

반감응기반의 신호연동제어의 현장 적용 및 평가

Application and Evaluation of Traffic Signal Coordination Based on Semi-actuated Control

김 규 옥

(한국교통연구원 첨단교통기술연구실
책임연구원)

육 동 근

(고양시청 교통행정과 전문위원)

문 영 준

(한국교통연구원 첨단교통기술연구실
연구위원)

목 차

- | | |
|--|---------------------------|
| I. 서론 | III. 시스템 구축 및 현장평가 분석 |
| II. 지방부 도로상의 신호교차로를 위한 신호제어시스템의 요구 기능 설계 | 1. 현장평가 교차로의 구조 및 교통특성 분석 |
| 1. 신호제어기의 제어기능 고찰 | 2. 시스템 설치 및 구축 |
| 2. 지방부 도로의 특성 | 3. 현장평가 방법론 |
| 3. 지방부 도로상의 신호교차로를 위한 요구 제어 기능 설정 | 4. 현장평가 분석결과 |
| 4. 신호제어 개념 및 운영 원리 | IV. 결론 |
| | 참고문헌 |

I. 서론

도시부의 신호체계는 교통량 변화에 실시간 대응할 수 있는 실시간 신호제어 체계로 발전되어 가는 추세이지만 국도 및 지방도상의 교차로는 대부분 일반신호제어기 및 전자신호제어기로 운영되고 있다. 이러한 신호제어기는 Gap 감응 제어는 가능하지만, 완전감응, 반감응, 딜레마 감응 제어 등 지방부 도로의 교통 특성을 반영할 수 있는 감응제어 기능을 수행하지 못한다. 지방부 신호교차로는 오전 및 오후 첨두시에 이용하는 교통량의 변동이 심해 감응제어가 효과적이라 판단된다. 또한, 신호교차로가 서로 인접해 있을 때는 각각의 교차로를 독립적으로 운영하기보다 연동의 효과를 높일 수 있는 연동제어가 필요하다.

경기도 고양시내를 관통하는 310번 지방부 도로의 신호교차로가 대부분 정주기식 신호제어 방식으로 운영되고 있어 신호운영의 효율성이 급격히 떨어지고 있는 실정이다. 보행자 통행이 거의 없는 횡단보도에서 주기적으로 보행자 신호를 제공하기 때문에 교통흐름이 단절되

고 있을 뿐만 아니라 신호교차로의 용량 감소 원인이 되고 있다. 주행속도가 70km/h 이상으로 운영되는 신호교차로에서 운전자가 감속하기 어려운 도로운영 조건하에서 신호의 변경시 운전자의 과실로 인한 사고의 위험성이 매우 높은 실정이며 첨두시 방향별 교통수요의 변동폭이 매우 크다. 신호교차로의 효율성과 안전성을 높이기 위해 교통량에 따라 신호를 자동으로 조절하고 신호교차로에 접근하는 운전자의 안전을 높일 수 있는 신호제어 시스템의 구축이 필요하다.

본 논문에서는 공통 주기를 이용한 반감응기반의 연동제어를 구현한 신호체계의 효과를 평가해 보고자 한다. 본 논문은 모의실험이 아닌 현장에서의 시스템 구축 및 운영을 통해 일 반국도 혹은 지방도에서의 반감응기반 연동제어의 적용성을 제시한 것에 의의가 있다. 이를 위해 고양시 310호선의 5개 교차로에 신호제어 시스템을 구축하였고 이에 따른 사전, 사후 평가를 실시하였다.

II. 지방부 도로상의 신호교차로를 위한 신호제어시스템의 요구 기능 설계

1. 신호제어기의 제어기능 고찰

현장 신호등의 등화 구동 주체가 어디인가에 따라 신호 제어모드는 크게 중앙 제어모드 (On Line Mode), 지역 제어 모드 (Off Line Mode), 안전 제어모드 (Fail Safe Mode)로 구분된다. 또한 신호등화 시간계획을 작성하는 방법에 따라 제어 방법은 실시간 제어 (Real Time Control), 시간대 제어 (TOD Control), 고정제어 (Manual Control)로 구분된다.

경찰청 표준제어기에서 제시하는 지역 기능은 다음을 포함한다.

- 지역 감응제어 (한계비점유감응, 누적손실시간감응, 최대유출율감응, 보행자감응, NEMA감응)
- 앞막힘제어 (앞막힘 조기종결제어, 앞막힘형평오프셋제어)
- 특수제어 (점멸/조광/소등제어, 현시 생략/유지, 시차제어, 램프제어, 비상제어 (선택), 가변차로제어 (선택), 수동제어 등)

지역제어 기능 중 NEMA 감응제어 기능은 미국의 NEMA(National Electrical Manufacturers Association)에서 규정하는 감응제어기능으로 감응제어 원리가 한계비점유감응, 누적손실시간감응, 최대유출율감응 원리와 다르다. NEMA 감응제어는 크게 반감응제어 (Semi-Actuation), 완전감응제어 (Fully-Actuation), 교통량-밀도 감응제어 (Volume-density Actuation) 으로 구분된다. 본 연구에서 사용하는 용어 “반감응”은 NEMA의 감응제어 중 하나인 반감응제어를 나타낸다. 이 기능은 국내의 지역감응 기능 중 선택사항으로 되어 있다.

