

영상검지기 기반 반감응 신호제어시스템의 성능평가 및 효과분석 방법론에 관한 연구

Study on Performance and Effectiveness Evaluation Method for Semi-Actuated Signal Control Systems based on Image Detectors

이 철 기*	윤 일 수**	오 영 태***	이 환 필****	박 대 현*****
(Chul-Ki Lee)	(Il-Soo Yun)	(Young-Tae Oh)	(Hwan-Pil Lee)	(Dae-Hyun Park)

요 약

국내에 교통량의 변동을 고려하기 위하여 영상검지기를 이용한 반감응 신호제어시스템의 설치가 증가하고 있지만 그러한 반감응 신호제어시스템의 도입효과 및 성능을 평가하기 위한 절차 및 방법론은 아직까지 수립되어 있지 않다. 이에 본 연구에서는 효과분석 및 성능평가를 위한 방법론을 수립하였다. 개발된 방법론에서는 반감응 신호제어시스템의 특성을 고려하여 교통환경 개선 파악에 유용한 효과척도와 조사항목이 우선 설정되었고, 현장조사와 평가를 통해 시스템의 성능 및 도입에 따른 교통환경의 개선효과를 파악할 수 있는 방법을 제시하고 있다. 또한 본 연구에서는 개발된 방법론을 파주시 반감응 신호제어시스템에 대해서 사례 분석을 실시하였다. 단일교차로와 간선축으로 구분된 사례분석에서 교통량, 통행속도 항목과 신호효율측면의 현시이용효율, 연동효율 등 선정된 효과척도 분석결과 시스템 도입에 따라 일정 수준의 개선효과가 있는 것으로 나타났다.

Abstract

Even though the semi-actuated signal control system based on image detectors has been spreading in Korea, any appropriate methods to evaluate the effectiveness and performance has not been established yet. Therefore, this research effort is aiming at developing a systematic method for evaluating the effectiveness and performance of the semi-actuated signal control system based on image detectors. To this end, this research firstly established measures of effectiveness(MOEs) and associated information to be surveyed from fields. Secondly, this research provided a procedure and methodology to evaluate any improvements due to the introduction of a semi-actuated signal control system based on image detectors. The developed methodology was examined at a case study site located in the city of Paju. As a result of the evaluation, the MOEs including traffic throughput, travel speeds, split usage rate, progression rate, etc. showed positive improvements though individual signalized intersections as well as coordinated corridors.

Key words : Semi-Actuated, Actuation, Signal Control, Performance Evaluation, Before and After Study, Image Detector

* 주저자 : 아주대학교 환경건설교통공학부 부교수
** 공저자 및 교신저자 : 아주대학교 환경건설교통공학부 조교수
*** 공저자 : 아주대학교 환경건설교통공학부 교수
**** 공저자 : 공저자 : 한국도로공사 교통정보 통합 활용지원센터(OASIS) Post-Doc
***** 공저자 : 파주시청 정보통신관 교통정보팀
† 본 논문은 2011년 한국 ITS학회 추계학술대회에서 발표한 프로시딩을 수정·보완한 논문입니다.
† 논문접수일 : 2011년 11월 8일
† 논문심사일 : 2011년 11월 30일
† 게재확정일 : 2011년 12월 20일

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

국내에 도입된 ITS 시스템 중 대부분 신호제어시스템은 서울시에 적용되고 있는 실시간 신호제어시스템인 COSMOS(Cycle, Offset, Split Model for Seoul)를 모태로 하고 있다. COSMOS는 교통대응형 신호시스템으로서 설치비용이 높으며 대규모 신호센터가 수반되는 도시부 주요도로를 네트워크 측면에서 관장하기에 적합한 시스템이다. 그러나 통행량이 적은 지방부 국도 또는 이동성(mobility)이 강조되는 중·소도시 간선도로에 구축하기에는 설치비용 및 운영효율성 측면에서 비효율적인 측면이 존재한다.

중·소도시 간선도로 및 지방부국도는 시내 중심을 벗어날 경우 접근기능보다 도시간 연결기능 및 지역간 이동기능이 요구되어 진다. 하지만, 현재 도로체계상 간선도로에 집분산 도로가 직접 연결되는 형태가 대부분으로 이동류의 방향별 특성도 높은 직진 수요에 비해 낮은 좌회전 수요로 시간대별 변동폭이 매우 크다. 이러한 조건의 신호교차로가 고정식 신호제어시스템(pre-timed signal control system)으로 운영된다면 좌회전 신호시간의 낭비 및 직진 교통류의 지체 증가, 그에 따른 신호위반 증가 등의 효율성 저해요인이 발생하게 된다.

일반적으로 시간대별 교통량 변동이 클 경우, 감응식 신호제어시스템(actuated signal control system)이 효과적인 것으로 알려져 있다[1, 2]. 하지만, 국내에서는 ITS 사업에 포함된 신호제어시스템 설치로 감응식 신호제어시스템의 도입비율이 낮은 상황이었으며 현재는 교통신호체계 개선방안의 일환으로 지속적으로 설치 및 확대가 이루어지고 있는 실정이다. 아울러, 감응식 신호제어시스템에 보편적으로 사용되는 루프검지기의 한계 극복을 위해 영상검지기 도입이 확대되는 추세이다.

하지만, 영상검지기에 기반한 좌회전 감응제어시스템의 보급이 확대되고 있음에도 불구하고, 시스템의 설치효과 및 성능을 좌우할 수 있는 성능평가 방법론과 시스템 도입에 대한 효과를 분석할 수

있는 효과분석방법론은 일반화되어 있지 않은 실정이다. 즉, 성능평가 및 효과분석을 위한 관련지침인 ITS 업무매뉴얼을 반감응 신호제어시스템에 적용하여 표준화된 분석을 수행하기는 불가능하다.

이러한 배경에서 본 연구는 현재 도입이 활발히 진행되고 있는 영상검지기 기반의 감응식 신호제어시스템에 대해서 시스템 도입시 활용할 수 있는 시스템 성능평가 및 효과분석 평가방법론의 수립을 목적으로 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 좌회전 감응제어 이론과 ITS 시스템 평가방법론에 대한 고찰을 실시하여 반감응 신호제어시스템을 위한 성능평가 및 효과분석 방법론 수립의 기초자료로 활용하였다.

다음으로 영상검지기를 이용한 반감응 신호제어시스템의 성능평가 및 효과분석을 위해 필요한 효과척도를 수립하였고 효과분석 절차를 정의하였다. 마지막으로, 수립된 효과척도 및 조사방법론을 현장에 적용하여 사례 연구(case study)를 실시하였다.

