

비매설형 센서를 이용한 좌회전 진입차량 감응제어 교통신호 연구

Actuated Left-turn Traffic Signal System by Non-Intrusive Automatic Vehicle Detection Sensor

강진기

김시영

최도혁

김성환

((주)로드닉스, 개발부장) (진우산전(주), 전무이사) (한국건설기술연구원, 선임연구원) ((주)건아정보기술, 부사장)

Key Words : 감응형 교통신호기, 좌회전 감응, 비매설형 센서, 레이저센서

목 차

I. 서론

II. 기존 기술 검토

III. 시스템 구성 및 자료처리

IV. 시스템 기능

V. 신호제어 알고리즘

VI. 현장 설치 결과

VII. 결론

I. 서론

본 연구는 우리나라 국도 및 지방도 교차로의 대부분을 차지하는 부도로 출입 교통량이 매우 적은 삼지 또는 사지교차로에서, 기존 고정식 교통제어 방식의 한계점을 극복하고자 연구되었다.

우리나라 국도 및 지방도의 대부분은 자연발생적인 형태와 구성을 가지고 있어 구간별 지역별로 매우 다양한 특성을 보유하고 있다.

이러한 국도 및 지방도의 정확한 교통정보 수집과 적절한 신호제어는 매우 국도 및 지방도의 교통소통에 매우 중요하다.

현재 국도에서, 부도로의 진출입 교통량이 적은 T자형 또는 +자형 교차로의 교통신호등은 대부분 주간에는 정해진 일정 신호주기에 의하여 운영되며, 야간에는 황색점멸신호로 운영되는 것이 상용화되어 있다.

그러나 이는 주간에는 교차로의 좌회전 신호에 의하여 직진 차량의 흐름이 중단되거나 필요 이상으로 신호를 받아 정체되는 등의 문제를 발생하며, 야간 점멸신호 운영 시에는 차량의 소통은 원활하게 유지할 수 있으나 차량에 의한 사고발생 위험이 내재되어 있다.

본 연구는 부도로의 출입 교통량이 주도로 직진교통량에 비하여 매우 적은 T자형 또는 +자형 교차로에서, 주도로의 직진차량을 제외한 모든 방향의 교차로 진입차량을 비접촉식 비매설형 차량검지센서를 이용하여 정지선 대기 차량을 자동으로 검지하고, 이를 통하여 교통신호를 자동으로 제어하는 지능형 진입 차량 감응제어 교통신호 방법에 대한 연구이다.

따라서 평상시에는 주도로의 직진신호를 연속으로 점등하여 운영하며, 부도로 출입을 위한 정지선 대기 차량을 자동으로 검지하여 신호기를 제어하여, 정지선 대기 차량이 검지될 경우에만 차량이 대기하는 방향의 신호를 변경해 주는 시스템을 개발하고, 이를 현장에 설치하여 시험운행을 통하여 그 효과를 분석하였다.

본 연구를 통하여, 부도로의 교통신호에 의하여 직진 차량의 흐름이 중단되거나 필요 이상으로 신호를 받아 정체되는 등의 문제를 개선하며, 주도로를 통행하는 운전자들에게 주도로의 신호등이 적색이면 반드시 부도로의 출입 차량이 있다는 사실을 환기시켜, 교차로에서 차량의 사고를 미연에 방지할 수 있도록 하는 효과를 기대할 수 있다.

또한 비매설형 차량 검지센서를 이용함으로써, 도로 파손이 전혀 없고, 고장 발생시 유지 보수가 간단하도록 구성하여 안정적인 정지선 진입 차량 자동검지 교통신호기 시스템을 운영할 수 있도록 하였다.

II. 기존 기술 검토

1. 기존 교통신호 처리 기법 분석

현재 국내의 교통신호 처리기법은 고정식(TOD) 신호처리 기법과 감응식 신호처리기법이 적용되고 있다.

이 중에서 국도 및 지방도에 적용되고 있는 기법은 대부분 고정식(TOD) 신호처리 기법이며, 극히 드물게 루프식 감응형 신호처리 기법이 적용된 지점도 있다.

여기서는 고정식(TOD) 신호처리기법과 루프식 감응형 신호처리 기법의 장단점에 대해 정리하였다.