2. 지방부 도로의 특성

도시부는 짧은 링크길이와 많은 이면도로의 네트워크 형태로 구성된 도로에 적합하도록 신호 제어 시스템이 운영되고 있다. 이러한 도시부 신호 시스템은 신호 연장 기능 및 현시 생략 기능이 없는 Dual-Ring 감응제어로 운영되고 있다. 이와 달리 국도의 경우 긴 링크 길이에 적은 이면도로의 선형 형태로 구성되어 있다. 도시부 도로의 교통 특성과는 달리 부방향의

교통량이 주방향의 교통량에 비해 상대적으로 적으며, 시간대별로 교통량의 차이가 큰 교통 특성을 지니고 있다. 지방부의 국도가 도시부 도로와는 전혀 다른 교통 특성을 지니고 있는 상태에서 도시부 신호 전략 및 제어 알고리즘을 국도에 적용을 하게 되다며, 국도에서 요구되는 신호연장 기능, 신호 생략 기능 등이 전혀 고려되지 않기 때문에 불필요한 신호 시간이 부여되게 된다.

일반국도의 신호운영 효율을 높이기 위해 필요한 제어기능이 실제 교통네트워크 상에서 효과적으로 구현되려면 새로운 제어 개념, 전략, 알고리즘 등이 필요하게 되었다. 이러한 필요에 따라 국도에 적합한 신호제어시스템이 비교적 최근에 개발되었다. 오산 세마대 교차로와 인접 1개 교차로를 대상으로 구현되었다. 하지만 보행자 감응과, 좌회전 감응 등의 기능이 평가되지는 못했다.

3. 지방부 도로상의 신호교차로를 위한 요구 제어 기능 설정

1) 반감응 제어

일반국도는 3지 교차로가 가장 많은 교차로 형태를 이루고 있으며, 주도로와 부도로가 교차하는 교차로 형태가 3지 교차로 전체의 73%에 이르고 있다. 이러한 형태에서 주도로는 도로폭 원도 넓고, 교통량이 많은 반면 부도로 접근로는 일반적으로 편도 1차로 도로이고 교통량이 매우 적은 경향을 보이고 있다. 3지 교차로에서는 반감응 신호제어가 효과적이며, 주도로에서 부도로로 좌회전하는 이동류와 부도로에서 주도로로 좌회전하는 이동류에 각각 차량검지를 설치하고, 횡단보도가 있을 시는 보행자 감응제어를 채택하면 주도로의 불필요한 신호대기나 정지로 인한 추돌사고를 감소시킬 수 있다고 판단된다. 일반신호제어기 및 전자신호제어기를 기반으로 한 기존의 3지 현시체계에서는 감응제어의 운영 효과의 한계가 있으므로 3지 교차로 현시체계에 대한 재고찰과 함께 반감응제어와 교차로 간의 연동제어가 가능한 신호제어시스템의 확대 적용이 필요하다고 판단된다.

2) 보행자 감응제어

도시부 도로의 경우 주간에는 횡단보행자가 많아 고정된 보행자 신호시간으로 신호제어를 하

여도 운영상 큰 지장이 없지만, 보행자가 없는 야간에도 주간과 동일하게 신호제어를 함으로써 불필요한 차량의 정지와 지체를 야기하기도 한다. 특히, 지방부 도로의 단일로 횡단보도는 주간에 보행자가 적은 경우도 고정 신호시간으로 운영되고 있어 불필요한 차량의 정지와 지체를 야기하고 있다. 따라서 횡단보행자가 있을 경우에만 보행자 신호를 제공할 수 있도록 보행자 감응 신호제어 방식을 적극 적용해야 한다. 특히, 교통사고가 많이 발생하는 신호 교차로나 횡단보도에 대해서는 현시방법, 현시순서의 변경, 황색시간의 연장이나 전적색시간의 도입, 보행신호시간 변경 등의 조치를 강구해야 한다. 시거가 부족한 접근로에 대하여도 같은 조치를 취하여 안전성을 높여야 한다.

3) 변동이 심한 교통량에 대응할 수 있는 신호체계 운영

현장에 적용 가능한 좌회전 감응제어 및 보행자 감응제어의 적용을 확대시키고, 동시에 주도로와 주도로가 교차하는 중요교차로에 대해서는 교통상황에 대응하는 신호체계로의 전환이 필요한 것으로 판단된다.

4. 신호제어 개념 및 운영 원리

인접한 교차로와의 연동 효과를 얻기 위하여 연동 제어를 실시하는 것을 기본으로 하고 같은 교차로 군에 속한 제어대상 축 상의 교차로에 횡단보도 혹은 좌회전 배이가 있는 경우 보행자 혹은 좌회전 차량의 수요가 있는 경우만 감응이 이루어지도록 하여 주방향의 교통흐름이 단절되는 것을 최소화한다. 중요교차로에 설치된 검지기를 통해 얻어진 교통량, 통행속도, 점유율 등의 정보는 센터로 전해지며 연산을 통해 얻어진 신호주기는 연동제어를 위해 공통주기로 사용되며 각 제어기로 이 값이 전해진다.