II. 선행연구 및 관련문헌 고찰

1. 좌회전 감응제어 관련 이론

1) 좌회전 감응제어 개요

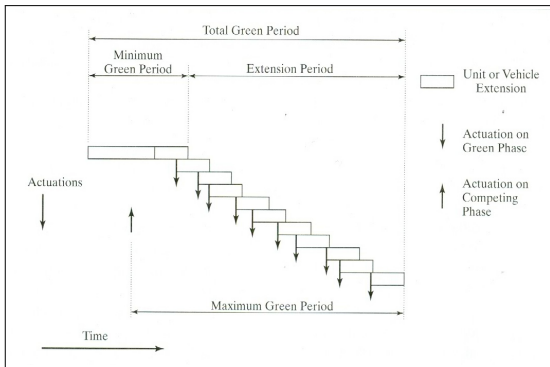
좌회전 감응제어는 기존 반감응 제어(semi-actuated signal control)의 한 형태로서 좌회전 수요가 적을 시, 좌회전 시간의 일부를 직진현시에 할당하고, 좌회전 수요가 많은 경우에는 기 설정한 좌회전 신호현시만큼 부여하여 신호운영 효율성을 높이기 위한 시스템이다. 이를 위해서 설정된 현시에 대해 감응제어를 수행하고 좌회전 수요가 적은 경우 조기 종결(gap-out) 및 생략(phase-skip)으로 잔여시간을 주 방향으로 배분한다. 반대로, 좌회전 수요가 많은 경우에는 기설정된 좌회전 현시 최대값까지 현시연장을 실시(max-out)하게 된다.

2) 좌회전 감응제어 변수

Bonneson *et al.*(1994)[1]와 Roess *et al.*(2004)[2]는 감응제어 관련 운영변수를 <표 1>, <그림 1>과 같이 제시하고 있다.

<표 1> 감응제어의 운영변수의 설명
<Table 1> Description of Operational Variables for Actuation

항목	내 용
최소녹색 시간	<ul style="list-style-type: none"> • 좌회전현시 시작시 정지선에서 검지기까지 대기한 차량을 통과시킬 수 있는 최소녹색시간 • 초기녹색시간과 1개의 단위연장시간으로 구성
단위연장 시간	<ul style="list-style-type: none"> • 최소 녹색시간에 접근교통량에 따라 녹색시간 연장분을 결정하는 것으로 차량간 수용할 수 있는 최대차두간격을 의미 • 상류부에서의 검지교통량이 하류측 정지선에 도착하는 시간과 대기행렬을 예측하는 방식
최대녹색 시간	<ul style="list-style-type: none"> • 좌회전 현시의 최대값 • 차량감응이 발생하더라도 지정시간이후 종료



<그림 1> 감응제어의 운영변수 운영 개념
<Fig. 1> Concept of Operational Variables for Actuation

2. 국내 좌회전감응제어 관련 선행연구

이승환의 2인(2002)의 연구에서는 COSMOS 시스템의 신호운영 안정화 중 하나로 횡단보도위치를 고려한 좌회전 감응제어기법과 현시구조를 고려한 좌회전 감응제어기법을 제안하였다[3].

건설교통부(2004)의 연구에서는 연동신호제어에서 운영되는 일반국도 신호교차로 통과차량의 안정성을 높이는 달레마 감응제어를 개발하였고, 실내평가 및 국도 1호선 적용결과 교통소통 및 안전측면에서 효과가 있음을 입증하였다[4].

김대호의 2인(2005)의 연구에서는 U턴 차량을 고려한 좌회전 감응식 신호제어기법개발을 위하여 감응제어변수인 Gap-Time 변경과 감응검지기의 설치위치 조정을 수행하였으며, 시뮬레이션을 통해 개선효과를 확인하였다[5].

한국교통연구원(2005)의 연구에서는 고양시 관내 지방도 310번상 교차로 6개소를 대상으로 중요교차로의 검지기로부터 얻어진 정보를 반감응 제어를 위한 공통신호주기로 이용, 연동시스템을 구축하여 효과를 확인한 바 있다[6].

은지혜의 5인(2011)의 연구에서는 전통적으로 좌회전 감응제어에 사용되던 루프검지기를 영상검지기로 대체하고 이에 맞는 신호제어전략을 개발하였으며 효과분석을 실시하였다[7].

위에 언급된 국내 사전연구 외에도 다양한 연구가 진행되었으나 대부분의 연구가 성능개선과 이와 관련된 독립교차로 및 연동그룹수준의 평가, 알고리즘의 개선 등에만 머물고 있으며, 전반적인 시스템 최적화를 위한 성능평가 및 효과분석 방법론에 대해서는 연구사태가 부족한 실정이다.

3. 국내 ITS 시스템 평가 관련 상위지침

국내 신호제어시스템에 관한 지침은 신호기의 설치기준, 설치방법, 교통신호기 사업 등에 대한 업무지침을 제공하는 교통신호기 설치·관리 매뉴얼과 신호제어기의 기능에 대한 규격을 명시한 교통신호제어기규격서가 주요한 상위지침이다.

신호제어시스템 설치 및 운영업무에 관한 지침인 교통신호기 설치·관리 매뉴얼에서는 공사 감독 및 감리업무에 대해서만 언급하고 있으며, 승인검사를 위한 Check list만을 제공하고 있다[8]. 또다른 신호제어관련 지침인 교통신호제어기 표준규격서에서는 표준제어기에서 구현해야할 감응제어의 기능적인 측면에 대해서만 언급하고 있으며 현시조기 종결조건에 대해 간단한 기능검사방안만을 제시하고 있다[9].

실질적으로 ITS 시스템 평가관련 업무는 국토해양부의 ITS 업무요령과 이에 기반한 ITS 업무매뉴

얼(2006)[10]을 따르고 있으며 시스템 관련 평가와 관련된 내용은 ITS 성능평가부문과 효과분석부문으로 구분하여 제시하고 있다.

업무요령의 ITS 성능평가에서는 성능평가범위를 1. 차량검지기, 자동차량인식장치, 도로전광표지, 폐쇄회로텔레비전 등 현장요소장비 2. 정보 수집분석과 요소장비를 제어하는 ITS센터 3. 현장 장비 및 ITS센터를 포함하는 전체시스템으로 지정하고 있다. 또한, ITS 현장장비의 기술시험, 준공전 성능검증, 정기검사 등의 시험시기와 ITS 센터시스템의 성능평가 및 교통데이터 및 정보의 품질평가에 대한 효과적도 및 방법을 제시하고 있다.

