

# 천안시 외곽지역의 완전 감응식 신호제어운영 적용 연구

Feasibility Test for Full Actuated Signal Control at Rural Area of Cheonan City

박순용

김동녕

이두선

강중원

(단국대학교, 박사과정) (단국대학교, 교수) (삼안 교통기획부, 사원) (충남지방경찰청, 경장)

Key Words : 감응식 신호제어, 교차로 제어지체, 신호교차로 현장평가

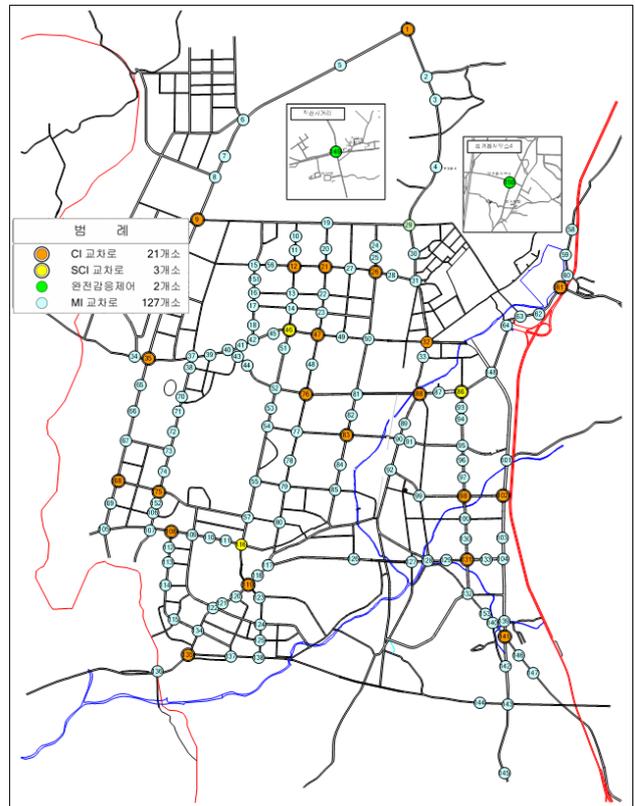
## 목 차

- 1. 서론
  - 1. 연구배경
  - 2. 연구의 목표 및 범위
- II. 감응식 신호제어 알고리즘
  - 1. 기본개념
  - 2. 현장적용 알고리즘
- III. 연구방법
  - 1. 현장 대상지 선정
  - 2. 현장실험 운영변수
  - 3. 현장실험 방법 및 결과분석 방법
- IV. 실험결과 분석
  - 1. 수요교통량
  - 2. 주기 및 현시길이
  - 3. 교차로 지체
- V. 결론 및 향후연구과제
  - 1. 결론
  - 2. 향후 연구과제

## I. 서론

급속한 자동차대수 증가에 비해 교통공급시설의 미진한 증가는 교통수요가 교통용량시설을 초과하는 현실을 초래하고 있으며, 교통체증 완화라는 현안 문제를 해결하기 위해서 교통시설 확충방안, 교통시설 효율 극대화 방안 등이 대안으로 모색되고 있다. 이에 첨단과학기술에 바탕을 둔 정보수집, 정보처리, 정보제공 등을 통하여 교통소통과 교통안전 등 교통 관련 제반문제를 해결할 수 있는 방안으로 지능형교통시스템(ITS : Intelligent Transportation System)의 중요도가 높게 인식되고 있는 상황이다.

90년대 중반 국내에 도입된 ITS는 96년 과천시 지역 시범사업을 필두로 2001년 모델도시 건설사업 이후 지자체를 대상으로 확산일로에 있으며, 천안시도 2005년부터 ITS 구축사업을 추진하였다. 천안시 ITS 구축 내용은 신호교차로 신호운영변수를 교통수요에 따라 실시간으로 갱신하여 운영효율성 증진을 지원하는 '첨단교통신호제어시스템', 문제가 발생한 도로로 추가 유입을 억제하고 교통량을 분산시키기 위하여 도로 이용자들에게 제공하여야 하는 교통정보의 수집·가공·제공을 지원하는 '교통정보 수집 및 제공 시스템', 버스의 도착시간, 위치, 환승정보 등 대중교통 운행정보를 제공하는 '버스정보 시스템', 그리고 공영주차장 등의 현재 주차 가능면수 및 위치를 VMS를 통해 알려주는 '주차정보 시스템' 등이 있다.



<그림 1> 천안시 ITS 신호제어시스템 위치

## 1. 연구배경

천안시 첨단교통신호제어의 경우, 주요 축별로 신호기를 그룹화 하여 연동화 운영 중에 있으며, 교통량에 따라 실시간으로 주기와 현시가 변동되도록 운영하고 있다. 이렇듯 도시부 Network는 교통대응식(TRC; Traffic Responsive Control) 운영모드의 사용으로 교통지체 및 축별 속도 등의 향상을 확인하였다. 그러나 인접도시를 연결하는 지방부 지역의 경우는 전통적인 정주기식 운영을 사용함으로써 신호운영효율이 낮은 것으로 확인되었다.[1] 이에 보다 효율적인 운영과 실시간 교통대응이 가능한 방안으로 감응식 신호제어시스템이 논의되고 있다.

