

우리나라 일반국도 환경을 고려한 감응제어시스템 시범운영 효과 분석

The Evaluation Analysis of Improved Signal Actuation for a National Highway

고 광 용* · 김 민 성** · 하 동 익*** · 이 철 기****

* 주저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 책임연구원
 ** 교신저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 연구원
 *** 공저자 : 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 연구교수
 **** 공저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수

Kwang-Yong Ko* · Min Sung Kim** · Dong Ik Ha*** · Choul Ki Lee****

* Dept. of Advanced Traffic Eng., Korea Road Traffic Authority
 ** Dept. of Advanced Traffic Eng., Korea Road Traffic Authority
 *** Dept. of Civil and Environmental Eng., Univ. of Seoul National
 **** Dept. of Transportation System Eng., Univ. of Ajou

† Corresponding author : Min Sung Kim, totororoty@Koroad.or.kr

Vol.16 No.1(2017)

February, 2017

pp.01~13

ISSN 1738-0774(Print)

ISSN 2384-1729(On-line)

[https://doi.org/10.12815/kits.](https://doi.org/10.12815/kits.2017.16.1.01)

2017.16.1.01

Received 23 August 2016

Revised 12 September 2016

Accepted 11 October 2016

© 2017. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

일반국도는 지역과 지역을 연결하는 간선도로 역할을 하는 도로이다. 일반국도는 통과교통 비중이 높아 약 90% 이상이 직진교통량이며, 좌회전 및 부도로의 교통량은 직진교통량에 비해 매우 낮다. 이러한 도로의 특성을 고려해 볼 때, 고정식제어보다는 감응제어가 더 효과적이다. 이와 같은 감응제어의 효과가 과거 많은 논문에서 검증되었음에도 우리나라의 경우 일부 도시구간에서 극히 한정적으로 사용하고 있을 뿐 본격적인 설치가 전혀 이루어지지 않았다. 그것은 우리나라의 국도 시설 특성 상 감응제어를 교과서적으로 운영하기 어려운 요소가 많다는 데에 있다. 본 연구에서는 감응제어 도입이 어려운 이유를 파악하여 우리나라 현실에 맞도록 개선하였으며, 시범운영을 통해 국도 감응제어시스템의 효과를 입증하였다.

핵심어 : 일반국도, 감응제어시스템, 시범운영, 효과분석, 매뉴얼

ABSTRACT

A national highway takes on an arterial roadway role between regions. It's traffic volume of minor approach is very lower than mainline because most of the traffic of national highway consists of through traffic. This means an actuated signal operation is more efficient on the national highway than pre-timed signal. actuated signals have detections on some or all movements except the mainline. In spite of these effects have been evaluated in previous studies, widespread propagation of actuated signal operation has not made so much in Korea. Because there are so many problems to use actuated signal as it is in side of roadway facilities. In this study, improved a actuation system for the national highway and evaluated it with field implementation.

Key words : General National Highway(Arterial), Traffic-Actuated control, Test Operation, Effectiveness Analysis, Manual

I. 서론

국도는 대부분의 차량이 통과교통으로 직진교통량 비중이 90% 이상이며, 상대적으로 좌회전 및 부도로의 교통량은 직진교통량에 비해 매우 낮은 특성을 보이기 때문에 고정식 신호제어보다는 감응식 신호제어가 더 효과적이다. 일반국도에 고정식으로 신호를 운영할 경우에는 불필요한 긴 대기시간으로 인해 주도로 직진교통의 교통체증을 유발할 뿐 아니라, 부 방향 차량에 대해서는 긴 대기시간으로 인한 신호위반을 야기시켜 교통사고를 유발하기도 한다. 이러한 국도에 감응제어를 운영하게 되면 교통체증 및 신호위반을 획기적으로 줄일 수 있다. 이는 과거 논문결과와 실제 운영사례에서도 입증된 바 있다. 이러한 배경에 따라 국토교통부에서는 교통정체가 심각해지고 있는 일반국도 소통개선을 위해 도로 확장보다는 전국 국도 구간에 감응신호 제어시스템을 도입하는 “전국 국도 감응제어체계 구축 기본계획”을 추진하고자 하였다.

그러나 대부분의 일반국도는 교차로 보도 및 안전시설이 매우 부족하고, 구조 또한 기형적이어서 정형화된 감응제어시설을 설치하게 되면 대부분 정상적으로 동작하지 않거나 오히려 안전사고를 유발하는 상황이 발생하게 된다. 따라서 일반국도에 감응제어를 설치하기 위해서는 시범운영을 통해 다양한 변형 기하구조 및 진출입 구분이 모호한 농로나 도로변 시가지 등에 대한 시행착오를 통하여 감응제어효과를 극대화 할 수 있는 설계기준을 결정하는 것이 매우 중요하다.

본 연구는 이러한 취지에 따라 일반국도가 통과하는 시범운영지역을 선정하고 다양한 개선방안을 적용하여 그 운영 효과를 측정할 후 국도감응 기본계획 수립을 위한 설계기준으로 확립하고자 하였다. 또한 시가지와 비시가지가 혼재하는 일반국도의 특성을 반영한 효과평가가 될 수 있도록 시가지구간과 비시가지 구간을 각각 선정하여 이원화된 효과평가를 수행하도록 하였다.

II. 기존문헌조사

Kim(2002a)은 Highway Capacity Manual(HCM)에서 제시한 평균 감응현시 녹색시간 추정 수리모형을 이용하여 지체를 최소화 할 수 있는 최대녹색시간의 설계방안을 제시하였다. 제안된 설계방안은 감응현시의 평균녹색시간 운영변수 군을 혼혈유전자알고리즘(최적해 탐색기법 : “유전자알고리즘+Hill -Climbing”)으로 도출하였다. 현장자료 산출이 불가하여 Corridor Simulation(CORSIM) 모형을 이용하여 추정하였고, 이를 제안된 설계방안으로 도출하여 운영변수 값들과 비교분석하였다. 교차로 v/c 비율이 낮을 때 본 연구에서 제시한 값과, CORSIM에서 제시한 값과 동일한 결과를 보였다.