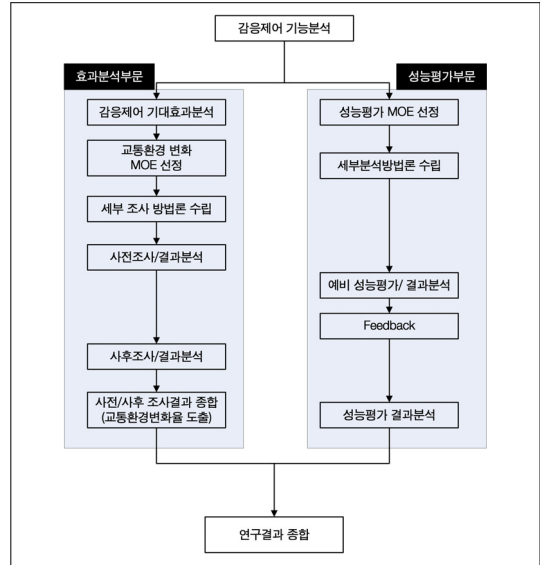
효과분석부문에서도 기본교통정보수집 및 제공, 돌발상황관리, 주·정차단속, 전자지불처리, 대중교통 운행관리/정보제공 등의 5개 시스템에 대해서만 적용범위를 한정하고 있으며 개괄적인 정량적, 정성적 효과적도에 대한 조사 및 분석방법과 경제성분석 방법을 제시하고 있다.

현재 국내에 도입되고 있는 ITS 시스템은 기존의 기본적인 형태에서 탈피하여 다양한 시스템이 도입되고 있는 점을 고려하였을 때, ITS 업무매뉴얼에서 다루지 않는 다양한 시스템에 대해서 성능평가 및 효과적도를 수립해야하는 현상이 지속적으로 발생하고 있다. 그 중, 현재 도입이 활발히 진행되고 있는 반감응 신호제어시스템 역시, 상위지침인 ITS 업무매뉴얼 상에서 포함하고 있지 않기 때문에 성능평가 및 효과분석 방법론의 수립이 필요하다.

Ⅲ. 반감응 신호제어시스템의 성능평가 및 효과분석 방법론 수립

1. 평가절차 수립

그간 교통신호제어시스템을 포함한 ITS 시스템의 성능평가는 사업관리 및 감리주체를 통한 설치물량확인, 단순기능시험 등이 물리적 측면에만 국한되어 수행되었으므로 시스템 구축이후에도 검지기 미튜닝, 신호제어변수 미최적화 등에 의해 최적 성능을 발휘하지 못하는 상황이 종종 발생하였다.



〈그림 2〉 평가절차 수립
(Fig. 2) Establishment of Evaluation Process

또한, 시스템 설치 사업의 효과를 분석하기 위한 효과분석도 최적성능이 구현되지 않은 상태에서 실시되므로 시스템 도입에 따른 정확한 교통환경변화와 경제성을 분석하기 어려웠다.

이러한 문제점 개선을 위해 본 연구에서는 최적 성능에서의 시스템 및 효과분석을 위해 성능평가에 앞서 예비성능평가 과정을 추가한 후 성능평가와 사후조사를 실시하여 반감응 신호제어시스템의 도입에 따른 개선효과를 정확하게 분석할 수 있도록 <그림 2>와 같이 평가절차를 수립하였다.

2. 효과적도의 선정

1) 성능평가를 위한 효과적도의 수립

영상검지기를 이용한 반감응 신호제어시스템에서는 영상검지기의 정보수집측면과 반감응 시스템의 기능평가측면으로 구분하여 효과적도를 수립함이 타당하다. 하지만, 영상검지기는 ITS 업무요령 및 매뉴얼에 따라 별도의 성능평가를 공인기관에서 실시하므로[12] 본 연구에서는 영상검지기 성능평가는 제외하였다.

반감응 신호제어시스템의 주요기능은 현시부여,

현시생략, 현시연장 등이며 교통상황에 따라 적절하게 감응제어를 구현하는지 파악하기 위해 효과척도를 <표 2>와 같이 수립하였다.

<표 2> 성능평가를 위한 효과척도
<Table 2> Measurement for Effectiveness of Performance Evaluation

기능	효과척도	조사항목
좌회전 감응 기능	• 현시조기종결 정확도 • 현시생략 정확도 • 현시연장 정확도	• 각 기능별 성공건수 및 실패건수

2) 효과분석을 위한 효과척도의 수립

반감응 신호제어시스템을 설치·운영할 시에는 교차로 측면에서 처리효율을 증대, 간선축인 연동그룹 측면에서는 통행여건 개선 등의 효과를 가져올 수 있으며 기대효과를 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 단일교차로 : 직진차량 연속성 증대, 좌회전 신호시간 효율증대
- 연동그룹 : 정지수 감소와 연동효율 증대, 통행속도 증가

기대효과를 정량적으로 측정하기 위해 효과척도와 조사항목을 <표 3>과 같이 수립하였다.

<표 3> 효과분석을 위한 효과척도
<Table 3> Measurement for Effectiveness of Effective Analysis

대상	효과척도	조사항목
단일 교차로	• 직진통행량 • 현시 이용효율 • 현시시간 변화	• 교차로 교통량 • 신호시간
간선축 (연동축)	• 연동효율 • 통행속도	• 통행속도 • 신호시간 • 정지수

효과척도 중 현시 이용효율은 <식 1>과 같이 산정한다.

$$\text{이용효율(대/초)} = \frac{\text{주기당 통과교통량}}{\text{해당현시 Split}} \quad \text{<식 1>}$$

이용효율은 해당현시의 초당 통과교통량으로 교통량 대비 신호시간의 적절성을 판단하기 위한 지표로 사용한다.

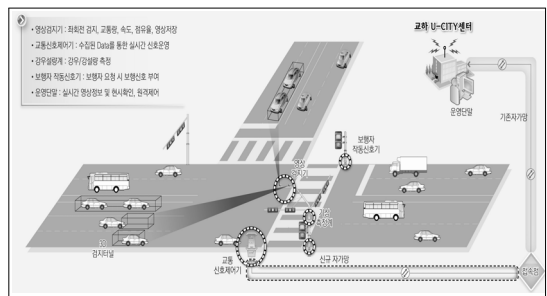
IV. 분석방법론 적용을 위한 사례 연구

1. 사례 연구 개요

수립된 성능평가 및 효과분석 방법론을 적용하기 위한 사례 연구(case study) 범위는 다음과 같다.