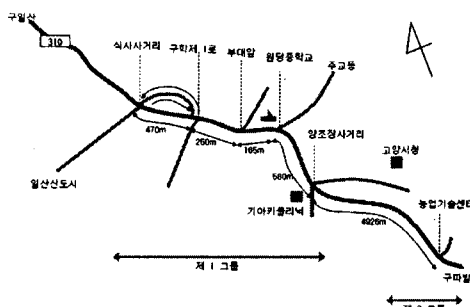
연동제어를 하기 위해서는 공통주기를 사용하기 때문에 감응식 제어와 연동 제어를 동시에 수행할 시에는 반 감응제어 형태로 운영된다. 감응식 연동제어 수행방법은 다음과 같다. 먼저 감응식 연동제어는 공통주기에 맞추어서 작동된다. 연동현시는 연동그룹 내에서 일치 또는 연동이 되어야 하고, 연동현시는 Yield Point에서 종료될 하게 된다. 연동은 Yield Point를 기준점으로 각각의 교차로간에 연동이 적용된

다. 부방향 시간 제공은 Permissive Periods에서 차량/보행자 Call을 검지를 하여 부방향 현시를 제공한다. Permissive Periods에서 Call이 없을시 현시는 생략이 된다. Yield Point 시점 이후에 부방향 현시(감응현시)가 제공이 되며, 부방향 현시의 최대값(Max-Out)은 Force-Off가 된다. Gap-Out에 의해 미리 종료가 되면 주방향에 잔여 녹색시간이 제공을 함으로써, 주방향 녹색시간을 최대로 제공을 한다(Recall).

III. 시스템 구축 및 현장평가 분석

1. 현장평가 교차로의 구조 및 교통특성 분석

<그림 1>은 반감응 신호제어시스템 구축 및 평가를 위하여 선정된 신호 교차로를 나타낸다. 교차로간의 거리가 가까운 4개 교차로 즉 구학제 1로, 부대앞, 원당중학교, 양조장사거리는 신호 연동의 효과가 큰 교차로 군으로 제 1 그룹에 농업기술센터는 독립교차로에 해당되며 제 2 그룹에 속한다.



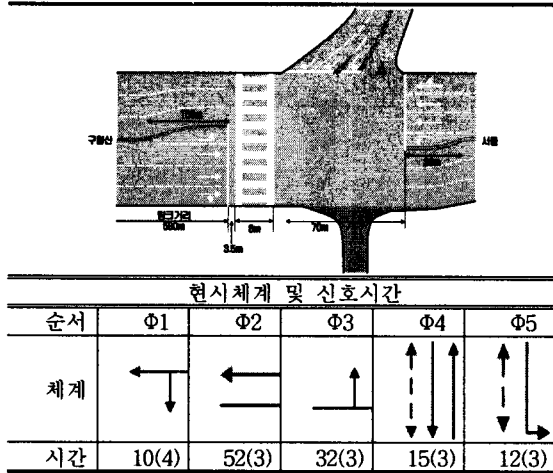
<그림 1> 현장평가 교차로 전체도

1) 기하구조 및 신호현시 분석

○ 식사사거리 교차로 :

통과교통량이 많은 4지 교차로로 불균형한 차로배분과 고르지 못한 도로포장상태로 사고의 위험이 큰 것으로 판단된다. 특히, 일산방향 직진과 구일산방향 우회전 차량이 한 개 차로를 공유하는 부도로인 경우, 우회전 차량이 중앙선을 침범하는 상황이 많이 발생한다.

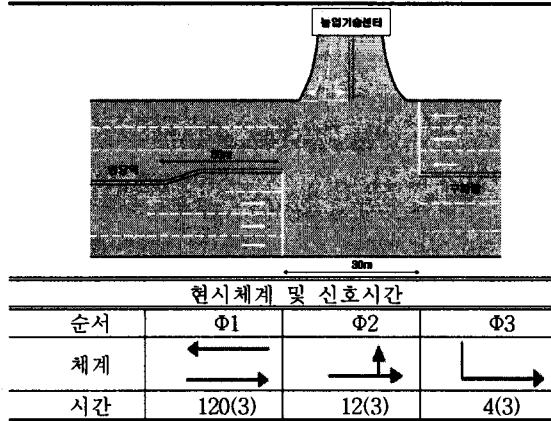
<표 5> 양조장사거리 기하구조 및 신호현시



○ 농업기술센터 교차로 :

농업기술센터 진출입하는 차량을 위한 좌회전차로가 있으나, 회전교통량이 적어 기존 운영중인 정주기식 운영방식은 적합하지 않는 것으로 판단된다.