## 2. 연구의 목표 및 범위

### 1) 연구개발 목표

본 연구에서는 천안시 교통정보센터에서 운영하고 있는 외곽지역의 신호교차로 중 완전 감응식 신호제어 운영이 가능한 성거읍사무소4 교차로를 대상으로, 감응식 신호제어 운영과 정주기식 신호제어 운영의 효과 및 안정성을 비교 평가하는 것이 주요 목적이다.

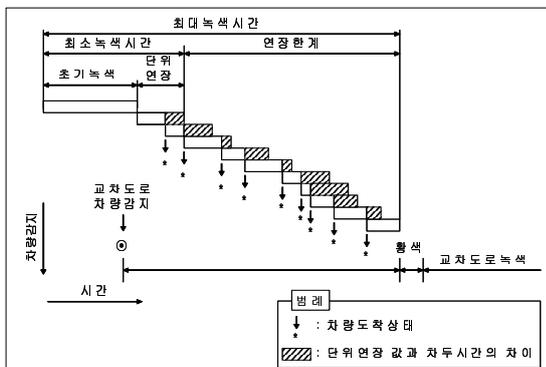
### 2) 연구개발 범위

본 연구의 공간적 범위는 지방부 교차로 성격을 갖는 천안시 외곽의 성거읍사무소4 교차로를 주요 대상으로 한정하였으며, 시간적으로는 완전감응식 신호제어 운영과 정주기식 신호제어 운영을 비교 할 수 있도록 각각 1주일(월~금)간 운영하는 것으로 시·공간적 범위를 구성하였다.

## II. 감응식 신호제어 알고리즘

### 1. 기본개념

감응식 신호제어는 한 개 또는 그 이상의 접근로에 매설되어 있는 차량검지기에 의하여 파악된 교통량을 바탕으로 신속성 있게 신호시간을 조정한다.



<그림 2> 감응식 신호현시의 구조[2]

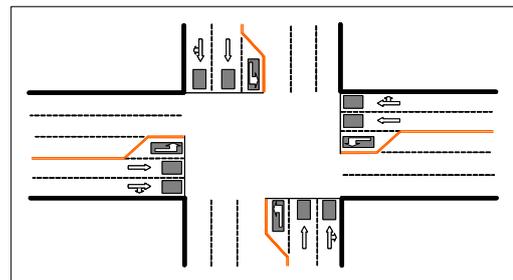
감응식 신호제어의 신호시간은 매 주기마다 변하므로 주변

교차로와 연동(Coordination)시키기는 어렵다. 따라서 밀집한 지역에서는 효과적이지 못하며 독립교차로에 설치·운영하여야 그 효과를 극대화할 수 있다.[3]

감응식 신호제어에는 완전감응식(Full Actuated Control)과 반감응식(Semi-Actuated Control)의 두 가지 방식이 있다. 완전감응식 제어에서는 검지기가 모든 접근로에 있어 해당 방향의 신호시간이 연장, 단축 또는 생략될 수 있다. 반감응식 제어에서는 검지기가 부도로에만 있어 정상시에는 녹색신호가 주도로방향에 유지되다가 부도로에 검지기를 통해 차량이 검지되면 녹색신호가 부도로로 이전되게 된다.

### 1) 완전감응식 신호제어

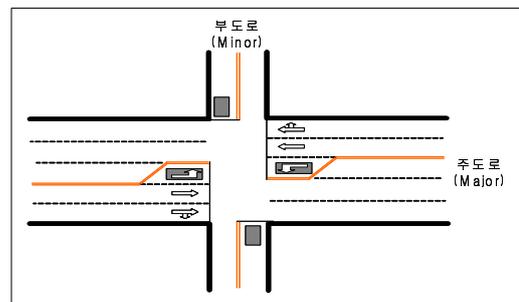
완전감응 신호제어는 보통 두 교차도로의 교통량이 적으면서 상대적인 교통량 변동이 심한 곳에서 사용된다. 완전감응 신호는 최소녹색시간(Minimum Green Interval), 단위연장시간(Unit Extension Interval) 그리고 최대녹색시간(Maximum Green Interval)의 제공시간에 따른 영향이 크며, 특히 단위연장시간의 영향이 매우 크다.[2]



<그림 3> 완전 감응식 검지기 구성

### 2) 반감응식 신호제어

반감응 신호제어는 주도로의 교통량이 부도로에 비해 많은 경우에 감응제어를 통해 부도로의 감응현시에 최소한의 녹색시간만을 제공하고, 주방향의 현시는 녹색시간을 최대로 제공함으로써, 신호를 효과적으로 운영하는데 적용된다.[2]



<그림 4> 반 감응식 검지기 구성

## 2. 현장적용 알고리즘

### 1) 감응식 신호제어 전략 수립

현재 신호교차로에서 일어나고 있는 대기시간을 최소화 하고, 녹색시간 서비스를 극대화하며, 안전하고 편안하게 교차로를 통과하는 것을 목적으로 한다. 완전 감응식 신호제어를 통한 현시의 조기 종결 또는 생략을 구현하여 효율을 극대화시킨다.