- 공간적 범위 : 파주시 일대(지방도 56, 360호선, 국도 1호선) 반감응 신호제어시스템 설치지역
- 시간적 범위 : 2010년 11월 ~ 2011년 2월

사례 연구를 위한 시스템은 영상검지기를 이용한 시스템으로 현장제어기에 노트북을 통해 접속하여 신호운영 로그파일 및 영상파일의 취득이 가능하다.



<그림 3> 사례연구 시스템 구성
<Fig. 3> System Configuration for Case Study

2. 평가 세부사항

평가는 현장목측, 비디오영상, 영상검지기영상, 시스템 로그파일 등 가능한 자료를 모두 활용하고 각 부문별 평가의 세부사항은 <표 4>와 같다.1)

<표 4> 부문별 평가일시
<Table 4> Schedule for Each Evaluation

부문	일시	시간대
효과 분석	• 2010년 8월 19일(사전) • 2011년 1월 19일(사후)	• 오전첨두, 오후첨두, 비첨두2)
성능 평가	• 2011년 1월 6, 11, 12일	• 주간, 야간으로 구분3)

- 1) 본 성능평가 실시전 예비평가를 수행, 발견된 문제점을 피드백하여 보완을 실시하였고 논문에서는 예비성능평가 결과 확인된 문제점과 본 성능평가 결과만 수록
- 2) 오전첨두(7~9시), 비첨두(12~14시), 오후첨두(17~19시)로 구분
- 3) 주간(16~17시), 야간(19~20시)로 구분

3. 평가결과

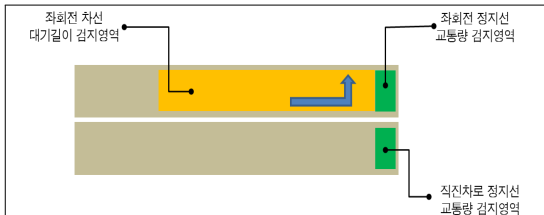
1) 성능평가부문

반감응 신호제어시스템의 기능의 합리적 구현과 시스템 성능을 평가하기 위해 현시부여, 현시생략, 현시연장 정확도 항목을 효과적으로 선정하였다.

가. 예비평가결과

예비평가는 2010년 12월 14일~16일 사이 실험대상 사이트 3개소에서 실시되었으며 오류발생과 원인분석을 위주로 실시되었다.

감응제어를 위해 필수적으로 검지해야하는 좌회전 차량은 그림에서 제시한 원리와 같이 대기길이 검지영역 내에서 차량검지가 일정시간이상 유지되면 좌회전 차량으로 인식하게 된다.



〈그림 4〉 좌회전 이동류 검지방식
(Fig. 4) Method for Left Turn Movement Detection

평가대상 시스템의 정보수집수단이 영상검지기인 특성상 오검지 발생은 감응제어 실패로 직접 이어지므로 감응제어가 실패했을 경우를 분석하여 다음과 같이 오류유형을 분류하였다.4)

- 오류유형 1 : 잘못된 검지영역 설정으로 인한 우회전 검지오류
- 오류유형 2 : 차량전조등에 의한 검지오류
- 오류유형 3 : 옆차로 통과차량의 그림자에 의한 검지오류
- 오류유형 4 : 차량통과 후 검지상태 지속오류
- 오류유형 5 : 차량 한 대의 이중검지오류
- 오류유형 6 : 연속된 차량 두 대가 한 대로 검지되는 오류

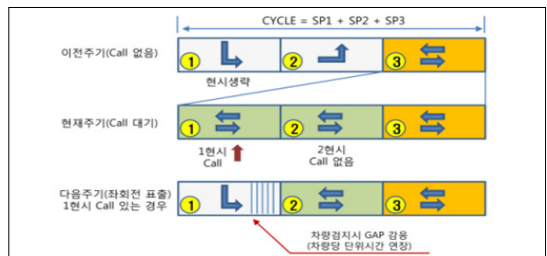
4) 오류유형 5, 6의 경우에는 정지영상으로 표현이 불가능하므로 <그림 5>에서는 제외하였음



〈그림 5〉 영상검지기 오류 발생 유형
(Fig. 5) Classification Of Detection Failure

나. 본 평가결과

본 평가는 예비평가결과 분석된 오류에 대한 개선을 실시한 후 평가되었으며 반감응 시스템의 기능에 대한 성능평가를 위해 현시생략정확도, 현시연장정확도, 현시조기종결 정확도를 모두 구현할 수 있도록 <그림 6> 같이 감응제어 로직을 구성하였다.



〈그림 6〉 평가를 위한 반감응 제어 로직
(Fig. 6) Semi-Actuation logic for Evaluation

감응제어에 필요한 운영변수는 한정된 평가시간 내에서 많은 샘플수 확보를 위해 <표 5>와 같이 낮은 수치로 설정하였다.

〈표 5〉 평가를 위한 초기입력값
(Table 5) Initial Inputs for Evaluation

구분	초기 입력값
최소녹색시간	6초
황색시간	3초
Gap time	4초

〈표 6〉 현시연장 기능 분석결과
(Table 6) Result for Phase Extension Evaluation

구분	설치지점	도로구분	주간(16:00~17:00)			야간(19:00~20:00)		
			구현조건횟수	실제구현횟수	성공률(%)	구현조건횟수	실제구현횟수	성공률(%)
1	파주삼릉	주도로	8	8	100.00	8	8	100.00
		부도로	12	12	100.00	14	14	100.00
2	PX마을앞삼거리	주도로	13	13	100.00	15	14	93.33
		부도로	20	20	100.00	16	16	100.00
3	신성레미콘앞	주도로	12	12	100.00	1	1	100.00
		부도로	21	21	100.00	15	14	93.33
4	봉암4리삼거리	부도로	2	2	100.00	2	2	100.00
5	봉서4리삼거리	부도로	-	-	-	1	1	100.00
6	파주농협삼거리	부도로	5	5	100.00	2	2	100.00
7	파주스타디움입구	주도로	14	14	100.00	8	8	100.00
		부도로	6	6	100.00	8	8	100.00
8	탄현이주단지1	부도로	15	15	100.00	8	8	100.00
9	갈현삼거리	주도로	2	2	100.00	-	-	-
		부도로	9	9	100.00	5	5	100.00
10	도레미미디어삼거리	주도로	1	1	100.00	-	-	-
		부도로	-	-	-	1	1	100.00
11	풀무골삼거리	주도로	4	3	75.00	5	5	100.00
		부도로	9	9	100.00	10	10	100.00
12	영태리S-Oil앞삼거리	주도로	6	6	100.00	3	3	100.00
		부도로	13	13	100.00	3	3	100.00
평균			8.89	8.44	99.42	7.26	6.50	98.40