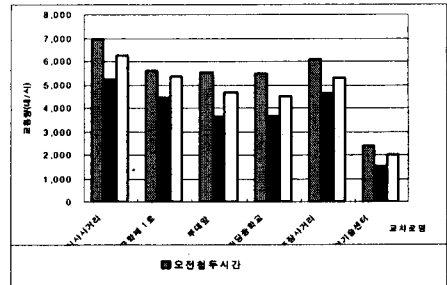
<표 6> 농업기술센터 기하구조 및 신호현시



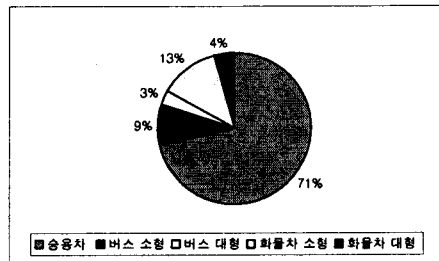
2) 교차로 교통특성 분석

전체 교차로에서 오전 첨두시간 교통량이 어느 시간대보다 많은 것으로 나타났다. 식사사거리의 오전 첨두시간 평균교통량은 약 7,000대/시로 가장 많았고 양조장 사거리의 약 6,000대/시로 나타났다. 구학제 1로·부대앞·원당중학교는 약 5,500대/시로 비슷한 경향을 보였다. 한편, 농업기술센터는 교통량이 약 2,300대/시로 가장 낮았다. 시간대별 특성을 살펴보면, 오전·오후 첨두시 교통량의 차이는 매우 작은 것으로 나타났으며, 비첨두시간 평균교통량은 오전첨두시간대의 약 70%정도였다. 사업대상

교차로를 통과하는 차종은 대부분이 승용차(71%)로 나타났다. 전체 교차로에서 식사사거리를 제외한 교차로에서 주방향 교통류가 대부분이었다. 특히, 구학제 1로(99.3%)·부대앞(99.7%)·농업기술센터 교차로(98.9%)는 직진방향의 차량비율이 매우 높았다.

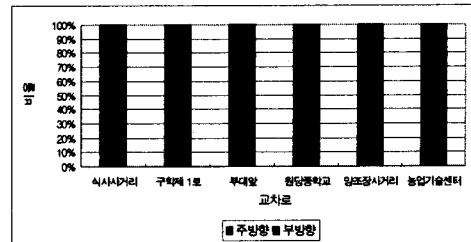


<그림 2> 교차로별 시간별 전체교통량



<그림 3> 전체 교차로 차량별 비율

전체 교차로에서 식사사거리를 제외한 교차로에서 주방향 교통류가 대부분이었다. 특히, 구학제 1로(99.3%)·부대앞(99.7%)·농업기술센터 교차로(98.9%)는 거의 모든 차량이 주방향 교통류로 나타났다.



<그림 4> 교차로별 사전 주·부방향 교통량 비율

2. 시스템 설치 및 구축

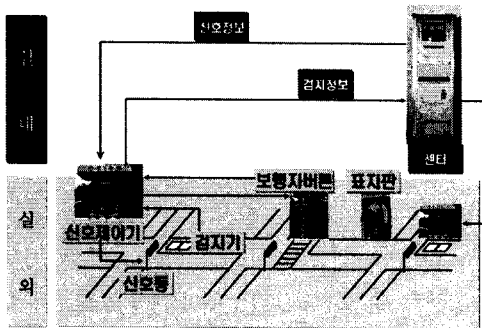
지방도 310호선은 주도로와 부도로의 교통량이 확연히 차이가 있고 방향별 교통량이 첨두와 비첨두시에 차이가 있으므로 반감응제어로 운영할 수 있다. 또한 식사사거리, 구학제 1로, 부대앞, 원당중학교, 양조장 사거리 교차로가 1.5km 이내에 위치해 있으므로 연동그룹으로 묶어 운영할 필요가 있다. 연동그룹 내에서 양조장사거리 교차로를 CI (Critical Intersection)

교차로로 설정하였고 이 교차로의 차량 검지체계로부터 얻어진 신호주기 정보를 반감응 제어를 위한 공동신호주기로 이용하여 인접 교차로와 연동하는 시스템을 구축한다.

신호제어 시스템은 크게 현장부분과 센터부분으로 나뉘어져 있는데, 센터 부분은 교통신호제어 서버, 신호통신제어장치, 통신장치 등으로 구성되어 있다. 현장부분은 지역교통신호제어기, 검지기, 통신장치 등으로 구성되어 있으며 각 교차로에 설치된 검지기로부터 수집된 데이터는 지역교통신호제어기를 통하여 가공된 후 통신장치를 통하여 센터로 전송되어진다. 각 교차로의 제어 방식과 설치물은 <표 7>과 같다. <그림 5>는 시스템 운영 개념도를 나타낸다.

<표 7> 교차로별 제어 방식과 설치물 현황

교차로명	제어 방식	설치물
구학제 1로	반감응 제어 좌회전감응 제어 보행자감응 제어	표준제어기 보행자압버튼 신호표지판
부대앞	반감응 제어 좌회전감응 제어 보행자감응 제어	표준제어기 보행자압버튼 신호표지판 노면표시
원당중학교	반감응 제어 좌회전감응 제어	표준제어기
양조장사거리	교통대응 제어	표준제어기
농업기술센터	반감응 제어 좌회전감응 제어	표준제어기 신호표지판 노면표시