Kim et al.(2002b)는 미국 도로용량편람(HCM)에서 제시한 평균녹색시간 추정모형에서 대기행렬처리시간의 추정, 적신호우회전 교통량(Right turn or red)의 영향, 공유차로 비보호 좌회전 영향 등의 개선요소를 분석하였고, 이 변수를 수정하여 새로운 평균녹색시간추정을 제시하였다. HCM 분석모형과 본 연구에서 제시한 모형의 추정력을 비교분석하였다. 비교분석은 다양한 교통상황, 기하구조상황, 현시조합 상황을 가상으로 설정하고, 신호운영 시나리오를 구축하여 CORSIM 모형으로 모의 실험한 결과를 기준으로 하였다. 분석결과 HCM 모형의 경우 각각의 집단에 대한 설명력이 0.56(비보호좌회전 비허용), 0.57(비보호좌회전 허용)로 나타난 반면 새롭게 제시한 모형은 각각 0.90(비보호좌회전 비허용), 0.86(비보호좌회전 허용)의 설명력을 보였다.

Kim et al.(2011)에서는 좌회전 차로를 유턴 공용차로로 운영할 경우에는 유턴차량의 혼입으로 인해 통행 특성이 변화한다고 제시하였다. 이를 해결하기 위해 좌회전 감응신호제어용 검지기(좌회전 정지선 후방 12m 위치)를 U-Turn 허용차선 시작부분으로 이격(set-back)하는 방안을 적용하였다. 효과평가는 TRANSYT-7F,

VISSIM를 이용한 모의실험을 수행하였으며, 교통상황(포화, 근포화, 비포화), 신호제어 방법(고정식 신호제어, COSMOS 좌회전 감응신호제어, 개발 방법의 좌회전 감응신호제어), U-turn 비율(10, 20, 30%)에 따라 다양하여 수행하였다. 상기의 모의 실험결과에 의하면, 포화($V/C=1.0$), 근포화($V/C=0.8$) 교통상황에서 개선효과가 있는 것으로 분석되었다.

Kim et al.(2009)에서는 기존 정주기식 신호제어로 인하여 비효율적으로 운영되고 있는 3지 교차로의 문제점을 보완하는 방안으로 반감응 신호제어를 기본으로 하고 보행자작동신호기를 사용하는 신호운영방식의 효율성을 분석하였다. 미시적 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 사용하여 정량화된 차량 당 평균지체 감소의 정도를 분석하였다. 시나리오별 분석을 통하여 차량 당 평균지체시간을 비교한 결과, 대상교차로는 정주기식 신호제어에 비하여 보행자작동신호기를 이용한 신호제어방식이 최소 3.7초(10%), 최대 6초(16%)의 감소효과를 나타내었으며, 반감응식 신호제어와의 비교에서는 보행자교통량이 20% 이하일 때보다 효율적인 것으로 나타났다.

Moon et al.(2004)에서는 지방부 교차로를 대상으로 소통과 안전을 향상시키는 국도용 첨단 신호제어시스템을 개발하였다. 개발범위는 신호제어시스템 H/W, S/W, 검지체계, 센터 S/W, 통신체계 등을 포함한다. 실시간 신호제어시스템은 도시부 도로망에 적합한 반면, 반감응 제어는 지방부 도로망에 적합하다고 제시하였다.

FHWA(2008)에서는 감응제어 지침을 최소녹색시간, 최대녹색시간, 황색시간 및 적색변환시간, 보행자 시간 등으로 구분하여 제시하고 있다. 감응제어 설정 시 상황별 최소녹색시간은 정지선 검지기, 보행자 버튼의 유무와 보행자 횡단시간, 대기행렬 소거시간 등을 고려하였다. Driver Expectancy는 접근로 유형에 따라 직진 주도로는 8~15초, 직진 부도로 5~10초, 좌회전은 접근로에 상관없이 58초로 정의되어 있으며, 대기행렬 소거시간은 정지선과 상류부 검지기간의 거리에 따라 5~15초로 정의되어 있다. 최대녹색시간은 방향별로 최대녹색시간이 주도로는 제한 속도 40m/h를 기준으로 구분되어 있으며, 부도로는 20~40초, 좌회전은 15~30초로 정의되어 있다.

Alexander(1996)에서는 일반적으로 사용되는 신호 타이밍(Timings) 프로그램은 고정식 신호를 위해 설계되었고, 연동 감응제어에서 신호시간을 직접적으로 최적화하는 것은 없다. 운영자는 정주기 신호에 설계기준(기술)을 적용하고, 감응제어 위한 설정을 최적 정주기 신호계획으로 변경한다고 제시하였다. 이 연구에서는 간선도로와 격자형 네트워크에 감응제어를 MAXBAND, PASSER, TRANSYT-7F 등의 타이밍 프로그램에 적용하기 위한 개선된 절차방식의 개발에 대해 설명하였다. 절차는 단순분석 관계에 기초하여 정주기 신호계획으로부터 yield point, force-off, 최대녹색시간을 결정한다. 본 연구에서 제안된 절차를 이용하여, 각각 특성이 다른 대표적인 14개의 실제 간선도로와 격자형 네트워크를 NETSIM 마이크로 시뮬레이션 모형을 이용하여 평가하였다. 제안한 절차들이 감응제어 시 최적의 고정시간 시간분할 및 옵션을 직접적으로 사용하는 일반적인 접근법에 비해서 교통성능이 더 향상되는 것으로 분석되었다. 연구결과를 바탕으로 가이드라인을 공식화하고, 연동감응신호 타이밍 신호를 문서화하였다.