〈표 7〉 현시 조기종결기능 분석결과
(Table 7) Result for Gap out Evaluation

구분	설치지점	도로구분	주간(16:00~17:00)			야간(19:00~20:00)		
			구현조건횟수	실제구현횟수	성공률(%)	구현조건횟수	실제구현횟수	성공률(%)
1	파주삼릉	주도로	8	7	87.50	6	6	100.00
		부도로	13	12	92.31	10	7	70.00
2	PX마을앞삼거리	주도로	12	12	100.00	10	10	100.00
		부도로	3	3	100.00	6	6	100.00
3	신성레미콘앞	주도로	7	7	100.00	2	2	100.00
		부도로	3	3	100.00	5	5	100.00
4	봉암4리삼거리	부도로	4	4	100.00	4	4	100.00
5	봉서4리삼거리	부도로	6	5	83.33	7	7	100.00
6	파주농협삼거리	부도로	3	3	100.00	17	15	88.24
7	파주스타디움입구	주도로	6	4	66.67	5	4	80.00
		부도로	7	5	71.43	10	10	100.00
8	탄현이주단지1	부도로	8	8	100.00	11	9	81.82
9	갈현삼거리	주도로	4	2	50.00	4	4	100.00
		부도로	4	3	75.00	7	7	100.00
10	도레미미디어삼거리	주도로	15	15	100.00	7	7	100.00
		부도로	18	18	100.00	16	16	100.00
11	풀무골삼거리	주도로	5	5	100.00	4	3	75.00
		부도로	5	5	100.00	8	7	87.50
12	영태리S-Oil앞삼거리	주도로	2	1	50.00	2	2	100.00
		부도로	6	5	83.33	6	6	100.00
평균			6.95	6.35	91.37	7.35	6.85	93.20

성능평가를 통해 분석한 현시연장기능의 결과는 <표 6>과 같다.⁵⁾

분석결과 주간시간대 현시연장이 필요한 교통상황은 전교차로 평균 8.60회였으며 그 중 8.55회를 성공, 평균 성공률은 99.42%로 분석되었다. 야간은

평균 6.25 중 6.15회를 성공하여 평균 98.40%의 성공률을 나타내고 있는 것으로 분석되었다.

두 번째 성능평가 항목인 현시조기종결기능에 대한 분석결과는 <표 7>과 같다.

분석결과 주간시간 동안 현시조기종결이 필요한 교통상황은 전교차 평균 6.95회였고 평균 6.35회를 성공하여 평균 성공률은 91.37%을 나타내고 있다.

5) 표 <6-9>에서 “구현조건횟수”는 기능구현이 필요한 교통상황의 전체횟수, “실제구현횟수”는 실제 기능 구현된 횟수임

〈표 8〉 현시 생략기능 분석결과
 〈Table 8〉 Result for Phase Skip Evaluation

구분	설치지점	도로 구분	주간(16:00~17:00)			야간(19:00~20:00)		
			구현조건횟수	실제구현횟수	성공률(%)	구현조건횟수	실제구현횟수	성공률(%)
1	파주삼릉	주도로	-	-	-	-	-	-
		부도로	-	-	-	-	-	-
2	PX마을앞삼거리	주도로	-	-	-	-	-	-
		부도로	-	-	-	-	-	-
3	신성레미콘앞	주도로	4	4	100.00	22	22	100.00
		부도로	1	1	100.00	5	5	100.00
4	봉암4리삼거리	부도로	17	17	100.00	19	16	84.21
5	봉서4리삼거리	부도로	19	19	100.00	17	16	94.12
6	과주농협삼거리	부도로	17	17	100.00	6	6	100.00
7	과주스타디움입구	주도로	5	5	100.00	12	12	100.00
		부도로	6	6	100.00	3	2	66.67
8	탄현이주단지1	부도로	3	3	100.00	7	6	85.71
		주도로	20	20	100.00	22	22	100.00
9	갈현삼거리	부도로	5	5	100.00	8	8	100.00
		주도로	11	11	100.00	20	20	100.00
10	도레미미디어삼거리	부도로	9	9	100.00	10	10	100.00
		주도로	15	15	100.00	18	18	100.00
11	풀무골삼거리	부도로	12	8	66.67	9	8	88.89
		주도로	17	17	100.00	20	20	100.00
12	영태리S-Oil앞삼거리	부도로	5	5	100.00	12	12	100.00
		주도로	17	17	100.00	20	20	100.00
평균			8.30	8.10	97.59	10.50	10.15	96.67

〈표 9〉 성능평가 결과종합
 〈Table 9〉 Comprehensive Result of Performance Test

구분	설치지점	도로 구분	주간(16:00~17:00)			야간(19:00~20:00)		
			총횟수	성공횟수	성공률(%)	총횟수	성공횟수	성공률(%)
1	파주삼릉	주도로	16	15	93.75	14	14	100.00
		부도로	25	22	88.00	24	21	87.50
2	PX마을앞삼거리	주도로	25	25	100.00	25	24	96.00
		부도로	23	23	100.00	22	22	100.00
3	신성레미콘앞	주도로	23	23	100.00	25	25	100.00
		부도로	25	25	100.00	25	24	96.00
4	봉암4리삼거리	부도로	23	23	100.00	25	22	88.00
5	봉서4리삼거리	부도로	25	22	88.00	25	23	92.00
6	과주농협삼거리	부도로	25	25	100.00	25	23	92.00
7	과주스타디움입구	주도로	25	23	92.00	25	24	96.00
		부도로	19	17	89.47	21	19	90.48
8	탄현이주단지1	부도로	26	26	100.00	26	23	88.46
		주도로	26	24	92.31	26	26	100.00
9	갈현삼거리	부도로	18	17	94.44	20	20	100.00
		주도로	27	27	100.00	27	27	100.00
10	도레미미디어삼거리	부도로	27	27	100.00	27	27	100.00
		주도로	24	22	91.67	27	26	96.30
11	풀무골삼거리	부도로	26	22	84.62	27	24	88.89
		주도로	25	24	96.00	25	25	100.00
12	영태리S-Oil앞삼거리	부도로	24	23	95.83	21	21	100.00
		주도로	24	23	95.83	21	21	100.00
평균			23.85	22.75	95.39	24.10	23.00	95.44

야간은 현시조기종결횟수 평균 7.35회에 6.85회를 성공, 평균 93.20%의 성공률을 나타내고 있다.