<표 1> 기존 신호처리 기법 장단점 검토

신호처리기법		내 용
고정식 (TOD)	장점	<ul style="list-style-type: none"> 신호 운영방법이 단순하여 유지보수가 용이 설치 비용이 상대적으로 저렴 교통량이 적고 정체가 발생하지 않는 교차로의 신호 운영에 유리함
	단점	<ul style="list-style-type: none"> 교통량의 변동이 대응하지 못하여 지체를 유발시킬 수 있음 정기적으로 TOD 값을 조사하여 입력하여야 함
루프식 감응형 ¹⁾	장점	<ul style="list-style-type: none"> 교통량의 변동에 다소 대응할 수 있음 교통량 대응 또는 TOD 운영 등 교통량 상황에 따라 능동적인 신호운영을 가능하게 함
	단점	<ul style="list-style-type: none"> 설치 비용이 상대적으로 높음 루프 설치를 위한 공사 기간이 상대적으로 길고, 공사중 차량 통제가 필요함 차량에 의한 도로면의 파손 또는 노면 재포장 등으로 인한 잦은 루프의 단선으로 유지보수 비용이 많이 소요

주1) 루프검지기를 적용한 신신호 시스템 포함

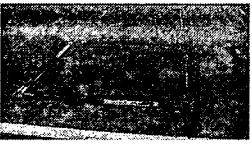

2. 교통 신호 처리용 차량검지 센서

현재 신신호용 감응형 신호처리용 차량검지 센서는 루프 센서, 초음파센서, 적외선센서 등을 사용하여 트리거 신호를 발생시켜 차량을 검지하고, 이를 통하여 교통신호를 처리하고 있다.(경찰청(2000), “교통안전시설무편람(2000년 개정판)“)

이 중 대표적으로 사용하고 있는 매설식 루프검지기에 의한 차량검지신호 발생방법은 차량의 검출 영역을 사전에 결정하므로 검출 영역 변경이 불가능하며, 도로면에 루프를 매설함으로써 도로가 파손되며, 차량에 의한 루프선의 빈번한 단선 등의 문제가 있어 유지 보수시 많은 비용과 인력이 소요되는 단점이 있다.

본 연구에서 적용한 레이저방식의 비매설형 트리거 발생장치는 5ms 이내의 빠른 반응속도와 정확한 차량 검출 기능을 갖고 있으며, 도로의 파손이 없고, 교통특성에 따라 검출 영역을 자유롭게 변경할 수 있어 유지보수가 용이한 장점이 있다.

<표 2> 차량검지 센서 비교

센서 항목	매설형 루프 센서	비매설형 레이저 센서
설치 형태	• 도로의 표면에 루프 센서를 매설하여 설치함	• 기존 신호등 구조물을 이용하여 레이저 센서 설치
설치 전경		
검출 원리	• 도로면에 루프선을 설치하고, 차량이 통과하면 자장이 변화되는 것을 검지하여 트리거 펄스 발생	• 빛의 발산방식의 레이저 검출장치 적용 • 거리를 정하여 일정 거리 이내로 차량이 진입하면 트리거 펄스 발생
정확도	• 검출 정확도 95% 이상	• 검출 정확도 95% 이상

시공성	<ul style="list-style-type: none"> 차로별 공사함으로 차로수에 따라 설치 시간(커팅, 센서 삽입, 레진 충전) 증가하며, 차로별 약 1시간 동안 교통장애 발생 	<ul style="list-style-type: none"> 설치시 교통 통제가 없음.(교통호름 원할) 설치 시간(구조물 거치) 짧음(약 30분 소요)
유지 관리	<ul style="list-style-type: none"> 루프 및 피애조 선의 잦은 단선과 도로면의 파손으로 빈번한 유지보수 필요 센서 매설 공사로 인해 도로가 파손되어, 시간이 경과되면 도로 보수 필요 설치 지점 변경시 센서 재사용 불가 차로 수에 따라 센서 수량 증가 도로면에 매설되어 차량에 의한 손상 또는 자연적인 도로 파손, 덧씌우기, 굴착 공사 등 시간 경과에 따른 고장으로 내구성 약함(센서 내구 연한 약 2년) 	<ul style="list-style-type: none"> 검지기 세팅 후 파손이나 변형이 없음 자연 시간 경과에 따른 검지 성능 저하 현상 약함 설치지점 변경시 센서 재사용 가능 센서의 검지 영역 변경이 용이함 고장시 제품을 현장 교체하여 수리할 수 있으므로 유지보수가 용이함 하우징 내부에 위치하며, 외부적 간섭이 없는 전자적 장치로서 반영구적임
경제성	<ul style="list-style-type: none"> 루프선 단선 등 소모품에 의한 지속적 유지보수 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 반영구적인 센서로 소모품의 유지보수가 필요 없음