Alexander et al.(1998)에서는 제어 종류에 따른 연동시스템의 제어전략을 제시하였다. 제안된 전략은 14개의 실제 간선도로의 격자형 네트워크 기반으로 시뮬레이션 분석을 통하여 최적의 연동신호시간을 산정하였고, 교통 엔지니어들이 가장 적합한 연동시스템 신호시간을 선택 할 수 있도록 가이드라인을 제시하였다. 시뮬레이션의 결과 분석을 바탕으로, 지침 및 신청 절차는 조정 신호시스템의 특정 교차로에서 컨트롤의 적절한 유형을 선택하는 트래픽 엔지니어 시공 설치를 돕기 위해 공식화하여 연구를 진행하였다. 개발 및 테스트된 연동시스템 신호 운영 전략은 대부분의 신호제어시스템에서 쉽게 구현 가능하도록 구성하였다.

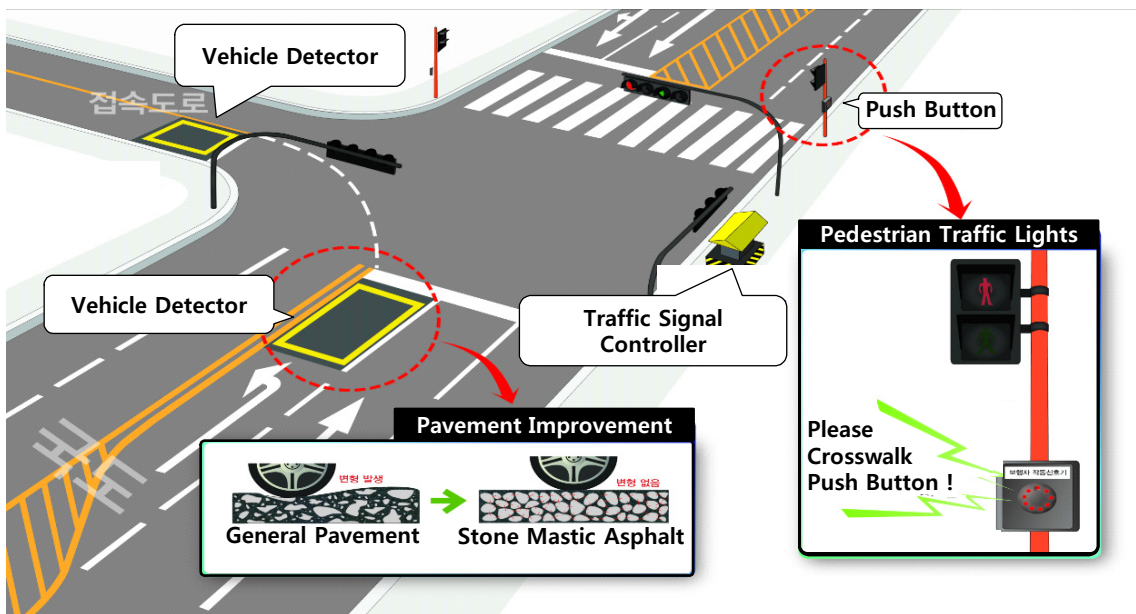
감응신호의 국내 보급은 경찰청 교통신호제어기 표준규격(National Police Agency, 2004)에서 좌회전 감응

제어가 반영되어 보급되었다. 이후 2010년 경찰청 표준규격에 반감응 및 전감응 기능 규격이 추가되어 현재의 교통신호제어기에서 전감응, 반감응, 좌회전 감응 등의 감응제어기법 활용이 가능해졌다. 국내의 좌회전 감응은 도시지역 시가지도로를 중심으로 이천시 국도 3호선 11개소를 포함하여 서울시 등의 대도시 위주로 수십 개소 이상 운영 중에 있다.

Ⅲ. 본 론

1. 국도 시범운영 감응제어시스템

본 시범사업 구간에 설치된 국도 감응제어시스템은 반감응 제어, 좌회전 조기 종결, 보행자 감응으로 운영된다. 차량검지는 부도로와 주도로 좌회전 차로에 루프검지기를 설치하여 차량이 없는 경우에는 신호현시를 조기 종결하고, 주도로에 현시를 부여하였다. 신호주기는 고정하여 교차로 간 연동효과를 유지할 수 있도록 구현하였다. 보행자 감응은 모든 횡단보도에 보행자 작동신호기를 설치하여 보행자와 차량신호를 독립적으로 감응하였다. 횡단보도를 횡단하려는 보행자가 있는 경우에만 보행자 신호를 주는 방식으로, 보행자가 없을 시에는 차량신호를 부여하여 정지로 인한 지체를 최대한 감소하도록 하였으며, 보행자가 보행자 작동 신호기의 버튼을 눌러야만 보행신호가 나온다는 인식을 주기 위해 보행자 작동신호기에 음성안내 기능을 추가하여 부족한 노변시설을 보완하였다. 국도 감응제어시스템에서 사용되는 차량검지기는 현재 신호교차로에 사용되는 매설형 루프검지기를 기본으로 하며, 도로 파손으로 인해 검지능력이 상실되거나 저하되는 것을 방지하기 위해 일반적인 도로포장이 아닌 변형에 강하고, 내구성이 강한 포장을 실시하였다.