현시생략기능 분석결과는 <표 8>이며 분석결과 주간 현시생략 필요횟수는 전교차로 평균 8.30회이며 8.10회를 성공하여 94.59%의 성공률을 나타내고 있다. 야간 현시 생략 필요경우는 평균 10.50회이며 이 중 평균 10.15회를 성공하여 96.67%의 성공률을

나타내고 있다.

<표 9>의 종합분석결과는 평가전시간대의 현시 연장, 현시조기종결, 현시생략 등의 전체 사항에 대해서 분석한 내용으로 주간의 경우 현시연장, 현시조기종결, 현시생략 등의 총 감응제어 실행 횟수가 23.85회였으며 이 중 22.75회를 성공하여 95.39%의 높은 성공률을 나타내고 있다. 야간의 경우 감응제

어가 시행된 횟수는 평균 24.10회이며 이 중 23회가 성공하여 95.44%의 성공률을 나타내고 있다.

오류 발생현상에 대한 세부분석결과 낮은 성공율을 나타내는 풀무골 삼거리의 오류유형 4, 차량 통과 후 검지상태 지속오류가 발생하여 차량이 진입하지 않아도 이전상태에서 검지된 검지상태가 지속되어 오인식하기 때문인 것으로 분석되었다.

전반적인 분석결과 대부분의 기능은 정상적으로 작동하고 있지만 일부 교차로의 현시조기종결기능에 문제가 발생한 것을 미루어 봤을 때 평가대상 시스템의 완성도를 높이기 위한 튜닝이 필요할 것으로 사료된다.

2) 효과분석부분

시스템 설치 전·후의 교통환경변화 비교를 통한 효과분석을 위해 단일교차로와 연동축을 포함한 간선축 측면의 효과척도를 설정하였다.

단일교차로 교통환경 변화를 위한 효과척도로는

직진통행량, 좌회전 현시이용효율, 현시시간변화 등이 있으며 세부적인 결과는 <표 10>과 같다.

현시시간변화 분석결과 높은 수요를 나타내는 주방향 직진 이동류에 대해서 감응제어의 현시연장 기능을 통해 평균 21.95초가 증가하였다. 실질적으로 감응제어가 실시되어 현시조기종결이 발생하는 주, 부방향 좌회전은 각각 14.78초, 12.88초씩 현시시간이 감소한 것으로 분석되었다. 이런 결과는 낮은 수요에 비해 많은 신호현시를 부여하는 좌회전 현시를 조기에 종결하고 높은 수요로 인해 현시의 증가가 필요한 주방향 직진에 재할당하여 이동성을 보장하는 신호조건으로 바뀌었다는 점을 의미한다.

교통량의 변화는 주방향 직진, 좌회전, 부방향 좌회전이 평균 -1대/시로 사전, 사후대비 비슷한 수준으로 나타났다.

현시 이용효율은 감응제어를 실시하는 좌회전의 현시의 이용효율은 증가하며, 감응제어의 실시

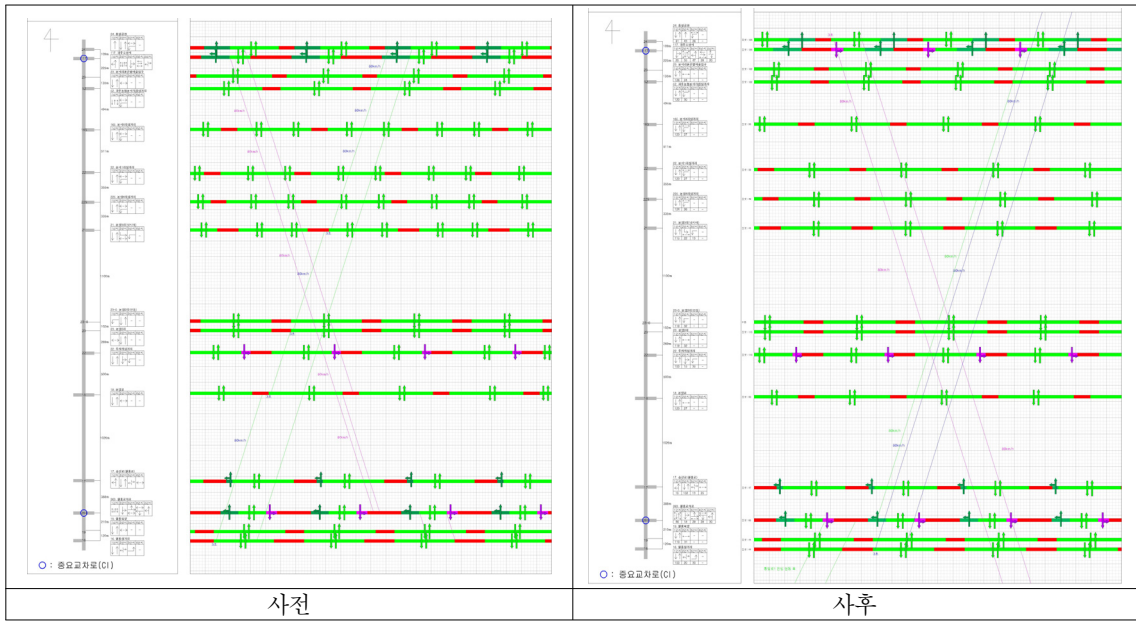
<표 10> 효과분석 결과
(Table 10) Details for Each Evaluation

(단위 : 초, 대/시간, 대/초)