III. 시스템 구성 및 자료처리

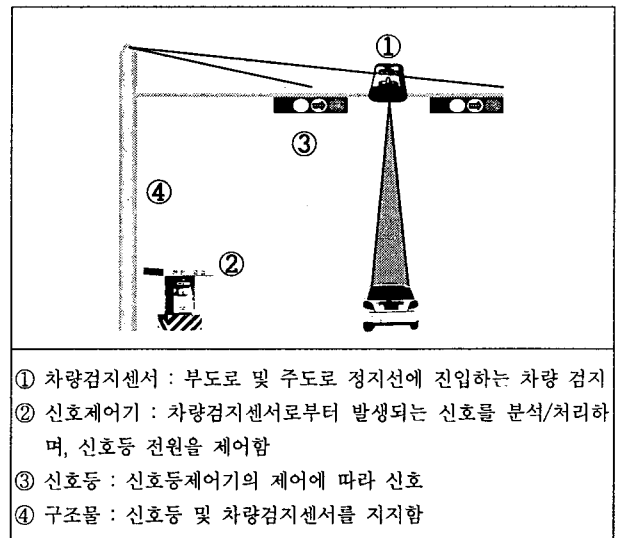
본 연구를 위한 시스템은 차량검지센서, 신호제어기 및 신호등과 이를 지지하는 구조물로 구성된다.

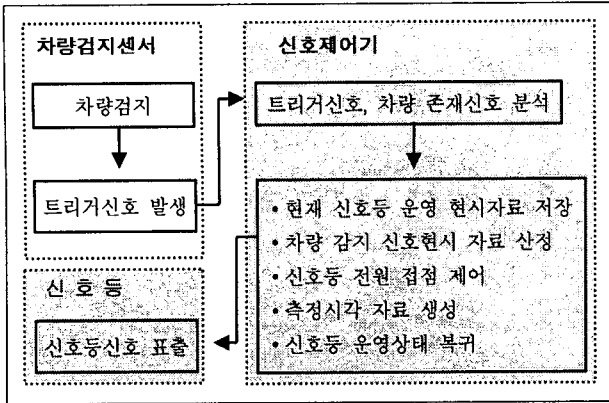
차량검지센서인 레이저센서는 차량 진입 및 대기시 트리거 신호를 출력하여 신호제어기로 송출한다.

신호제어기는 이를 분석하고, 현재 운영하고 있는 신호현시를 조정하여 차량이 검지되어 신호현시가 필요한 방향을 판단하고, 신호등 전원의 접점을 제어하여 신호현시를 조정한다.

신호현시 조정작업이 완료되고 다른 좌회전 차량이 정지선에 대기하는 것이 검지되지 않으면, 신호제어기는 규정되어 있는 신호제어 현시인 주도로 직진신호를 연속으로 표출한다.

<표 3> 시스템의 기본 구성





<그림 1> 자료 처리 흐름

IV. 시스템 기능

1. 초기 동작 기능

제어기에 전원을 투입하는 순간부터 Start-Up Table에 지정된 시간 동안 황색 혹은 적색 신호등을 점멸한다.

2. 시간의 설정 및 오차 보정

1) 시간의 정확도

신호제어기에 사용하는 시간은 전원 주파수(60HZ)를 기준으로 하고 경우에 따라 Crystal을 기준으로 사용할 수 있으며, 시간과 시간간격(Interval Time)은 1주기 오차가 100m sec 이상을 벗어나지 않는다.

2) 시간 설정

신호제어기는 각 현시 기능에 따라 아래와 같은 시간을 설정할 수 있으며, 최소 및 최대시간으로 증분할 수 있다.