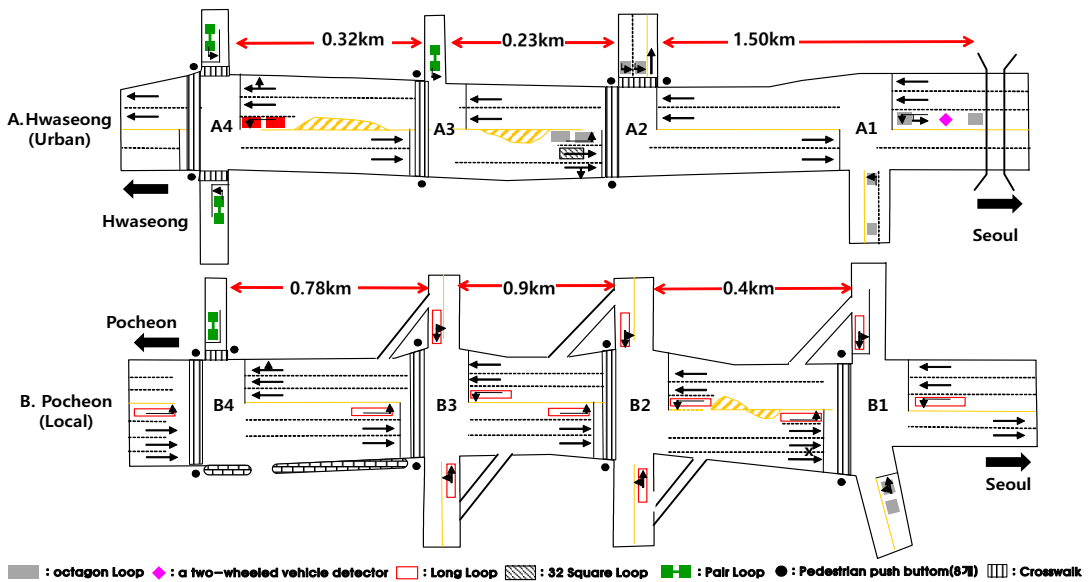


〈Fig. 1〉 Semi-actuated Signal in National Highway

2. 국도 시범운영 감응제어시스템 시범운영

시범사업구간은 화성시의 4개(장안대입구 삼거리[A1], 자안입구삼거리[A2], 왕림리입구[A3], 왕림성단[A4]) 지점과 포천시의 4개(가산교차로[B1], 유교1교[B2], 유교2교[B3], 유교3교[B4]) 지점으로 총 8개의 교차로이다.

<Fig. 2>에서 보는 바와 같이 화성시는 도시부 시범사업구간으로 첨두시에는 출퇴근 교통량이 많은 반면 비첨두시에는 교통소통이 원활하고, 교통량 변화가 심하다. 구간길이는 약 2km 정도이다. 포천시는 지방부 시범사업구간으로 첨두시와 비첨두시의 교통량 변화가 화성시에 비하여 크지 않으며, 기존의 도로가 아닌 새로 연장한 도로로써 교통량이 적다. 구간길이는 약 2.03km의 구간이다.



(Fig. 2) National highway Field Test Site

3. 시스템 개선

1) 보행자 감응 문제점 및 개선방안

본 연구에서는 감응제어의 효과를 향상시키기 위해 보행자 감응을 함께 사용하였다. 보행자 감응은 도로를 횡단하려는 보행자가 있을 시에만 보행자 녹색시간을 주는 신호형태이다. 횡단하려는 보행자의 유무를 판단하기 위해 보행자 작동신호기를 필수로 설치하여야 한다. 그러나 보행자 작동신호기에 대한 이용자 인식이 낮아 신호기를 누르지 않고 무단횡단하는 경우가 발생한다. 이 문제를 해결하기 위해 보행자 작동신호기를 눌러야 보행신호가 표출된다는 인식을 주기 위해 보행자 음성안내 기능을 추가하였다. 또한, 국도변의 횡단보도는 보행자가 횡단보도를 건너기 위해 대기할 수 있는 공간이 없어 보행자 안전측면에서도 문제점으로 나타났다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 보행자 작동신호기의 개선은 음성안내기능, 보행자 작동신호기 설명 표지판 및 방향 표시, 보행자 작동신호기 LED 밝기 개선 및 색 통일, 보행자 대기공간 등을 개선하였다.

2) 검지기 파손 문제

감응제어시스템 도입을 가장 꺼리는 이유 중 하나는 신호교차로에 사용되는 매설형 루프검지기의 파손으로 인해 시스템 자체의 운영이 불가능하게 되는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해서 검지기 매설구간에 변형이 없고, 내구성이 강한 특수포장을 적용하는 방안을 적용하였다. 추가적으로 비매설형 검지기를 설치하는 방안도 고려하였다. 국도감응제어시스템의 차량검지는 매설형 검지기인 루프검지기를 기반으로 구축하기 때문에 유지관리를 위해서는 도로파손에 강한 포장기법을 적용시켜야 한다. 교차로 아스팔트 포장구간에 가장 많이 발생하는 포장파손은 소성변형으로, 그 형태는 구조적 소성변형, 유동(불안정성) 소성변형, 마모 소성변형으로 분류할 수 있다. 본 연구에서는 노선 파손등급과 노선 교통량등급을 대(大), 중(中), 소(小)로 구분하였다. 보수 면적은 포장 파손 등급에 따라 전면 절삭 덧씌우기와 매설부문만 절삭 덧씌우기를 시행하였다. 포장 보수공법은 노선 교통량 등급에 따라 개질 SMA(Stone Mastic Asphalt) 공법과 일반 SMA 공법을 적용하였다. SMA 포장은 골재의 맞물림 특성을 최대로 하여 소성변형에 저항하게 하고, 아스팔트량을 증가시켜 아스팔트 혼합물의 균열과 탈리에 대한 저항성을 높인 공법이다. 추가적으로 매설형 루프검지기 설치가 어려운 구간에서는 비매설형 검지기를 설치하도록 하였다. 이를 위해 시범사업구간에 영상검지기, 자기센서, 무선루프, 레이더 검지기를 설치하여 동등성(루프검지기와 대체검지기 검지비교) 평가를 수행한 후 영상검지기, 무선 루프 검지기, 무선 점형써치코일 검지기로 결정하였다. 향후 시범구간에 시범설치·운영 후 대체검지기 보완 및 개선을 통해 확대 적용할 예정이다.