단위연장시간(Unit Extension Interval)을 이용하여 최대녹색시간(Max. Green Time)까지 연장하여 해당 이동류의 서비스 수준을 보장하며, 보행시간은 동일 현시의 최소녹색시간(Min. Green Time)으로 정의한다.

### 2) 최대·최소녹색시간의 결정

#### (1) 최대녹색시간(Max. Green Time)

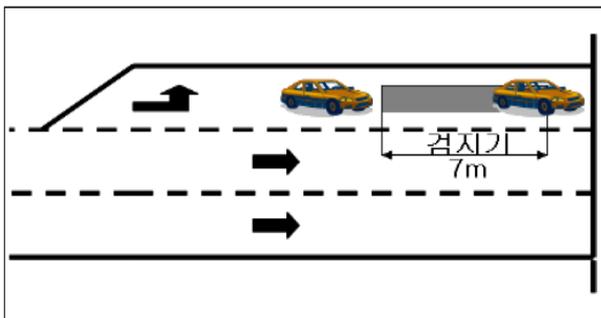
완전감응식 신호제어 시 차량의 포화 상태로 계속해서 녹색시간이 연장된다면 이는 정주기식 신호 제어기 운영과 같은 운영 형태를 가지게 된다. 따라서 최적화 되어진 최대녹색시간에 못 미치거나 초과한다면 이는 오히려 부적절한 효과를 나타나게 된다. 이에 본 연구에서는 최대녹색시간의 범위는 현재 운영중인 정주기식 신호제어의 주기값을 사용한다.

#### (2) 최소녹색시간(Min. Green Time)

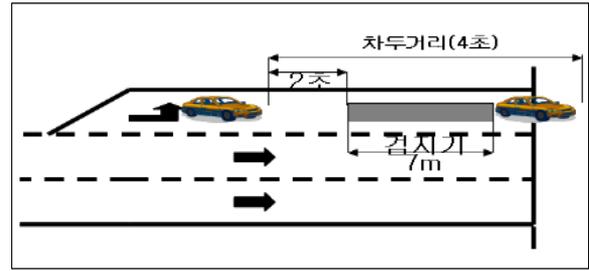
현재 TOD로 운영되고 있는 정주기식 신호 제어 운영에서는 최소보행자 녹색시간을 최소녹색시간으로 사용하고 있다. 정주기식 신호 제어 방식에서 완전감응식 신호제어 방식으로 전환하여도 보행자의 수에는 영향을 미치지 않는다. 따라서, 완전감응식 신호제어 방식에서는 정주기식 전이를 고려하여 최대한 현재의 최소녹색시간을 그대로 유지한다.

### 3) 좌회전 단위연장시간의 결정

아래 그림은 차량이 루프 검지기를 점유 하고 있는 상태의 그림이다. 차량이 루프 검지기를 점유하고 있을 때에는 항상 녹색시간을 연장하여 주고, 계속 점유 상태가 지속 된다면 최대녹색시간까지 연장하여 준다.



<그림 5> 루프 검지기 점유 상태



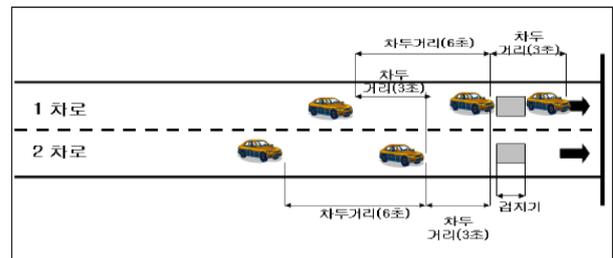
<그림 6> 루프 검지기 비점유 상태

위 그림은 차량이 루프 검지기를 점유하고 있지 않은 비점유 상태의 그림이다. 차량이 루프 검지기를 비점유하고 있을 때에는 단위연장시간을 초과하면 바로 녹색시간을 종료시킨다. 단, 이때 적용 단위연장시간은 차량의 속도에 따라 달라질 수 있다.

<표 1> 속도에 따른 적용 단위연장 시간

차량의 속도 (km/h)	검지기 통과 시간(sec)	희망 단위 연장시간(sec)	적용 단위 연장시간(sec)
20	2.10	3	0.90
30	1.10	3	1.60
40	1.05	3	1.95

### 4) 직진 단위연장시간의 결정



<그림 7> 2차로 직진 단위연장시간

위의 그림은 현재 사용되고 있는 검지기의 현황이다. 현재 사용되고 있는 신호 제어기는 각 차로의 자료를 실시간으로 받아 이 값을 통합적으로 운영한다. 다시 말해서 1차로의 경우 단위연장시간 3초를 초과하였다면 2차로에서 단위연장시간 이내의 Call이 입력된다면 이 현시의 녹색시간은 계속 연장 된다. 만약 단위연장시간을 3초로 하고 위의 그림에서와 같이 직진 2개 차로에 검지기를 설치한다면 이 도로를 운행하는 차량들은 최대 6초의 단위연장시간을 가질 수 있다.