기능	시간범위(초)	시간증분(초)
초기 최소 청시간 (Min Initial)	0 - 99	1
차량 통과시간 (Passage Time)	0 - 9.9	0.1
보행시간 (Walk)	0 - 99	1
보행 점멸 시간 (Ped. Cle)	0 - 99	1
황색시간 (Yellow Cle)	0 - 9.9	0.1
전적색 시간 (Red Cle)	0 - 9.9	0.1
Red Gap	0 - 99	1
Min Gap	0 - 9.9	0.1
초/차량 (Sec/Actuation)	0 - 9.9	0.1

3) 시간오차 보정

시간오차 보정은 원격제어 명령에 의한 시간오차 보정과 휴대용 컴퓨터를 이용한 시간오차 보정 방법이 가능하다.

3. 제어모드

1) 원격 상위시스템 제어

상위시스템에서 모든 제어 파라미터 및 각종 기능의 수행 여부를 결정하여 통신 매체를 통한 교통신호제어기(L/C)를 제어하는 모드로서, 다음과 같은 기능을 갖추고 있다.

- 가) 현시관리기능
- 나) 점·소등 및 점멸
- 다) 제어기 Reset
- 라) Phase Hold
- 마) Remote Reset
- 바) 날짜/시간 보정기능
- 사) 조광제어기능
- 아) 감응제어기능

2) TBC 제어(Time-Based Coordination Control)

L/C 자체에 내장된 TOD, DOW(Time Of Day, Day Of Week) Table에 미리 지정된 제어 파라미터 및 각종 기능의 수행 여부에 따라 L/C를 제어하는 모드로서, 다음과 같은 기능을 가지고 있다.

- 가) TOD 제어 Plan
- 나) 감응제어수행
- 다) 조광제어기능
- 라) 점·소등 및 점멸기능
- 마) TBC 제어시 Offset 동기 시점(트랜스) 고려

3) 점멸제어(Flashing Control)

L/C가 치명적인 시스템 이상으로 인하여 더이상 정상적인 제어가 불가능한 경우, 혹은 심야시간대에 필요에 의해서 모든 접근로의 황색(또는 적색등)을 점멸하는 제어로서, 다음의 경우에 점멸제어가 가능하다.

- 가) 시스템에 치명적인 이상 상태(CPU, 신호등 구동기 등) 발생시
- 나) 모순검지기에 의한 청·청 검출시
- 다) 상위시스템의 명령
- 라) TOD 기능

4) 독립 교차로 실시간 제어(Isolated Real Time Control)

혼잡 교차로에서 중앙 컴퓨터와 통신 두절의 경우 또는 교차로가 인접 교차로의 교통 이동류와 연관성이 없는 경우, 지역 제어기 자체에 내장된 알고리즘에 의해서 신호 제어 파라미터인 주기(Cycle)와 현시율(Split)을 실시간(Real Time)으로 자체 생성하여 인접 교차로와의 연동을 거의 무시하면서 신호를 운영하는 제어방식이다.

5) 감응제어(Actuated Control)

- 가) 좌회전 감응제어
 - 좌회전 및 부도로의 교통량의 변이가 큰 경우
- 나) 기존 NEMA 규격에서 권장하는 감응제어
 - 반 감응제어 기능(Semi-Actuated Control)
 - 전 감응제어 기능(Full-Actuated Control)

6) 수동제어

교통경찰관의 수동조작버튼에 의한 제어로서, 조작부 혹은 교통경찰관용 Button에 의한 수동제어가 가능해야 하며, 주 제어기 수동조작부의 각 스위치로 다음과 같이 조작할 수 있다.

- 가) 수동/자동 스위치를 수동위치로 전환한 후 스위치를 조작하여 각 현시시간을 진행시킬 수 있다.
- 나) 수동점멸 스위치에 의해 적색 또는 황색 신호등을 점멸시킬 수 있다.
- 다) On/Off 스위치 조작으로 모든 신호등을 소등시키되 주 제어기는 정상 동작한다.
- 라) Dual Ring인 경우에 Ring-1과 Ring-2의 현시 절체가 동시에 이루어진다.