3) 긴 신호주기로 인한 불법좌회전

화성시(도시부)와 포천시(지방부)의 신호주기는 기존 200초 이상의 긴 신호주기를 사용한다. 이로 인하여 부방향과 부도로에서 신호대기시간이 최대 165초에 이르는 등 신호지체로 인한 부도로와 주도로 좌회전 차로에서 신호위반 통행의 문제점이 발생하는 상황이 자주 발생한다. 이를 해결하기 위한 최적의 방안은 신호주기를 최대한(최적화) 짧게 하여 신호대기시간을 줄일 수 있다. 하지만 본 시범사업구간에서는 교차로간의 연동 문제로 인하여 시범사업 구간만 주기를 줄이기에는 어려움이 있어서 시범사업 구간에는 교통량이 많지 않은 비첨두시에는 신호현시를 반주기로 하여, 신호대기시간을 절반이상으로 줄여서, 신호위반을 최대한 억제하도록 하였다.

4) 상가 진출로 불법좌회전

도로변에 위치한 상가 또는 건물의 진출로가 주도로와 연결되어 있는 구간에는 진출하는 차량이 부도로에 설치된 검지기를 밟지 않아, 신호를 부여 받지 못하고, 불법 좌회전을 하는 경우가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 하류부 교차로에서 유턴이 가능하도록 설계하거나, 진출로의 위치를 변경하여 차량이 부도로에 설치된 검지기를 통과할 수 있도록 개선하였다.

5) 유턴차량에 대한 조치

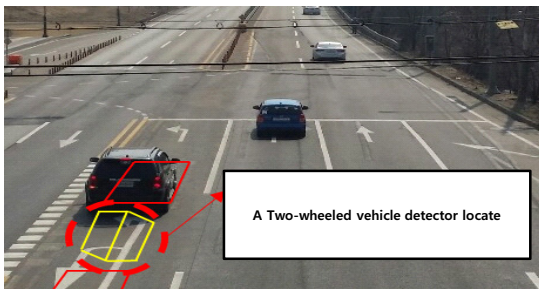
좌회전 검지기가 유턴구간까지 검지하지 못해 좌회전 차량이 없을 경우에는 유턴차량들은 신호를 부여 받지 못하고, 신호위반을 하는 문제가 발생하였다. 본 연구에서는 좌회전 차로에 검지범위가 넓은 장방향 루프검지기를 설치하여 유턴차량을 검지할 수 있도록 개선하였다. 만약 장방향 검지기가 아니 루프검지기가 설치되어 있으면, 대기행렬 검지기를 추가 설치하여 유턴차량을 검지하도록 하였다.

6) 이륜차 검지문제

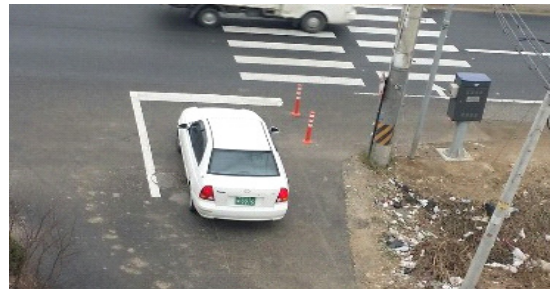
기존의 차량 루프검지기로는 이륜차를 검지하지 못하는 단점이 있다. 이륜차가 차로군의 가장 앞에서 올 경우에는 검지기가 차량을 검지하지 못해 운전자는 신호를 부여받을 수 없게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 <Fig. 3>에서 보는 바와 같이 좌회전 차로에 이륜차 검지기(Diagonal Quadrupole)인 사중극자를 시범 설치하였다.

7) 협소도로 차량검지

협소도로는 좁은 차로 폭으로 인하여 양방향 통행이 어려운 도로를 뜻한다. 이러한 접근로에는 검지되는 순선에 따라 진입, 진출차량을 구분할 수 있는 쌍루프 검지기를 설치하였다. 협소도로에 경우 차량들이 도로의 중앙에서 신호대기를 하는 경우가 다수 발생하였고, 이로 인해 신호를 부여 받지 못해 불법 좌회전하는 경우가 발생하였다. 해결방안으로는 <Fig. 4>에서 보는 바와 같이 정지선 및 중앙선을 도색하여 차량이 검지기 위에서 신호대기를 할 수 있도록 유도시켰다. 협소도로에 통과하는 교통량이 많은 지점에는 비매설형 검지기인 영상검지기를 대체하도록 하였다.



<Fig. 3> A Two-wheeled vehicle detector locate



<Fig. 4> Channelization of the Narrow road

4. 시범사업구간 효과평가

시범사업구간인 화성시(도시부)와 포천시(지방부)에 감응제어 도입 전(TOD)과 후(감응제어)로 구분하여 효과평가를 시행하였다. 효과평가 항목은 주방향 녹색시간, 정지지체, 통과 차량대수, 주행시간분석, 신호회반 분석, 차량감응효율을 분석하였다.

1) 주방향 녹색시간

주방향 녹색시간은 기존 고정식(TOD : Time of Day) 대비 감응신호의 녹색시간의 증가량을 분석하였다. 수집 자료는 교차로에 설치된 교통신호제어기에 저장된 평일 일일 신호 현시 로그(Log) 자료를 활용하였다. 주방향 녹색시간 분석결과, <Table 1>에서 보는 바와 같이 화성시(도시부)의 장안대 사거리[A1]에서 24.26%로 가장 큰 증가율을 나타냈으며, 왕림성당 교차로[A4]에서 13%로 가장 낮은 증가율을 보였다. 이는 4지교차로와 3지교차로의 차이와 부도로의 교통량에 영향으로 판단된다. 전체 시범사업구간 주방향 녹색시간 평균 증가율은 고정시간(TOD) 제어 대비 일일 18.1%로 증가되었다.