따라서 실제 입력하고자 하는 단위연장시간보다는 작은 값을 넣어주며, 이는 Gap Reduction으로 보완하였다.

### 5) GapReduction[8]

이 기능은 상충하는(Conflict) 차선에서 차량이 대기하는 시간이 길어질 경우 검지기가 Passage Time을 조절해 줄 수 있는 기능이다. 상류부에 설치되어 있는 검지기로 인하여 Allowable Gap이 길어지는 경우가 발생한다. 이때 Sluggish Time이 발생되기 때문에 Gap Reduction 기능을 통해 녹색시

간을 효과적으로 종료시키는 역할을 한다. Gap Reduction에서 사용되는 시간변수는 다음과 같다.

• **Passage time**

이 시간은 Vehicle interval과 같으며, Minimum Green Interval을 초과해서 TBR(Time Before Reduction)에 설정된 시간이 경과하지 않았을 때까지는 계속 같은 값이 적용된다.

• **TBR(Time Before Reduction)**

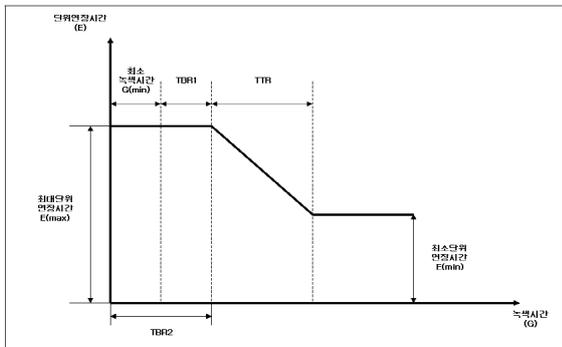
최초의 상대(conflict) 차선 차량의 감지가 있을 후 간격 축소가 이루어지기 전까지 경과해야 할 시간이다. 만약 감지된 차량의 처리 요구가 해소되고 TBR시간이 지나지 않았다면, 초기화되어 다음번의 상대 차선처리 요구가 있기 전까지는 사용되지 않는다. TBR에 설정된 시간이 경과하면 Passage time에 설정된 값과 Minimum Gap에 설정된 시간과의 차이가 축소되기 시작하여 Passage time 값이 Minimum Gap 값에 이를 때까지 계속된다.

• **TTR(Time To Reduce)**

Passage time이 Minimum Gap 까지 감소되는데 걸리는 시간 지정 값으로서, 이를 통해 Gap Reduction 비율이 결정된다.

기존 NEMA방식의 Gap Reduction의 축소 비율은 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$\text{축소비율} = \frac{(\text{Passage Time}) - (\text{Minimum Gap})}{TTR} \quad (1)$$



<그림 8> Gap Reduction Timing

<그림 8>과 같이 Gap Reduction을 실시할 경우 단위연장시간은 다음과 같다.

-  $0 < G_c < TBR_2$  일 때,  
단위연장시간 = 최대단위연장시간

-  $TBR_2 < G_c < TBR_2 + TTR$  일 때,  
단위연장시간 =  $(E_{max} + \frac{E_{min} - E_{max}}{TTR} \times TBR_2) + (\frac{E_{min} - E_{max}}{TTR} \times G_c)$

-  $TBR_2 + TTR < G_c$  일 때,  
단위연장시간 = 최소단위연장시간

### III. 연구방법

대상 신호교차로 접근로 상류에서 접근차량의 85% 속도를 사용하여 루프검지기 설치 위치를 선정하였으며, 이를 바탕으로 녹색신호시간의 단위연장 및 Gap-Reduction을 실시하였다. 또한 하류부에서는 정지선 루프 검지기를 사용하여 주기 및 해당 녹색시간에 통과한 차량대수를 검지하여, 정주기식 신호 운영과 완전감응식 신호운영에서 각각의 교차로 운영체제를 산출하여 비교할 수 있도록 하였다. 정주기식과 완전감응식 신호운영은 각각 1주일(월~금)간 실시하였다.