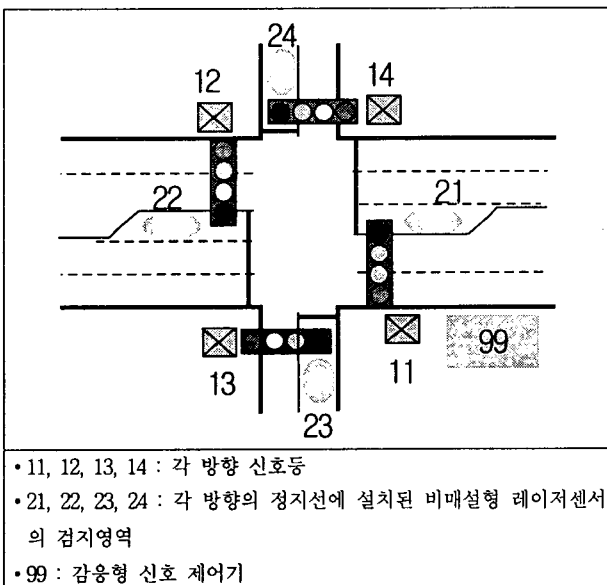
7) 시스템 이상 시 자체 대응 방안

제어모드 작동중에 시스템 이상이 발생되면, 자체 대응 방안으로는 이상 발생시점에 관련 정보를 상위 시스템(R/C)에 우선적으로 보고하고, 이상 발생 모듈의 치명도에 따라 다음과 같은 몇 단계의 대응 방안이 마련되어 있다.

- 가) 정상적인 제어 혹은 점멸제어(조건에 따라) : 검지기, 등기 단선, 모뎀
- 나) 정주기제어(SCU) 혹은 점멸 : ROM, RAM, CPU
- 다) 점멸 제어 : CPU(SCU), 신호등 구동기, 모순검지기
- 라) 제어 중지 : AC FAIL

V. 신호제어 알고리즘

본 연구에 적용된 신호 제어 시스템의 설치 방법은 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 시스템 설치방법

+자형 교차로에서 본 연구에 적용된 시스템의 일반적인 상태에서의 운영방안은 <그림 2>와 같이 각 방향의 정지선에 설치된 비매설형 레이저센서(21, 22, 23, 24)에 차량이 검지되지 않을 경우이며, 이때는 주도로의 직진신호등(11, 12)을 연속으로 녹색으로 표출하여 직진차량의 흐름을 중단하지 않고 운영한다.

이때 부도로의 직진 또는 좌회전 차량이 정지선에 진입하여 대기할 경우, 부도로 정지선 차량검지센서(23 또는 24)로 차량을 검지하게 되고, 사전에 정해진 일정시간 이상(1 신호주기 시간)의 대기시간 이후(주도로의 운전자에게 여유를 주고 교통사고를 방지하기 위함)에 차량이 검지된 부도로의 신호등(13 또는 14)을 사전에 정해진 시간주기 동안 녹색으로 점등한다.

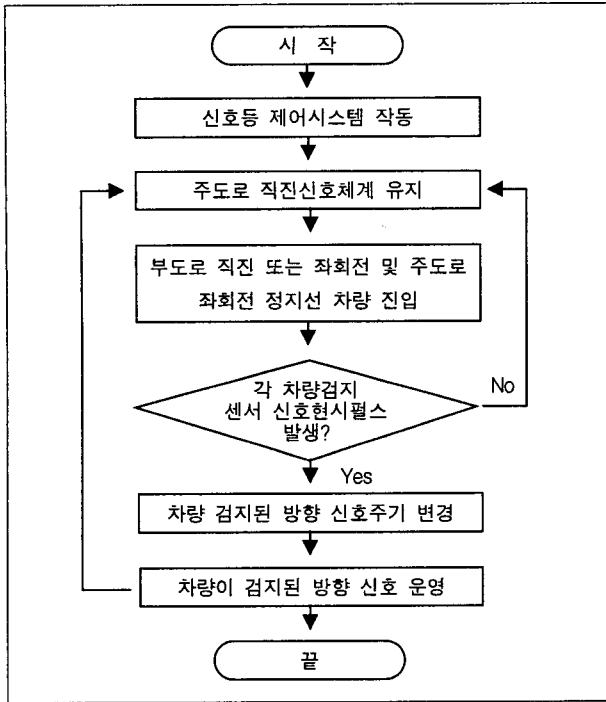
또한 주도로의 좌회전 차량이 정지선에 진입하여 주도로 정지선 차량검지센서(21 또는 22)로 대기차량으로 검지되면, 사전에 정해진 일정시간 이상(1 신호주기 시간)의 대기시간 이후(주도로의 운전자에게 여유를 주고 교통사고를 방지하기 위함)에 주도로 신호등(11 또는 12)의 녹색신호를 끊고, 사전에 정해진 시간 주기 동안의 주도로 좌회전 신호를 표출한다.