<Table 1> Hwaseong Compare Intersections green time

Section	Actuated Green time	TOD Green time	variation (sec)	rate of change(%)
A1	78,362	63,065	15,297	24.26
A2	69,033	57,040	11,993	21.03
A3	81,221	70,602	10,619	15.04
A4	73,500	65,043	8,457	13.00
Total Green Time(daily)	302,116	255,750	46,366	18.1 △
Average Green Time	3,147	2,664	483	

※ Daily of Total Actuated Green time, Unit : Second

포천시(지방부)의 시범사업구간 주도로 녹색시간 증가율은 <Table 2>에서 보는 바와 같이 유교 3교차로에서 68.72%의 가장 큰 증가율을 보였다. 포천시 전체 교차로의 주도로 녹색시간 평균 증가율은 고정시간(TOD) 제어 대비 약 일일 36.8%가 증가한 것으로 분석되었다.

<Table 2> Pocheon Compare Intersections green time

Section	Actuated Green time	TOD Green time	variation (sec)	rate of change(%)
B1	41,093	35,952	5,141	14.30
B2	46,474	32,256	14,218	44.08
B3	47,145	37,536	9,609	25.60
B4	52,613	31,184	21,429	68.72
Total Green Time(day)	187,325	136,928	50,397	36.8 △
Average Green Time	2,926	2,139	787	

※ Daily of Total Actuated Green time, Unit : Second

전체 화성시(도시부)와 포천시(지방부)의 주도로 녹색시간 변화량은 <Table 3>에서 보는 바와 같이 도시부(화성시)는 평균 18%, 지방부(포천시)는 평균 37% 증가율을 보인다.

전체적으로는 평균 약 27%의 주방향 녹색시간 증가효과가 나타났다. 감응제어 녹색시간 증가율은 도시부보다 지방부가 높았다. 이는 부방향의 교통량이 적은 구간일수록 조기종결이 많이 발생하였고, 이로 인해 주방향의 녹색시간이 증가되는 것을 알 수 있다.

<Table 3> The average green time(per/hour)

Section	Actuated Green time	TOD Green time	variation (sec)	rate of change(%)
total average	3,037	2,042	635	△ 26.4
Hwaseong(Urban)	3,147	2,664	483	△ 18.1
Pocheon(Local)	2,926	2,139	787	△ 36.8

※ Daily of Total Actuated Green time, Unit : Second

화성시(도시부) 시간대별 녹색시간 변화율은 <Table 4>에서 보는 바와 같이 오전 첨두에는 7.22%, 오후 첨두시에서는 6.99%로 변화량이 적게 나타났다. 도시부구간 첨두시간 때에는 부방향의 차량이 많아 조기종결이 적게 발생하였고, 이로 인해 주방향 녹색시간의 증가폭이 작게 발생한 것으로 분석된다.

<Table 4> Hwaseong Time period green time

Time Slot	Actuated Green time	TOD Green time	variation (sec)	rate of change(%)
AM Peak(7-9)	24,763	23,096	1,667	7.22
PM Peak(18-20)	23,863	22,304	1,559	6.99

※ Daily of Total Actuated Green time, Unit : Second

포천시(지방부) 시간대별 녹색시간 변화율은 <Table 5>에서 보는 바와 같이 고정시간(TOD) 제어 대비 오전 첨두에는 36.27%, 오후 첨두시에서는 33.61%을 보였으며, 평균적으로 약 34% 정도 증가하였다. 도시부구간과는 달리 지방부 구간은 통과교통량이 대부분으로 첨두 시간에도 부방향의 교통량의 영향이 적은 것으로 분석되었다.

<Table 5> Pocheon Time period green time

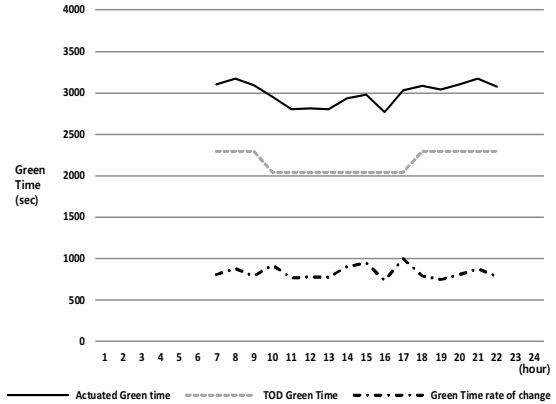
Time slot	Actuated Green time	TOD Green time	variation (sec)	rate of change(%)
AM Peak(7-9)	25,019	18,360	6,659	36.27
PM Peak(18-20)	24,530	18,360	6,170	33.61

※ Daily of Total Actuated Green time, Unit : Second

화성시(도시부)에 일일 시간대별 비교분석그래프를 살펴보면, <Fig. 5>에서 보는 바와 같이 오전/오후 첨두시에는 주방향 녹색시간의 차이가 적게 나타났지만, 비첨두시에는 녹색시간의 차이가 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 포천시(지방부) 시간대별 녹색시간 변화율을 살펴보면, <Fig. 6>에서 보는 바와 같이 첨두시에 변화율이 비첨두에 비해 작게 나타났으나, 도시부와 달리 첨두시간에 교통량의 영향을 덜 받는 것으로 판단된다. 지방부에 경우에는 첨두시간 관계없이 감응제어 운영이 가능할 것으로 사료된다.