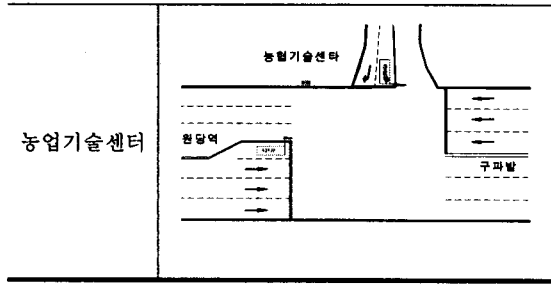
<그림 5> 시스템 운영 개념도

구학제 1로 교차로에는 상류부에 8각 검지기 6개와 좌회전신호 감응제어를 위한 룽루프 1개를 설치하고, 관련 신호제어기와 보행자 압버튼을 설치하였다. 부대앞 교차로에는 좌회전 차선 2곳에 좌회전감응제어를 위한 룽루프 2개를 설치하고 좌회전 차량과 우회전 차량을 구분하기 위해 노면표시를 하였다. 횡단보도에 구학제 1

로 교차로와 같이 보행자 압버튼을 설치하였다. 원당중학교 교차로에는 상류부에 8각 검지기 6개를 설치하였고 좌회전감응을 위해 좌회전 차선에 룽루프를 설치하였다. 양조장 사거리 교차로에는 정지선에 32각 검지기 10개와 상류부에 8각 검지기 6개를 설치하였다. 농업기술센터에는 좌회전 감응제어를 위한 룽루프 검지기 2개를 농업기술센터에 출입하는 차량을 검지 가능하도록 설치하였다. 운전자에게 교차로의 감응제어 교차로임을 인지시키기 위하여 “감응제어” 표지판을 설치하였다. 또한, 좌회전 차량과 우회전 차량의 명확한 구분을 위하여 노면 도색 작업을 다시 하였다.

<표 8> 교차로별 검지기 설치 위치

교차로명	검지기 설치 위치
구학제	
부대앞	
원당중	
양조장사거리	



3. 현장평가 방법론

현장운영평가는 시스템 구축 전·후의 현장조사 자료를 비교·분석하여 이루어졌다. 반감응 신호제어 시스템 구축 이전의 신호제어 방식을 고정시간 제어방식, 구축 이후의 신호제어 방식을 반감응 제어방식이라 정의하였다. 각각의 제어방식에 대해 현장평가가 이루어졌다.

1) 현장조사 시간대 및 항목

시스템이 구축되기 이전인 2005년 8월 23일~24일 이틀 동안 1차 현장조사를 실시하였다. 현장조사에는 시스템의 영향권 내에 있는 식사사거리 교차로를 포함하였다. 시간대별 교통특성을 파악하기 위하여 조사시간을 오전첨두시·비첨두시·오후첨두시로 구분하였고, 조사항목은 교통량, 정지지체시간, 대기행렬길이, 보행자 대기시간으로 세분화하였다. 시스템이 구축된 후인 2005년 11월 2일~4일 삼일동안 2차 현장조사를 실시하였으며, 조사대상 교차로와 조사시간대, 조사항목 및 조사방법은 시스템 구축 전에 실시된 1차 현장조사와 동일하다.

○ 조사시간대

- 오전첨두 : 07:30~09:30
- 비첨두 : 13:00~15:00
- 오후첨두 : 17:30~19:30

○ 조사항목 및 조사방법

- 교통량(대/시): 교차로마다 주방향과 부방향의 모든 접근로에 각각 1명의 조사원을 배치하여 15분 단위 방향별·차종별 교통량을 조사하였다. 차종구분은 승용차, 소·대형버스, 소·대형 화물로 구분하였다.
- 평균정지지체시간(초/대): 주방향 및 부방향 모든 접근로 정지선에 각각 1명의 조사원을 배치하여 15초 단위로 정지차량대수와 통과차량대수를 조사하고 아래의 식으로 평균정지지체시간을 산출하였다.

$$\text{평균정지지체시간} = \frac{(\sum \text{단위시간당 정지차량대수}) \times \text{단위시간}}{\sum \text{단위시간당 통과차량대수}}$$

- 평균대기행렬(대): 주방향 및 부방향 모든 접근로에 조사원을 배치하여 매 주기별로 접근로에 대기하는 총 대기차량대수를 조사하고, 아래의 식으로 접근로별 평균대기행렬길이를 산출하였다.

$$\text{평균대기행렬길이} = \frac{\text{접근로 총대기차량대수}}{\text{차로수}}$$

- 보행자 대기시간(초): 보행자가 횡단보도에 도착한 후 보행자신호를 받을 때까지 시간으로, 횡단보도에 조사원을 배치하여 보행자가 횡단보도에 도착한 시각, 보행자 녹색신호가 켜진 시각을 조사하였다.
- 신호운영시간 분석: 좌회전 감응제어 및 보행자 감응제어가 이루어지는 교차로에서 좌회전 Call 수, 보행자 Call 수, 직진시간비율을 조사하였다.

2) 교차로별 평가지표

대상 교차로별 현장운영평가 평가지표는 <표 9>와 같다. 통과교통량, 정지지체, 대기길이, 신호운영시간 분석은 사전 사후로 구분하여 이루어졌으며, 보행자 대기시간은 사후 분석만이 이루어졌다.