#### 1. 현장실험 대상지 선정

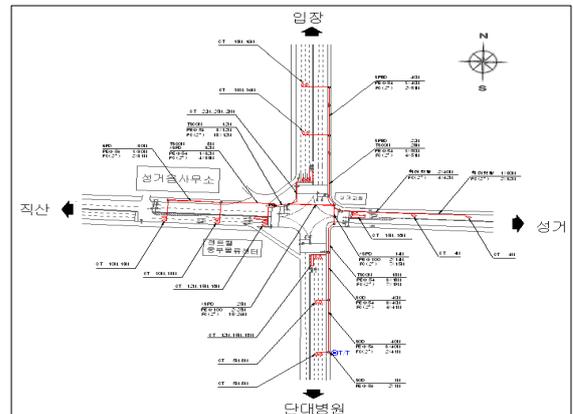
##### 1) 대상 선정 기준

신호교차로의 연구에 있어서 교차로의 기하구조(접근로의 경사, 차로수 및 폭, 주정차상태 등), 교통조건(중차량구성비, 보행자횡단 활동, 주차활동 등), 신호조건(주기길이, 녹색시간, 황색시간 등) 등은 매우 중요한 역할을 한다. 그러나 모든 신호교차로가 일률적인 기준이 있는 것이 아니다. 따라서 연구의 주요 목적인 완전감응식 신호제어와 현재 운영중인 정주기식 방식과의 비교평가를 위해 다음과 같은 기준을 두어 실험대상 교차로를 선정하였다.

- 현재 신호제어기 운영체제가 TOD로 운영되는 곳
- 상류 및 하류부 800m 내에 다른 교차로가 없는 곳
- 주차 등에 의한 노면마찰이 최소인 곳
- 경사가 없으며, 차로 폭 3.0~3.5m인 곳
- 편도 2차로 이상 · 좌회전 전용 차선이 있는 곳
- 보행자의 영향이 최소인 곳

##### 2) 대상지역의 기하구조

앞의 대상 교차로 선정기준에 의해 선정된 지점은 남북으로는 천안과 입장, 동서로는 성거와 직산이 이어지는 천안시 외곽에 위치한 성거읍사무소4 교차로로 이곳의 기하구조는 다음 <그림 9>와 같다.



<그림 9> 대상교차(성거읍사무소4) 교차로 기하구조

## 2. 현장실험 운영변수

### 1) 정주기식 운영변수

2008년 9월 현재 정주기식 운영현시체계 및 현시길이는 다음 <표 2>와 같다. 현재 운영 중인 현시길이는 요일별, 시간별 모두 같은 것으로 조사되었다.

<표 2> 성거읍사무소4의 정주기식 운영변수

구분	현시(Phase, 초)				주기(초)	
	1	2	3	4		
정주기식	월 (08.09.08.)	20	86	27	27	160
	화 (08.09.09.)	20	86	27	27	160
	수 (08.09.10.)	20	86	27	27	160
	목 (08.09.11.)	20	86	27	27	160
	금 (08.09.12.)	20	86	27	27	160

※ 08년 9월 현재 월~금의 주기 및 현시 운영은 동일

### 2) 완전 감응식 운영변수

2008년 9월 24(월)~9월 30일(화)까지 완전 감응식으로 운영한 성거읍사무소4 교차로의 운영변수는 다음 <표 3>과 같다. 완전 감응식 운영을 위한 현시조합은 대상 신호제어기의 인근 횡단보도와 연계로 인해 정주기식과 같은 단일링(Single-Ring) 체계로 구성되었다.

<표 3> 성거읍사무소4의 완전 감응식 운영변수

구분	현시(Phase, 초)				주기(초)	
	1	2	3	4		
완전 감응식	Max G	25	105	40	40	210
	Min G	8	35	26	26	95
	TBR1	3	6	3	3	-
	TBR2	11	41	29	29	-
	TTR	11	30	29	29	-
	Min Gap	2	2	2	2	-
	Max GAP	5	5	5	5	-

## 3. 현장실험 방법 및 결과분석 방법

### 1) 현장실험 방법

본 실험은 교통신호제어기에 탑재된 완전 감응식 신호제어 알고리즘이 현장의 실제 교통상황 및 감지체계 하에서 어떻게 운영되는지 분석하는 것이 주요 목적이다. 이를 위해 동일한 시간대의 기존 정주기식 신호제어 운영 결과와 완전감응식 운영결과를 비교분석하여 완전감응식의 효율성 및 안정성을 분석하고자 하였다.

이를 위한 현장실험 기간 및 수집자료는 다음 표와 같다.

<표 4> 실험기간 및 수집자료

구분	정주기식	완전 감응식
실험일시	2008년 9월 08일(월) ~ 2008년 9월 12일(금)	2008년 09월 24일(수) ~ 2008년 09월 30일(화)
실험시간대	00:00~24:00 (24시간)	00:00~06:00 10:00~24:00 (20시간)
자료수집	지점검지자료	○
	신호운영변수	○
	신호운영자료	○
	교통량 분석	○

※ 완전 감응식 실험시간 : 오전 Peak 제외

### 2) 결과분석 방법

신호운영 결과(TOD, 완전 감응식)와 현장에 설치된 정지선 감지체계(Loop 감지기)에서 산출된 교통량 자료를 이용하여 교차로 평균 제어지체를 효과적도(MOE : Measure Of Effectiveness)로 사용하였다. 교차로 평균 제어지체는 HCM(2004) 방식의 차량당 교차로 평균 제어지체로서, 실험 대상 교차로의 특성을 반영하여 균일지체 및 증분지체를 고려하였으며, 신호주기별로 신호지체를 산출하여 주기별 교통량에 대한 가중평균을 하여 평균 제어지체를 산정하였다.