<Fig. 5> Daily of Time Period Green Time Rate (Hwaseong)



<Fig. 6> Daily of Time Period Green Time Rate (Pocheon)

2) 정지지체

정지지체란 교차로를 통과하는 동안 차량이 대기행렬에서 정지해 있는 시간을 의미하며, 평균 정지지체는 특정시간동안 통과한 모든 차량에서 발생한 정지지체의 평균을 말한다. 평균 정지지체는 교차로에서 어느 한

접근로 또는 한 이동류의 정지한 시간만 조사하는 것으로, 짧은 시간간격(매 15초)마다 정지해 있는 차량대수를 연속적으로 측정하고, 아울러 조사기간(매 10분)동안 교차로 통과 차량 중에서 정지한 대수와 그대로 통과한 대수를 측정하여 이동류의 평균정지지체를 구한다.

$$\text{정지지체} = \frac{\text{관측간격} \times \text{총 대기행렬}}{\text{유출교통량}} \quad (1)$$

정지지체분석은 시범사업 구간을 대상으로 교통량이 상대적으로 많은 교차로 구간에 감응제어 도입 전후의 영상자료(금요일)를 이용하였고, 오후 비첨두(13:00~13 : 30), 첨두(17:30~18 : 00) 시간을 대상으로 비교분석하였다. 오전 비첨두(06 : 00~06 : 30)에는 통과 차량이 적어 분석자료 사용하기 어려워 제외하였다.

자료 산출은 상행과 하행의 교통량을 고려하여 가중평균을 사용하였다. 시범사업구간에 총 정지지체는 <Table 6>에서 보는 바와 같이 첨두시에는 고정시간 대비 10.7초/대, 비첨두시에는 2.6초/대 감소되었다. 예비타당성조사의 지속시간과 집중률 계수를 적용하여 일일로 환산하면, 고정시간 대비 약 5.34초/대(36.9%) 감소 효과가 발생한다.

<Table 6> Total Stop Delay Analysis Results

Section	time	TOD	Actuated	variation
Hwaseong/ Pocheon	Peak hour	29.0	18.3	10.7
	Non-Peak hour	6.9	4.4	2.6
	Daily exchange	14.46	9.12	5.34

※ Unit : Sec/per

3) 통과차량 대수

감응신호 운영 시 교차로별(주도로 양방향) 통과차량 대수는 <Table 7>에서 보는 바와 같이 화성시 75대/시, 포천시는 422대/시 증가하였으며, 전체적으로 환산하면 259대/시(12.19%)가 증가하였다.

<Table 7> Passing vehicle Analysis Results

Section	TOD	Actuated	variation
total	2,123	2,382	△259(12.19%)
Hwaseong	3,152	3,227	△75
Pocheon	1,095	1,537	△422

※ Unit : Sec/per

4) 주행시간 분석

주행시간이란 교차로 i 에서 교차로 j 까지의 소요되는 시간의 차이를 주행시간으로 정의된다.

$$\text{평균 차량 통행시간} = \frac{\sum_{j=1}^J (T_{i+1}^{j,k} - T_i^{j,k})}{J} \quad (2)$$

여기서, $T_{i+1}^{j,k}$: 차종 k , 개별차량 j 가 교차로 $i+1$

$T_i^{j,k}$: 차종 k , 개별차량 j 가 교차로 i 을 통과한 시간

J : 총 차량대수

주행시간 산출은 국도 감응신호 시범사업 대상구간의 시점교차로와 종점교차로에서 번호판을 조사하여 매칭된 차량들의 주행시간을 산출하고, 이를 평균하여 전체적인 변화를 분석하였다. 주행시간 분석결과 <Table 8>에서 보는 바와 같이 감응식 신호체계 운영 시 차량당 교차로 4개(약 2.0km) 구간을 통과하는데 20초(10.99%)의 주행시간이 절감하는 것으로 나타났다.

<Table 8> Travel time analysis(Hwaseong)

Direction	TOD	Actuated	Decrement
total	182(sec)	162(sec)	20(sec)
Hwaseong	181(sec)	150(sec)	31(sec)
Seoul	184(sec)	174(sec)	10(sec)

※ Unit : Sec

5) 신호위반 분석

신호위반 분석은 영상자료를 기반으로 TOD 신호와 감응신호 시 발생한 신호위반 횟수를 비교하였다. 여기서 신호위반은 차량 및 보행자의 모든 신호위반을 포함하였으며, 신호위반 분석 평일과 주말은 포함한 3일간(금, 토, 일)의 신호운행을 분석하였다. 신호위반 분석결과, <Table 9>에서 보는 바와 같이 기존 TOD 신호체계 운영 시 총 영상분석시간 동안 657대의 신호위반을 하였으나, 감응식 신호체계 운영했을 때에는 322대의 신호위반 차량이 감지되었다. 감응식 신호체계 운영 시 고정식제어(TOD)보다 51% 정도 감소하는 것으로 분석되었다. 고정신호제어(TOD)가 평균 4.4건이며, 감응제어는 평균 3건으로 약 31.82%로 위반율이 감소된 결과를 나타낸다.

<Table 9> Analysis of signal violation rate

Section	TOD	Actuated	Decrement
Total	657	322	51.0%
Average	4.4	3	31.82%

6) 차량감응 효율

차량감응과 전체(차량+보행) 감응 제어할 경우를 비교분석하여 차량감응만 시행했을 때의 효율을 파악하고자 하였다. 육교가 설치되어 있는 장안대 입구 교차로를 제외하고, 보행자 신호의 영향을 받는 교차로만을 분석하여 제시하였다. 두 감응의 비교 결과, <Table 10>에서 보는 바와 같이 침두시에는 차량만 감응했을 때 효율이 72.65%로 분석되었으며, 비침두시에는 59.1%로 관측되었다. 종합적으로 살펴보면, 차량감응만 감응했을 경우에는 약 65.88%의 효율을 보인다.

