수한 교통상황, 즉

도시의 구조와 도로형태, 신호교차로의 구조, 교통흐름과 운전행태 등에 의해 신호시스템의 기능과 신호제어전략들은 달라져야 한다. 신신호시스템의 개발은 국내의 교통특성을 파악하고, 기개발된 외국 시스템 기술의 정밀분석, 그리고 국내 교통특성에 적합한 교통제어전략의 개발을 병행하여 진행하였다. 신신호시스템은 외국의 교통제어시스템의 구조와 기능, 제어전략에서 완전히 다른 시스템이 아니라 신호제어의 우선순위 및 제어알고리즘에서 기본형태를 유지하되 국내 교통상황의 특수성을 고려하여 개발된 시스템이다. 우리나라의 교통현실은 도시의 구조와 도로형태, 신호교차로의 구조, 교통흐름과 운전행태 등 여러가지 측면에서 외국과는 다른 양상과 특징을 나타내고 있다. 이들 중에서 몇몇 요소들은 교통제어전략이나 교통상황에 따라 변하거나 제어가 가능한 것들이지만 다른 요소들은 교통신호제어의 제약요소로 작용할 것이다. 따라서 향후 신신호시스템의 개선에는 국내 교통환경의 특수성, 즉 도시의 구조와 도로망체계, 신호교차로의 구조, 교통흐름과 운전행태 등에 관한 심도깊은 기초연구의 결과가 신호제어전략과 신호제어 알고리즘에 반영될 수 있도록 하고, 제어전략과 제어알고리즘의 효율성을 다양한 현장시험을 통하여 평가하는 노력이 경주되어야 할 것이다.

참고 문헌

1. 서울특별시 교통신호 제어시스템 기술개발(3차년도) 중앙시스템 개발보고서. 서울특별시 지방경찰청, 1993.12.
2. 서울특별시 교통신호 제어시스템 기술개발(3차년도) 제어알고리즘 및 현장실험 분석평가서. 서울특별시 지방경찰청, 1993.12.
3. 이영인, 이승환 등. 신 교통신호 제어시스템의 신호제어 알고리즘. 교통안전연구논총, 도로교통안전협회, 1994. 12.

4. K.J. Fehon and S.E. Moore. Dynamic Control of a Medium Sized Traffic Signal Network. Australian Road Research Board Proceedings, Vol 11, Part 4, 1982.
5. 박병소. 우리나라 전자교통신호의 문제점과 장래. 세계한민족 과학기술자 종합학술대회 논문집, 한국 과학기술단체 총연합회, 1993.
6. Transportation Research Board. Highway Capacity Manual Special Report 209. National Research Council, Washington D.C., 1985.
7. Tien-Pen Hsu. The Problem of Performance Evaluation at Signalized Intersections with Various Traffic Control Strategies. Highway Capacity and Level of Service. International Symposium on Highway Capacity, Karlsruhe, July 1991.