만일 주도로의 좌회전차량 및 부도로 정지선 진입 차량이 동시에 각 지점의 차량검지센서(21 또는 22, 23 또는 24)에 검지되면, 사전에 정해진 순서에 따라 정해진 일정시간 이상(1 신호주기 시간)의 대기시간 이후(주도로의 운전자에게 여유를 주고 교통사고를 방지하기 위함)에 주도로의 신호등(11 또는 12)의 녹색신호를 끊고 정해진 시간 주기 동안의 주도로 좌회전 신호를 표출한다. 주도로 좌회전 신호 주기가 완료되면, 차량이 검지된 부도로의 신호등(13 또는 14)을 사전에 정해진 시간 주기 동안 녹색으로 점등한다.

각 정지선 감응에 의한 신호등 점등이 완료되고 다른 정지선 대기차량이 없으면, 다시 주도로의 직진 신호등을 녹색으로 연속 점등하는 운영체제로 복귀하여 신호등을 운영한다.

또한 이 신호운영 시스템은 오류 발생에 대한 보완기능으로 모순 검지부가 있어, 오류 발생시 전체 신호등에 황색점멸 신호를 주는 기능을 갖도록 하여 시스템을 안정적인 운영할 수 있도록 한다. 모순 검지부는 각 센서의 전원이 꺼진 경우, 교통신호제어기 내부 운영 프로그램이 오류를 일으킨 경우를 검지하여 전체 신호등이 황색 점멸로 운영되도록 한다.

T자형 교차로에서도 +자형 교차로와 동일한 방법으로 운영한다.



<그림 3> 신호운영 알고리즘

<표 4> 신호운영 방법(+자형 교차로)

평상시 신호운영		주도로 좌회전 차량 검지시		부도로 좌회전 차량 검지시	
1현시	-	1현시		1현시	-
2현시		2현시		2현시	
3현시	-	3현시	-	3현시	
4현시	-	4현시	-	4현시	

<표 5> 시스템 신호운영 방법(T자형 교차로)

평상시 신호운영		주도로 좌회전 차량 검지시		부도로 좌회전 차량 검지시	
1현시		2현시		2현시	
2현시	-	2현시		2현시	-
3현시	-	3현시	-	3현시	

VI. 현장 설치 결과

1. 설치 현장

본 연구를 위한 감응형 신호제어 시스템은 보춘~담양간

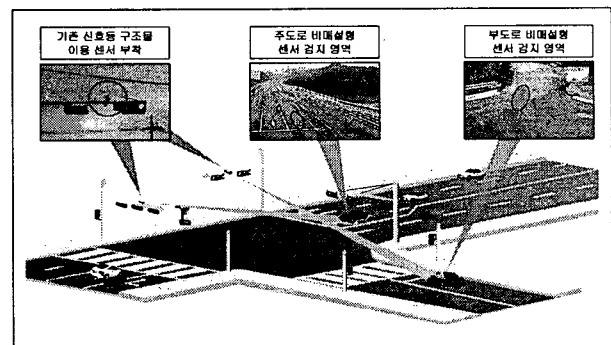
29번 국도 지선 887번 지방도 방죽안삼거리 교차로에 설치하여 시험하였다.

<표 6> 시스템 설치 현장

교차로 전경	교차로 위치
<p>교차로 교통현황</p> <ul style="list-style-type: none"> • 교차로위치: 보춘~담양29번국도 지선 887번 지방도 • 교차로명: 방죽안삼거리 • 주간교통량: 약 10,000대 • 일일교통량: 약 12,000대 • 교차로 형태: 3지교차로 • 교차로 폭: 약 30m • 신호주기: 3현시 90초 • 신호현시: 주도로 직진 50초 좌회전 40초(15초,25초) • 시스템설치: 2003.6.11 • 설치 레이저센서: 2대 	<p>교차로 기하구조</p>

2. 센서 설치 방법

본 시스템의 차량 검지를 위한 레이저센서는 기존 교통신호등 구조물에 설치하였고, 주도로 좌회전 차로 및 부도로 좌회전 차로에 각각 1개의 레이저센서를 설치하여 센서의 검지영역을 설정하였다.(그림 4 참조)



<그림 4> 센서 설치 방법

3. 신호 운영 방법

본 연구 시험을 위한 교차로에서의 신호운영방법은 상기 <표 5>에서 언급한 T자형 교차로 신호운영방법을 준용하였다.