적용된 HCM(2004) 신호지체 계산방법은 다음과 같다.[11]

$$d = d_1 + d_2 \quad (\text{식 2})$$

여기서,

$d$  = 차량 당 평균제어지체(초/대)

$d_1$  = 균일 제어지체(초/대)

$d_2$  = 증분지체

$$d_1 = \frac{0.5C(1 - \frac{g}{C})^2}{1 - [\min(1, X) \frac{g}{C}]} \quad (\text{식 3})$$

여기서,

- $Q_0$ : 초기 대기차량 대수(대)
- $d_1$ : 균일지체(초/대)
- $C$ : 주기(초)
- $g$ : 유효녹색시간(초) $X$ : 해당 차로군의 포화도
- $R$ : 적색신호시간(초)
- $y$ : 교통량비(flow ratio)(=v/s)
- $T$ : 분석시간 길이(시간)
- $S$ : 해당 차로군의 포화교통량(vphg)

$$d_2 = 900 T [(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{4X}{cT}}] \quad (\text{식 4})$$

여기서,

$c$ : 해당 차로군의 용량(vph)

#### IV. 실험결과 분석

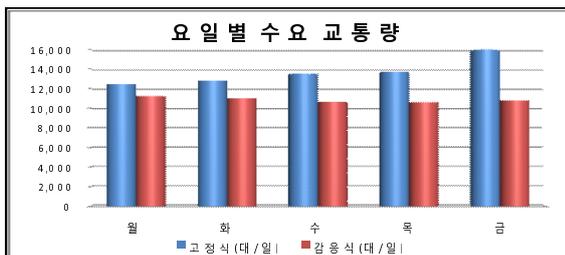
본 실험의 결과는 정주기식과 완전 감응식 각각 일주일간 운영한 결과이다. 현장실험의 여건상 수요 교통량은 동일하지 않다. 따라서 각 요일별 평균 제어지체를 통해 상호비교 평가 하는 것으로 분석을 실시하였다.

##### 1. 수요교통량

고정식 신호운영시 일주일 평균교통량은 13,664(대/일) 이였으며, 월요일부터 금요일로 진행할수록 교통량은 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 감응식 신호운영시에는 교통량의 변화가 미비하였으며, 일평균 교통량도 고정식 신호운영 기간에 비해 평균 2,718(대/일)대가 적은 것으로 확인되었다. 그러나 일일 교통량 변화 패턴은 유사한 것으로 나타났다.

<표 5> 교통량 분석(단위: 대/일)

구분	고정식	감응식
월	12,442	11,228
화	12,778	10,996
수	13,486	10,662
목	13,679	10,583
금	15,937	10,760
일주일 평균	13,664	10,846



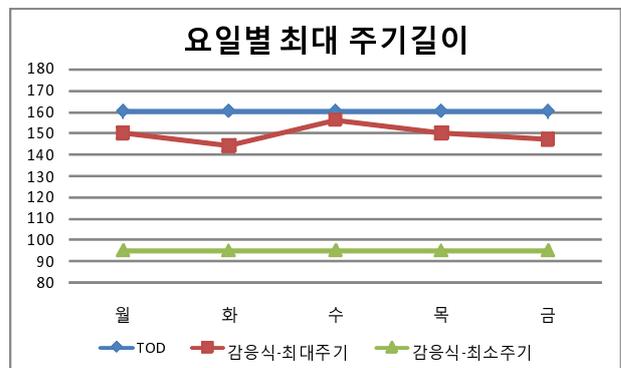
<그림 10> 요일별 수요 교통량

##### 2. 주기 및 현시길이

감응식 신호운영의 특성상, 주기길이 및 현시길이는 많은 변화를 보였다. 특히 남북방향의 직진현시인 2현시에서는 일주일 평균 40초가 단축되어 기존대비 46%의 운영시간 단축 효과가 있었으며, 1현시의 경우 평균 5초가 단축되어 기존대비 25%의 신호현시 단축효과가 있었다. 그러나 이와는 반대로 3, 4현시의 경우 각각 4초와 3초가 증가하였다. 신호운영 주기의 경우 일주일 평균 38초의 주기 감소효과가 있었으며, 이는 정주기식에 비하여 23%의 주기감소 효과가 있는 것으로 나타났다.