<표 9> 교차로별 현장운영평가 평가지표

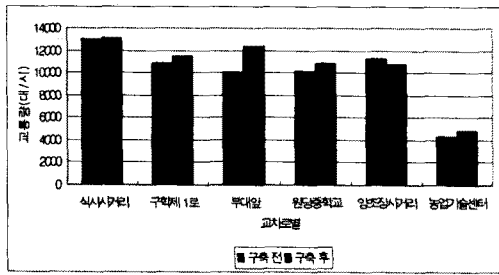
대상교차로	통과교통량	정지지체	대기길이	신호운영시간분석	보행자 대기시간
식사사거리	○				
구학재 1로	○			○	○
부대앞	○			○	○
원당중학교	○	○	○		
양조장사거리	○	○	○		
농업기술센터	○			○	

4. 현장평가 분석결과

1) 교차로 통과교통량 비교분석

대상 교차로별로 시스템 구축 전후의 교차로 통과교통량을 분석하였다. 아래의 <그림 5>는 교차로별로 시스템 구축 전후의 첨두시간대 통과교통량을 비교한 것이다. 양조장사거리에서 약 4.4%정도 통과교통량이 감소하였지만, 양조장사거리를 제외한 모든 교차로에서는 시스템 구축 후의 통과교통량이 증가하였다. 특히, 부대앞 교차로에서는 증가율이 약 25%정도로 크

게 나타났고, 이는 시스템 구축 후의 해당 교차로의 운영효율이 크게 향상되었음을 시사한다.



<그림 5> 교차로별 시스템 구축 전후 통과교통량 분석(첨두시간대 기준)

시스템 구축 전·후의 이동류별 시간대별 교통량 변화를 분석한 결과, 중요교차로인 양조장사거리를 제외한 나머지 교차로의 부방향 교통량 증가율은 약 40%로 나타났다. 주·부방향의 교통량의 편차가 큰 교차로에서는 불필요한 신호현시를 조기종결하거나 생략하고 교통수요가 많은 방향에 더 많은 현시를 배분함으로써 신호운영의 효율성을 향상시킬 수 있다.

2) 평균정지지체 비교분석

평균정지지체 조사는 원당중학교와 양조장사거리에서 이루어졌다. 시스템 구축 전과 구축 후의 교차로 정지지체시간을 정리하면 <표 10>과 같다. 원당중학교에서는 구축 전·후의 평균정지지체시간이 5.79초/대에서 4.54초/대로 22% 감소하였다. 양조장사거리에서는 구축 전·후의 평균정지지체시간이 8.86초/대에서 5.54초/대로 37% 감소하였다.

<표 10> 1시간 단위 평균정지지체시간(초/대)

시간범위		현장 조사	원당 중학교	양조장 사거리
오전첨두시	7:30~8:30	구축 전	8.87	7.82
		구축 후	5.46	4.63
	8:30~9:30	구축 전	8.62	9.44
		구축 후	5.89	4.72
비첨두시	13:00~14:00	구축 전	8.32	8.50
		구축 후	5.74	4.82
	14:00~15:00	구축 전	8.57	8.35
		구축 후	5.67	4.57
오후첨두시	17:30~18:30	구축 전	8.31	8.28
		구축 후	6.24	4.48
	18:30~19:30	구축 전	7.65	6.70
		구축 후	5.81	4.11

이동류별 평균정지지체시간을 분석해보면, 원당중학교 교차로에서는 부방향 평균정지지체시간은 증가한 반면, 주방향에서는 감소한 것으로 나타났으며, 비첨두시간대보다는 첨두시간대의 평균정지지체시간의 변화가 더 큰 것으로 나타났다. 특히, 식사삼거리로 향하는 이동류의 첨두시간대 평균정지지체시간 감소율은 약 58%로 분석되었다.

<표 11> 원당중학교 평균정지지체시간 증감율(%)

방향구분		오전첨두	비첨두	오후첨두
주방향	원당→일산방향	58% 감소	22% 감소	52% 감소
	일산→원당방향	33% 감소	28% 감소	33% 감소
부방향		50% 증가	11% 증가	16% 증가

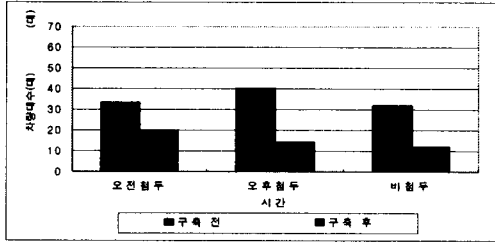
양조장사거리 평균정지지체시간을 분석한 결과, 주방향 이동류는 평균 약 45% 감소한 반면, 부방향 이동류는 증가한 것으로 나타났으며, 부방향 이동류의 평균정지지체시간 증감율은 약 20%미만으로 분석되었다.