구분	시간대	분석								
		주방향						부방향 좌회전		
		직진		좌회전		이용효율변화		이용효율변화		이용효율변화
현시시간변화	교통량변화	이용효율변화	현시시간변화	교통량변화	이용효율변화	현시시간변화	교통량변화	이용효율변화		
파주 삼릉	16:00-18:00	14.50	1.0	-	-11.09	0	0.06	-3.41	0	0.03
	18:00-20:00	13.15	0	-	-10.25	0	0.06	-2.90	1.0	0.07
	평균	13.82	1	-	-10.67	0	0.06	-3.15	1	0.05
PX 마을앞 삼거리	16:00-18:00	11.54	-2.0	-	-6.67	-0.5	0.03	-4.89	0.5	0.06
	18:00-20:00	8.96	-3.0	-	-4.42	-1.5	-0.01	-4.55	0.5	0.03
	평균	10.24	-3	-	-5.54	-1	0.01	-4.71	1	0.05
신성 레미콘 앞	16:00-18:00	19.69	-1.0	-	-16.83	0.5	0.14	-2.87	-1.0	0.02
	18:00-20:00	26.44	-1.0	-	-22.35	0	0.18	-4.09	-0.5	0.00
	평균	23.06	-1	-	-19.59	1	0.15	-3.48	-1	0.01
봉암4리 삼거리	16:00-18:00	21.27	-	-	-	-	-	-21.27	1.0	-
	18:00-20:00	21.15	-	-	-	-	-	-21.15	-1.0	0.04
	평균	21.21	-	-	-	-	-	-21.21	0	0.04
봉서4리 삼거리	16:00-18:00	23.27	-	-	-	-	-	-23.27	-1.0	0.11
	18:00-20:00	21.08	-	-	-	-	-	-21.08	0	0.06
	평균	22.18	-	-	-	-	-	-22.18	-1	0.08
파주농협 삼거리	16:00-18:00	21.73	-	-	-	-	-	-21.73	0	0.06
	18:00-20:00	18.23	-	-	-	-	-	-18.23	0	0.07
	평균	19.98	-	-	-	-	-	-19.99	0	0.06
파주스 타디움 입구	16:00-18:00	28.40	-1.0	-	-14.41	1.0	0.11	-13.99	1.0	0.03
	18:00-20:00	28.13	0	-	-16.05	0	0.08	-12.08	1.0	0.09
	평균	28.26	-1	-	-15.23	1	0.09	-13.03	1	0.06
탄현 이주 단지1	16:00-18:00	4.50	-	-	-	-	-	-7.73	0.5	0.12
	18:00-20:00	4.01	-	-	-	-	-	-9.30	-1.0	0.07
	평균	4.25	-	-	-	-	-	-8.52	-1	0.09
갈현 삼거리	16:00-18:00	28.28	1.5	-	-13.76	1.0	0.04	-14.52	0	0.06
	18:00-20:00	28.85	0.5	-	-14.14	-1.0	0.04	-14.71	0	0.03
	평균	28.56	1	-	-13.95	0	0.04	-14.62	0	0.04
풀무골 삼거리	16:00-18:00	24.36	2.5	-	-20.57	-1.0	0.06	-3.99	0.5	0.08
	18:00-20:00	24.28	-1.5	-	-21.28	1.0	0.06	-3.00	-1.0	-0.01
	평균	24.32	1	-	-20.92	0	0.06	-3.49	-1	0.03
영태리 S-Oil 앞 삼거리	16:00-18:00	34.48	-0.5	-	-11.81	-0.5	0.04	-22.74	-1.0	0.08
	18:00-20:00	24.64	-5.0	-	-12.96	-1.5	-0.07	-21.82	-1.0	0.09
	평균	29.56	-3	-	-12.38	-1	-0.01	-22.27	-1	0.08
평균	21.95	-1	-	-14.78	1	0.06	-12.88	-1	0.05	

〈표 11〉 사전·사후 간선축 통행속도 조사결과
 〈Table 11〉 Result of Before and After Travel Time Survey

구분	기종점	통행속도 (km/h)					
		사전			사후		
		오전첨두	비첨두	오후첨두	오전첨두	비첨두	오후첨두
국도 1호선	통일공원 → PX마을앞	48.28	39.31	38.57	49.27	40.47	39.20
	PX마을앞 → 통일공원	35.35	36.01	35.83	42.01	39.15	36.66
지방도 56호선, 국도1호선	금촌의료원 → 장곡검문소	45.13	44.03	31.39	47.71	44.66	32.97
	장곡검문소 → 금촌의료원	37.22	37.09	29.47	38.41	39.82	31.67
지방도 360호선	순달교사거리 → 성동사거리	51.50	50.34	49.30	57.17	57.95	55.01
	성동사거리 → 순달교사거리	45.19	40.47	41.44	45.73	42.13	41.58
평균		43.78	41.21	37.67	46.72(6.71%)	44.03(6.85%)	39.52(4.91%)



〈그림 7〉 국도 1호선(통일공원~월롱삼거리)

〈Fig. 7〉 Time-Space Diagram of National Highway Route.1(Before and After)

따라 현시의 연장이 발생하는 주방향 직진의 경우 교통상황에 따라 감소하거나 동일한 수준으로 나타난다. 직진 이동류는 교통량 변동없이 동일 교통량 처리에 대한 시간이 증가하게 되는 현상이 발생한다. 이는 부정적인 의미가 아닌 이동성 확보를 위한 신호시간의 증대개념으로 해석할 수 있으며 좌회전 이동류에 대해서만 이용효율 분석을 실시하였다.

현시 이용효율 산정 결과 감응현시인 주방향, 부방향 좌회전은 각각 0.06대/초, 0.05대/초 증가하는 것으로 나타났다. 이는 감응제어 실시에 따라서 신호 운영효율이 개선된 것으로 분석할 수 있다.

간선축 측면 효과적도인 통행속도 분석결과는 <표 11>과 같다.6) 전구간, 전시간대 평균 6.15% 통행속

도가 개선되었고 오전첨두 6.71%, 비첨두 6.85%, 오후첨두 4.91%의 통행속도 증가를 확인하였다.

통행속도 향상원인을 파악하기 위하여 정지수에 대한 분석결과는 <표 12>와 같다.

〈표 12〉 사전·사후 간선축 정지수 조사결과
 〈Table 12〉 Result of Stops Analysis

구간	방면	사전(회)	사후(회)
		통일공원~월롱역~PX마을	문산
	서울	4	1
순달교사거리~성동사거리	금촌	4	1
	자유로	5	2
금촌의료원~장곡검문소	금촌	3	2
	자유로	2	2
평균		3.50	1.67

6) 통행속도 조사는 Average Speed Method를 이용해서 조사하였으며 시간당 최소 3회 이상의 샘플수를 확보하였음

간선축 연동 미흡시 발생하는 정지수도 사전 3.50회에서 사후 1.67회로 약 48%가 감소하였다. 이는 간선축의 반감응 신호제어로 직진현시시간이 증가, 연동폭이 개선되었기 때문으로 분석할 수 있다.

연동효율은 시공도를 통해서 분석하였으며 <그림 7>는 통일공원~월롱삼거리 구간시공도예시이다.