<표 6> 주기길이 결과(단위: 초)

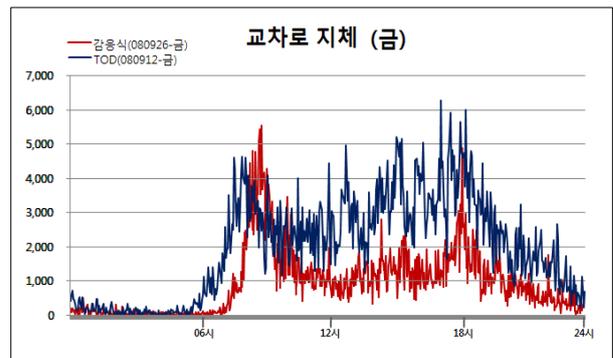
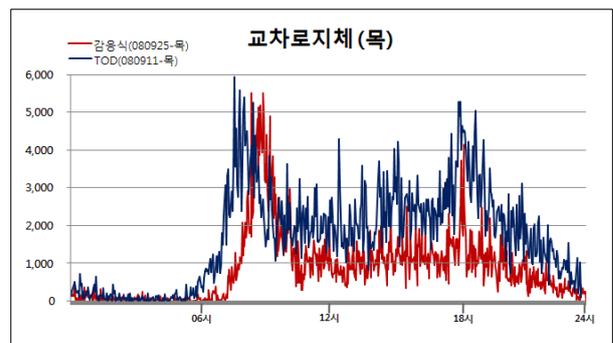
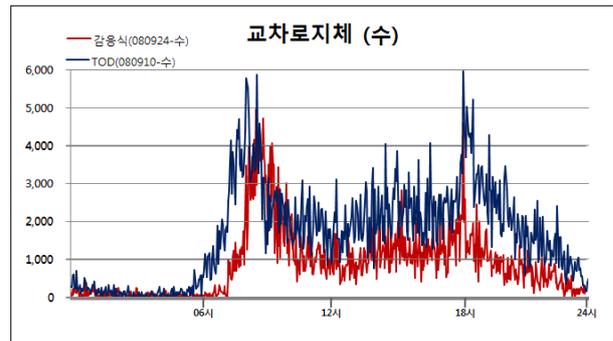
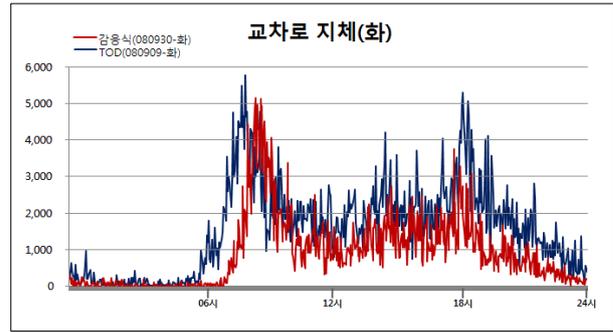
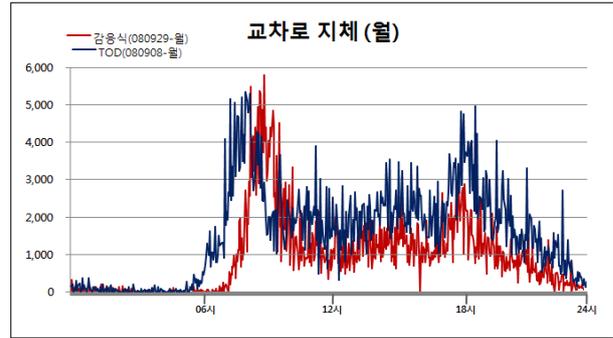
구분	고정식	감응식	증감	
			(증감율, %)	
월	최대	160	150	-10
	최소	160	95	-65
	평균	160	122	-38(23.7%)
화	최대	160	144	-16
	최소	160	95	-65
	평균	160	122	-38(23.7%)
수	최대	160	156	-4
	최소	160	95	-65
	평균	160	122	-38(23.7%)
목	최대	160	150	-10
	최소	160	95	-65
	평균	160	121	-39(24.4%)
금	최대	160	147	-13
	최소	160	95	-65
	평균	160	122	-38(23.7%)
일주일 평균	최대	160	149	-11
	최소	160	95	-65
	평균	160	122	-38(23.9%)



<그림 11> 요일별 주기길이 변화

<표 7> 현시길이 결과(단위: 초)

구분		고정식	감응식	증감(증감율%)
월	1현시	20	15	-5 (-25.0)
	2현시	86	46	-40 (-46.5)
	3현시	27	31	4 (+14.8)
	4현시	27	30	3 (+11.1)
화	1현시	20	15	-5 (-25.0)
	2현시	86	46	-40 (-46.5)
	3현시	27	31	4 (+14.8)
	4현시	27	30	3 (+11.1)
수	1현시	20	15	-5 (-25.0)
	2현시	86	46	-40 (-46.5)
	3현시	27	31	4 (+14.8)
	4현시	27	30	3 (+11.1)
목	1현시	20	16	-4 (-20.0)
	2현시	86	46	-40 (-46.5)
	3현시	27	30	3 (+11.1)
	4현시	27	30	3 (+11.1)
금	1현시	20	15	-5 (-25.0)
	2현시	86	46	-40 (-46.5)
	3현시	27	30	3 (+11.1)
	4현시	27	30	3 (+11.1)
일주일 평균	1현시	20	15	-5 (-25.0)
	2현시	86	46	-40 (-46.5)
	3현시	27	31	4 (+14.8)
	4현시	27	30	3 (+11.1)



### 3. 교차로 지체

전반적인 교차로 제어지체는 완전감응식 운영이 고정식 운영에 비해 월등히 우수한 것으로 확인되었다. 수요 교통량의 차이가 있기는 하지만, 이를 고려한다 하더라도 고정식에 비하여 지체 감소 효과가 월등하다. 평균 지체 감소효과는 46%나 되는 것으로 확인되었다.