<표 12> 양조장사거리 평균정지지체시간 증감율(%)

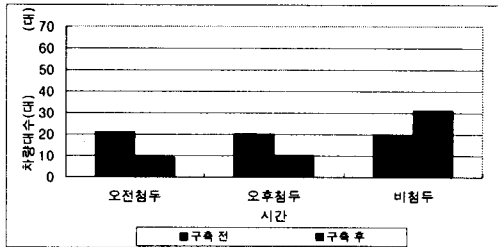
방향구분		오전첨두	비첨두	오후첨두
주방향	원당→일산방향	44% 감소	45% 감소	42% 감소
	일산→원당방향	46% 감소	39% 감소	42% 감소
부방향	양조장→고양시청	7% 증가	6% 감소	11% 증가
	고양시청→양조장	17% 증가	8% 증가	22% 증가

3) 평균대기길이 비교분석

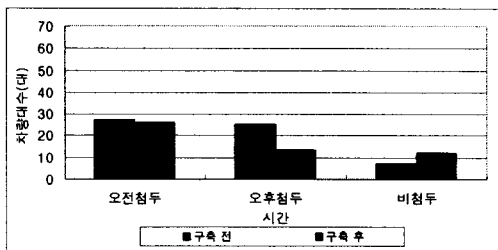
원당중학교 교차로에서 주방향 도로인 원당방향과 일산방향을 대상으로 시스템 구축 전·후의 대기행렬길이를 비교해 본 결과 모든 시간대에서 42%~63%정도 감소하였다. 특히 오후첨두시에 문제되는 일산방향의 대기행렬의 길이가 오후첨두시에 40대(정주기식 제어)에서 19대(반감응 신호제어)로 21대(53%)가 감소하였다. 오전첨두시와 비첨두시 각각 14대 42%, 20대 63% 감소하였다. 원당방향의 대기행렬길이는 오전첨두시와 오후첨두시 각각 57%, 50% 감소하였다.



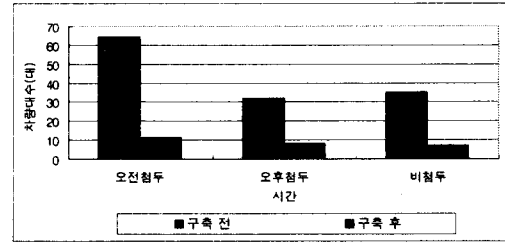
<그림 6> 원당중학교 원당→일산방향 평균대기행렬



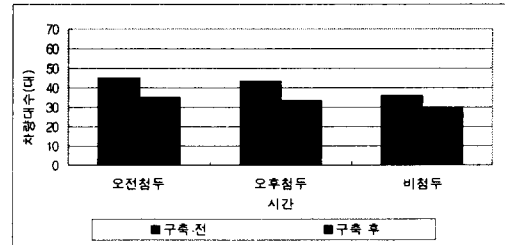
<그림 7> 원당중학교 일산→원당방향 평균대기길이



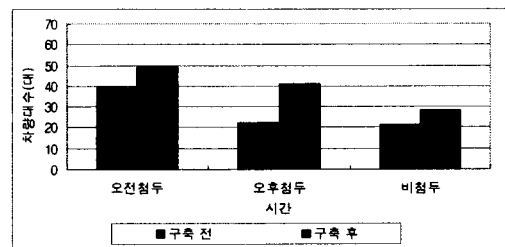
<그림 8> 원당중학교 부방향 평균대기행렬



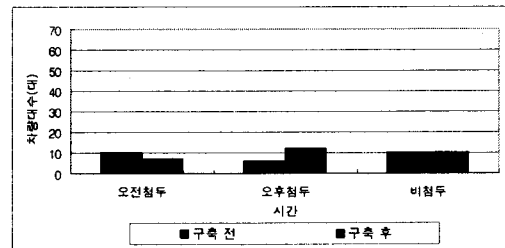
<그림 9> 양조장사거리 서울→일산방향 평균대기길이



<그림 10> 양조장사거리 일산→서울방향 평균대기길이



<그림 11> 양조장사거리 고양시청방향 평균대기길이



<그림 12> 양조장사거리 양조장방향 평균대기길이

양조장사거리에서 주방향인 서울방향과 일산방향을 대상으로 시스템 구축 전·후의 평균대기행렬길이를 비교해 본 결과, 두 방향 모두 모든 시간대에서 대기길이가 감소한 것으로 나타났다. 특히 서울방향보다 일산방향의 대기길이가 크게 감소하였다. 일산방향 대기행렬길이는 오전첨두시 약 83%, 비첨두시 약 80%, 오후첨두시 약 75%감소하였으며, 서울방향 대기행렬길이는 오전첨두시, 비첨두시, 오후첨두시에 각각 약 19%, 24%, 19%감소하였다.

부방향의 경우, 고양시청방향 대기행렬길이는 오전첨두시와 비첨두시 각각 26%, 33% 증가하였으며, 오후첨두시에 약 86% 증가하였다. 양조장방향의 대기행렬길이는 오후첨두시에 100% 증가하였으나, 오전첨두시에는 30% 감소하였고, 비첨두시는 아무런 변화가 없었다. 이는 양조장사거리는 주·부방향 모두 교통량이 많고 교통량 편차가 미미하기 때문에 나타난 결과이며, 따라서 양조장 사거리와 같은 교통특성을 갖는 교차로에는 주된 목적이 주방향의 소통원활을 도모하는 반감응 신호제어 시스템 구축은 다소 형평성에 어긋난다고 판단된다.

4) 신호운영시간 비교분석

신호운영시간 조사는 좌회전 차량 및 보행자 감응제어가 이루어지는 구학제 1로·부대앞·농업기술센터 교차로에서 이루어졌다. 세 교차로 모두 기존의 고정신호 제어시 교통수요가 적은 좌회전 차량 및 보행자에게 불필요한 현시를 배분하여 교통흐름 단절 및 교차로 용량감소를 최소화하여 기존 시스템의 문제점을 개선한 것으로 분석되었다.