시공도 분석결과 사전의 경우 역방향의 연동폭이 순방향에 비해 적은 것으로 나타났는데 비하여 사후에는 역방향 연동폭이 사전에 비해 개선되었으며 양방향의 연동폭이 유사한 수준으로 증가하여 연동효율이 개선되었음을 알 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 국내 지방부 국도의 특성상, 적용이 용이하며 효율이 높을 것으로 예상되는 반감응 신호제어시스템을 대상으로 시스템의 성능을 진단하고 도입에 따른 개선효과를 파악할 수 있도록 평가 방법론을 수립하여 Case Study 지역인 파주시의 영상검지기를 이용한 반감응 신호제어시스템 설치 지역에 적용하는 것을 목적으로 하였다.

본 연구에서는 선행연구 및 관련지침 검토를 통해 영상검지기를 활용한 반감응형 신호제어시스템의 도입에 따른 성능평가와 효과분석방법론 수립을 위한 전반적인 평가절차를 수립해서 이에 따라 세부사항을 정립 및 선정하였다.

성능평가부문에서는 시스템의 성능에 영향을 미치는 감응제어의 기본기능을 바탕으로 현시조기종결 정확도, 현시생략 정확도, 현시연장 정확도를 효과적으로 선정하여 이에 맞는 조사항목 및 분석방안을 수립하였다. 그간 ITS 시스템 성능평가지 문제점으로 지적되었던 단순기능구현여부평가를 보완하고자 예비평가를 실시한 후 문제점을 피드백하는 과정과 영상검지기를 사용하는 시스템의 특성상 영상검지자료를 분석하여 수집자료에 의한 오류를 최소화하는 분석과정을 평가절차 및 분석방안에 추가하였다.

효과분석부문에서는 반감응 신호제어시스템의 특성을 반영, 교통환경 개선을 파악할 있도록 기대효과와 효과척도를 선정하고 효과척도를 정량화할

수 있는 조사항목 설정의 일련의 과정을 절차화 하였다. 효과척도의 경우 단일교차로의 직진통행량, 현시이용효율, 현시이용시간 변화와 간선축의 연동효율, 통행속도로 구분하여 제시하였다.

정립된 효과분석 방법론을 실제 운영되고 있는 반감응형 신호제어시스템에 적용하여 분석한 결과 감응제어 기능이 일정수준이상이며 교통환경의 개선도 발생한 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 연구범위의 한계로 인하여 영상검지기의 특성인 기후조건에 따른 검지능력과 이에 따른 감응제어의 성능을 확인하지 못하였다. 또한, 짧은 기간의 평가로 성능을 확인하였으므로 향후 연구에서는 다양한 기상상황에 따라 긴 시간의 성능평가를 실시하여야만 보다 설득력 있는 성능평가 결과를 제시할 수 있으리라 사료된다.

이와 함께, 시스템 도입에 따른 실질적인 편익인 간선축이나 네트워크 단위의 경제성분석이 뒷받침되어야만 보다 객관적인 효과분석이 가능하리라 판단된다. 추가적으로 시스템의 성과와 도입효과를 높일 수 있는 운영전략수립, 최적 운영변수값의 산출 등에 대한 심도 깊은 연구가 반드시 뒤따라 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] J. A. Bonneson and P. T. McCoy, "Manual of Traffic Detector Design 1st Edition," Civil Engineering Department University of Nebraska-Lincoln, 1994.
- [2] R. P. Roess, E. S. Prass and W. R. McShane, "Traffic Engineering 3rd Edition," Prentice Hall, 2004.
- [3] 이승환 외 2인, "COSMOS 안정화를 위한 교통축 및 감응제어 방법 연구," *대한교통학회지*, 제 20권 제 6호, pp.31~43, 2002년 12월.
- [4] 건설교통부, "국도상의 신호교차로의 소통 및 안전기능 고도화를 위한 교통신호제어기 개발," 2004.
- [5] 김대호의 2인, "U턴 차량을 고려한 좌회전 감응식 신호제어기법 개발," *대한토목학회지*, 제 25권 제 5호, pp.649~653, 2005년 9월
- [6] 한국교통연구원, "반감응 신호기 설치사업 관리,"

2005.
 [7] 은지혜외 5인, “영상검지기를 이용한 좌회전 감응식 신호제어전략 개발,” *대한교통학회지* 제29권 제 2호, pp.111~121, 2011.
 [8] 경찰청, 교통신호기 설치관리 매뉴얼, 2005
 [9] 경찰청, 교통신호제어기 표준규격서, 2004.

[10] 건설교통부, “ITS 업무매뉴얼,” 2006.
 [11] 정성학외 1인, “ITS 업무요령 및 성능평가 제도 개선방안의 정책연구,” *한국ITS학회논문지* 제 8권 제 6호, pp.98~111, 2009.
 [12] 건설교통부, ITS 분야별 업무절차 및 직무표준 설정에 관한 연구 성능평가편, 2006.

저자소개



이 철 기 (Lee, Choul-Ki)

1998년 : 아주대학교 대학원(교통공학박사)
 1991년 : 아주대학교 대학원(석사)
 2000년 : 미국 Texas A&M University TTI(Texas Transportation Institute) Visiting Scholar 과정
 2004년 : 서울지방경찰청 교통개선 기획실장 및 COSMOS 추진 기획단장
 현 재 : 아주대학교 교통연구센터 부센터장
 아주대학교 건설교통공학부 부교수



윤 일 수 (Yun, Il-Soo)

2006년 1월 : University of Virginia 교통공학 박사
 1995년 2월 : 한양대학교, 일반대학원 교통공학 석사
 1993년 2월 : 한양대학교, 도시공학과 학사
 2009년 9월 ~ 현 재 : 아주대학교 환경건설교통공학부 조교수



오 영 태 (Oh, Young-Tae)

1989년 1월 : Polytechnic University 교통공학 박사
 1985년 1월 : Polytechnic Institute of New York, 교통공학 석사
 1993년 3월 ~ 현 재 : 아주대학교 환경건설교통공학부 교수



이 환 필 (Lee, Hwan-Pil)

2011년 2월 : 아주대학교 교통공학 박사
 2003년 2월 : 아주대학교 교통공학 석사
 2012년 2월 ~ 현 재 : 한국도로공사 교통정보 통합 활용지원센터(OASIS) Post-Doc



박 대 현 (Park, Dae-Hyun)

2000년 2월 : 아주대학교 건설교통공학 석사
 2004년 2월 : 서울시청 교통전문위원
 2005년 2월 ~ 현 재 : 파주시청 교통전문위원