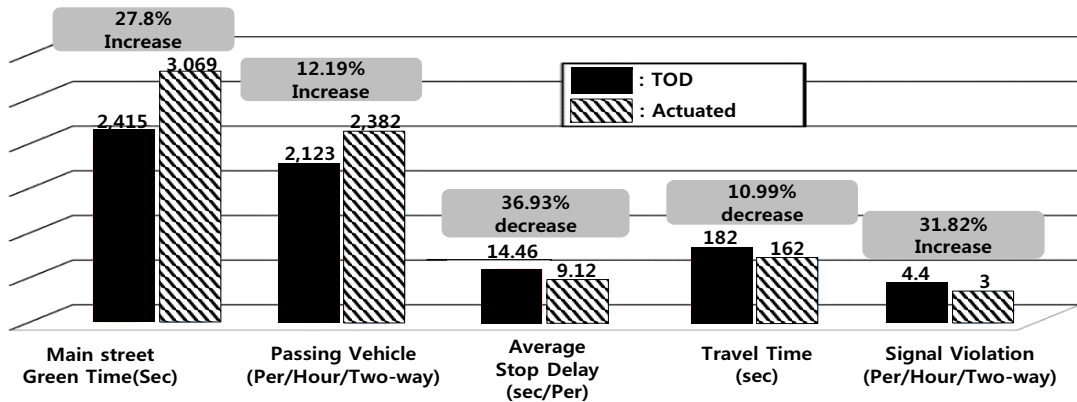
<Table 10> The effects of vehicle Actuated Signal Control

Direction	Section	Two-way Average
Hwasong	Peak Ec/Ecp (%)	72.65%
	Non Peak Ec/Ecp (%)	59.10%
	Ec total Average	65.88%

※ Ec : Only vehicles, Ecp(%) : Vehicles + Pedestrian

7) 소결론

국도 감응신호 효과평가 결과, 주방향 녹색시간은 전체적으로 일평균 시간당 27%가 증가하였다. 통과 차량대수는 12.19% 증가하였다. 감응신호 운영 시 TOD시간 대비 정지지체시간은 36.9%, 주행시간은 약 10.99%가 개선되었다. 신호위반은 감응식 신호체계 운영 시 322대의 신호위반 차량이 감지됨에 따라 감응식 신호체계 운영 시 TOD보다 51% 감소하였으며, 평균적으로는 약 31.82%의 감소율을 보인다. 차량감응은 약 65.88%의 효율을 보인다고 할 수 있으며, 보행자 감응은 34.12%의 효율이 있는 것으로 분석되었다. <Fig. 7>에서 보는 바와 같이 전체 결과를 살펴볼 때, 국도에서 고정식 신호운영을 하는 것보다는 감응식신호제어로 운영하는 것이 상당히 효과적인 것을 알 수 있다.



<Fig. 7> Total Effectiveness analysis

IV. 결 론

본 연구에서는 우리나라 일반국도 상황에 적합하도록 감응제어시설을 개선한 국도감응제어시스템을 구축하여 시범운영을 실시하였다. 그리고 운영 중에 발생하는 문제점을 파악하고, 이에 대한 개선방안을 제시하였다. 개선방안을 적용한 후 주방향 녹색시간, 정지지체, 통과 차량대수, 주행시간분석, 신호위반 발생건수를 분석하였다. 효과분석을 시행한 결과 주방향 녹색시간은 기존 고정신호제어 대비 약 27.8% 정도 증가하였다. 통과차량대수는 12.19% 정도 증가하였으며, 평균정지지체는 36.93% 감소하였다. 주행시간은 10.99% 정도 단축되었고 신호위반건수는 평균 31.82% 정도 감소되었다. 차량감응만 시행하였을 때의 효율은 약 65.88% 정도를 보였다. 이와 같은 결과는 감응제어가 고정시간제어 대비 이동성 및 안정성이 확보되는 것으로 볼 수 있다.

향후 이륜차 검지기 혼용 설치 요건에 대한 연구 및 국도환경에 적합한 이륜차 검지기 형태(Diagonal Quadrupole 등)에 대한 연구 등이 필요하다. 또한 감응제어 도입 및 운영비용의 가장 많은 부분을 차지하는 루프검지기를 대체하기 위하여 대체검지기 루프 동등성 평가 추가 시험 등 루프검지기 완전 대체 연구 등이 필요하다. 그리고 국도 감응제어시스템 정책 목표를 달성하기 위해서는 한국형 국도감응제어시스템 설치 매뉴얼 및 가이드라인 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통부 용역과제 “국토 감응신호제어체계 설치 기준 및 기본계획 수립 연구” 지원으로 수행하였습니다.

REFERENCES

- Alexander S. d. et al.(1998), “Development and Application of Control Strategies for Signalized Intersections in Coordinated Systems,” *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1634, pp.110-117.
- Alexander S. d.(1996), “Determination of Timings in Signal Systems with Traffic-Actuated Controllers,” *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1554, pp.18-26.
- FHWA Operations(2008), *Traffic Signal Timing Manual*, pp.5.4-5.20.
- Kim E. C., Jung H. S., Kim D. W. and Kim H. S.(2009), “An Analysis on Signal Control Efficiency in a Three-Leg Intersection Adopting Pedestrian Push-Button System Following Pedestrian volume,” *International Journal of Highway Engineering*, vol. 11, no. 3, pp.121-128.
- Kim J. T.(2002), “Design of Maximum Green Time Parameters for Traffic Actuated Operation,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 20, no. 4, pp.123-134.
- Kim J. T., Chang M. S., Son B. S. and Doh T. W.(2002), “Development of an Average Green Time Estimation Model for Proper Evaluation of Traffic Actuated Operation,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 20, no. 3, pp.159-168.
- Kim S. H., Oh Y. T., Lee C. K., Lee H. P. and Choi J. H.(2011), “Study on Development of the Left-Turn Actuated Signal Control Method,” *Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 10, no. 3, pp.9-15.
- Moon Y. J. et al.(2004), *Development of a Traffic Signal Controller Enhancing Traffic Operations and Safety in Rural Signalized Intersections*, *The Korea Transport Institute Research Report*, pp.172-176.
- National Police Agency(2004), *Traffic Signal Controller Standard*, pp.137-142.