4. 효과 분석

본 연구에 사용된 레이저센서는 한국건설기술연구원에서 국도3호선 수원~오산구간에 설치한 AVI(Autom atic Vehicle

Identification) 6기에 장착된 비매설형 레이저센서로서, 현재 1년 여 동안 운영하면서 그 신뢰성이 입증된 센서이다.

또한 본 연구를 위하여 2003년 6월 11일부터 현재까지 본 시스템을 실험 교차로에 설치하여 운영하고 있다.

본 연구 시스템 설치 결과, 직진 차량에 대하여 약 40%의 도로 이용 효율을 향상시키는 효과를 보였다.

또한, 이로 인한 경제적 효과는, 5년간 본 시스템을 운영하였을 경우 순현재가치로 약 379백만원의 사회적 편익을 예상할 수 있다.

<표 7> 시스템 설치 효과 분석 결과

<ul style="list-style-type: none"> • 레이저센서 차량 검지율 : 100% • 신호 감응률 : 100%
<ul style="list-style-type: none"> • 교통적 효과 : 직진차량 소통 원활 -교차로 구간 정지 횟수 40회/시간에서 4회/시간으로 36회 감소 -교차로 구간 도로 이용 효율 55.6%에서 95.6%로 40% 향상 -교차로 구간의 통과속도 16km/h에서 52km/h로 36km/h 증대
<ul style="list-style-type: none"> • 경제적 효과 : 운행비 절감 및 시간절감 편익 발생 -교차로 구간에서 차량 운행비가 14,068천원/년 감소 -교차로 구간에서 차량 시간절감 편익이 93,911천원/년 발생 -설치 후 5년 동안 운영했을 경우 편익/비용비가 7.5, 편익이 순현재가치로 378,671천원 발생

VII. 결 론

본 연구를 위하여 시스템의 현장 설치 실험결과 본 시스템의 설치에 따른 교통적 효과 및 경제적 효과가 매우 우수한 것으로 판단되었다.

또한 『(경찰청(2000), “교통안전시설실무편람(2000년개정판)』의 차량검지 센서에도 규정된 바와 같이 유지관리의 용

이성을 위한 차량검지 센서로 매우 우수한 성능을 보이고 있어, 현장 적용성에서 매우 뛰어난 장점을 보이고 있다.

본 시스템에 대하여 향후 발전방향은 다음과 같다.

- 본 레이저센서에 대하여 정지선이 아닌 일반적인 도로의 차로에 대하여 점유시간 및 비점유시간의 분석을 통하여, 일반적인 도로의 상황에서도 루프검지기를 대체할 수 있는지를 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다.
- 또한 레이저센서 2개를 연속으로 설치하여 정확한 차량의 속도를 측정할 수 있는지에 대한 여부도 검토해 볼 필요성이 있을 것으로 판단된다. 만약 속도 측정이 정확하다면 도로 노면을 손상시키지 않으면서 정확한 차량의 속도를 측정할 수 있는 센서로도 유용할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 경찰청(2000), “교통안전시설실무편람 (2000년 개정판”, II-21,22쪽
2. 도철웅(1998), “교통공학 원론”, 청문각
3. 원제무, 최재성(1993), “교통공학”, 박영사
4. 건설교통부, 한국건설기술연구원(1999), “교통량조사장비용 데이터 수집 장치 개발-레이저를 활용-”
5. 건설교통부(2002), “공공교통시설개발사업에 관한 투자평가 지침”
6. 공공투자관리센터, 한국개발연구원(2001), “2001년도 예비타당성조사 연구보고서 -도로부문사업의 예비타당성조사 표준지침 연구”
7. 아주대학교 부설 교통연구센터(2002), “Microwave 검지기를 이용한 차량실검지길이 및 포화도 실험”
8. 서울시립대학교 도시과학연구원(2001), “대체검지기 신뢰성 평가 및 대기행렬을 이용한 과포화제어 알고리즘의 개선”