<표 8> 주기당 평균지체(교차로 제어지체\*교통량)(단위: 초)

구분	고정식	감응식	증감(증감율, %)
월	1556.0	945.6	-610.4 (-39.2)
화	1559.5	906.6	-652.9 (-41.8%)
수	1646.5	880.5	-766.0 (-46.5%)
목	1696.9	870.9	-826.0 (-48.7%)
금	1959.0	929.1	-1029.9 (-52.6%)
일주일 평균	1683.6	906.5	-777.1 (-46.2%)

<그림 12> 요일별 주기당 제어지체

더욱이, <그림 12>를 보면 오후 및 야간 비첨두(Off-Peak) 뿐만 아니라, 오후 첨두(Peak)에서도 그 효과가 높은 것으로 확인되었다.

## V. 결론 및 향후연구과제

### 1. 결론

본 연구에서는 현재 지방부 독립신호교차로에서 사용되고 있는 정주기식(TOD) 신호운영 방식 대신에 완전감응식 신호운영제어를 통해 효율적인 신호제어가 가능한지 그 활용가능성을 확인해보았으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

현장실험을 통해 완전감응식 알고리즘이 기존 운영되고 있는 정주기식에 비해 주기 및 현시 길이가 짧아져 운전자의 대기시간을 감소시킬 수 있으며, 더욱이 약 46%의 교차로 제어지체 감소효과가 확인되었다.

또한 차량의 검지여부 및 신호운영 변수에 의해 적절하게 주기 및 현시 변화가 안정적으로 이루어졌으며, 이는 실제 지방부 신호교차로의 신호운영에 있어서 그 효율성 및 안정성이 확보 되었다고 할 수 있을 것이다.

### 2. 향후 연구과제

본 연구를 통해 지방부 독립 신호교차로의 완전감응식 신호제어의 효율성 및 안전성이 확인되었다. 그러나 본 연구에서 제한적으로 연구된 부분에 대해서는 향후 연구가 이루어져야 할 것이다. 향후 연구과제는 다음과 같다.

첫 번째로, 감응식 및 정주기식 운영에 있어서 최적화가 미흡한 부분이 있다. 이는 대상교차로의 제어기가 인접 육사무소의 진입신호와 연계되어 있어 듀얼링(Dual-Ring) 사용이 제한적이었기 때문이다. 향후에는 이러한 영향이 미치지 않는 곳에서 추가 시험이 필요가 있다.

두 번째로, 완전 감응식 신호의 설계시 그 운영변수에 대한 적절한 사용 지침서가 없는 실정이다. 이는 향후 완전 감응식 신호운영 보급의 걸림돌이 될 것이다. 따라서 담당 공무원 및 신호제어기 설치 업체가 사용 가능한 운영 지침서 연구가 추가 되어야 할 것이다.

끝으로, 현재 우리나라에서는 감응식 신호제어 운영을 하고 있는 곳이 전무한 상태이다. 일부 도시에서 반감응식 신호운영을 하고 있는 곳도 있으나 그 수는 미비하다. 앞으로 감응식 신호제어와 관련된 많은 현장실험과 연구가 지속적으로 이루어져 감응식 신호제어 운영이 보다 안정적이고 지속적으로 이루어 지도록 노력해야 할 것이다.

## 참고문헌

1. (주)대중교통포럼, “천안시 지능형 교통체계(ITS) 구축사업 사전·사후 평가(최종보고서)”, 천안시, 2008.03
2. 도철웅, “교통공학원론(상)”, 청문각, 1996
3. 박창소, 전경수, 고승영, 김동녕외 7명, “교통공학개론”, 영

- 지문회사, 2003
4. 건설교통부·한국건설기술연구원, “국도상의 신호교차로의 소통 및 안전기능 고도화를 위한 교통신호제어기기 개발(1, 2차 년도 중간보고서)”, 2001, 2002
5. 서울지방경찰청, “서울특별시 교통신호제어기기 규격서”, 2001
6. 박금성, “지역단위 실시간 교통신호제어체계 개발Ⅱ”, 도로교통안전관리공단 교통과학연구원, 2002
7. 오영태, 이철기, “실시간 교통신호제어를 위한 루프 검지기의 최적형태결정에 관한 연구”, 대한교통학회, 제13권 3호, 1995, pp. 67~86
8. James H. Kell, Iris J. Fullerton, “Manual of Traffic Signal Design”, ITE, 1991
9. Peter S. Parsonson. Georgia Institute of Technology, Atlanta, “Use of EC-DC Detector for Signalization of High-Speed Intersection”, TRR 737, 1979
10. Peter S. Parsonson. Georgia Institute of Technology, “Signalization of High-Speed, Isolated Intersections”, TRR 681, 1978
11. TRB, “Highway Capacity Manual 2004”