교차로 별로 신호운영시간을 분석한 결과, 구학제 1로 교차로에서는 반감응 제어시 신호현시 중 90%이상을 교통수요가 많은 주방향 직진이동류에 배분함으로써 기존의 고정신호 제어시보다 효율적으로 운영되고 있다고 판단된다. 반감응 신호제어 운영시 주방향 직진 이동류의 녹색시간 비율은 부대앞 교차로의 경우 약 95%이상, 농업기술센터 교차로의 경우 약 98%로 나타났다.

<표 13> 구학제 1로 신호운영시간 분석

구분	고정신호 제어시	반감응 제어시		
		11월 3일	11월 4일	
오전	좌회전Call수	-	20	22
	보행자Call수	-	8	9
첨두	직진시간비율	80%	91%	90%
	좌회전Call수	-	24	28
오후	보행자Call수	-	3	2
	직진시간비율	80%	92%	91%
비첨두	좌회전Call수	-	19	26
	보행자Call수	-	5	6
	직진시간비율	80%	93%	90%

<표 14> 부대앞 신호운영시간 분석

구분	고정신호 제어시	반감응 제어시	
		(11월 4일)	
오전	좌회전Call수	-	11
	보행자Call수	-	3
첨두	직진시간비율	73%	97%
	좌회전Call수	-	16
오후	보행자Call수	-	6
	직진시간비율	73%	95%
비첨두	좌회전Call수	-	25
	보행자Call수	-	2
	직진시간비율	73%	96%

<표 15> 농업기술센터 신호운영시간 분석

구분	고정신호 제어시	반감응 제어시	
		(11월 2일)	
오전	좌회전Call수	-	20
	보행자Call수	-	보행자 압버튼 미설치
첨두	직진시간비율	95%	96%
	좌회전Call수	-	7
오후	보행자Call수	-	보행자 압버튼 미설치
	직진시간비율	95%	99%
비첨두	좌회전Call수	-	11
	보행자Call수	-	보행자 압버튼 미설치
	직진시간비율	95%	98%

4) 보행자 대기시간 분석

보행자 대기시간 조사는 구학제 1로 횡단보도에 설치된 보행자 압버튼을 사용하여 횡단하는 보행자를 대상으로 실시되었다. 총 33명을 대상으로 조사한 결과, 약 72.7%가 보행자 압버튼을 사용한 것으로 나타났다. 보행자 평균대기시간은 57.0초가 소요되었고, 유효녹색시간과 보행시간을 비교한 결과 횡단보도 유효녹색현시값이 적절히 배분된 것으로 나타났다.

<표 16> 표본수

구분	오전첨두	비첨두	오후첨두	총
표본수	17	11	5	33

<표 17> 보행자 압버튼 사용 비율

구분	횟수(회)	비율(%)
버튼사용	24	72.7
버튼미사용	9	27.3

<표 18> 평균보행자 대기시간 · 유효녹색시간 · 보행시간

평균보행 대기시간(초)	유효녹색 시간(초)	보행시간(초)
57.03	35.06	18.39

IV. 결론

현장평가의 분석결과, 반감응기반의 연동제어를 실시하였을 때 교차로 통과교통량 증가, 평균지체시간 감소, 평균대기행렬길이 감소, 보행자 보행시간 감소, 주방향의 직진 이동류의 소통이 개선된 것으로 나타났다. 이는 반감응 신호제어 시스템이 부방향의 불필요한 신호현시를 조기종결시키거나 생략하여 그 현시값을 교통수요가 많은 주방향에 부여하는 효율적인 신호운영으로 교차로 전체의 교통흐름을 원활하게 한 것이라 사료된다.

우리나라 지방부 도로는 3지형 신호교차로가 가장 많고, 신호교차로의 운영이 대부분 고정식 신호제어 방식으로 이루어지고 있으며, 낙후된 일반신호제어기기로 운영되고 있는 것으로 판단된다. 지금까지 대도시 중심으로 이루어진 신호개선 사업에서 벗어나 일반국도의 신호운영 및 신호체계 개선에 관심을 기울여야 할 때라고 본다. 본 연구는 3지형을 포함한 신호교차로가 다수 포함되어 있는 지방부 교차로 상에서의 신호운영 개선을 위한 반감응기반의 연동제어 신호제어시스템을 구축하여 평가해본 사례로써 매우 의의가 있다. 향후에 지방부 신호교차로의 운영개선을 위해 각 신호제어 방식별 시스템 운영효과를 분석하고, 효과가 입증된 신호제어시스템 및 제어 방식을 도로형태별, 교통수요별, 신호제어 방식별로 설치 및 운영 기준을 정립하는 노력을 계속하여야 하겠다.

참고문헌

1. 경찰청, 『교통신호제어기 표준규격서』, 2004.
2. 건설기술평가원, 『국도상의 신호교차로의 소통 및 안전기능 고도화를 위한 교통신호제어기 개발』, 2004.
3. 한국교통연구원, 『일반국도의 신호운영 개선을 위한 연구』, 2004.
4. 한국교통연구원, 고양시, 『반감응제어 신호기 설치사업 사업관리』, 2005.