

**경찰의 지방부 3지교차로 감응신호제어
적용에 관한 정책적 연구**

**경찰의 지방부 3지교차로 감응신호제어
적용에 관한 정책적 연구**

치안정책연구소 교통대책연구실

책임연구관 김 남 선

목 차

제1장 서론	1
제1절 연구의 배경 및 목적	1
제2절 연구의 내용	3
1. 연구대상 및 내용	3
2. 연구수행방법	4
제2장 이론적 고찰	5
제1절 감응식 신호제어시스템	5
1. 감응식 신호제어 방식	5
2. 현시 및 검지기체계	11
제2절 영상검지시스템	21
1. 영상검지기의 개요	21
2. 영상검지기의 작동원리	21
3. 영상검지기 설치위치	24
제3절 선행연구 고찰	30
제4절 평가사례 고찰	33
1. 신신호시스템 검증·평가	33
2. 반감응 신호제어를 이용한 비보호 좌회전 운영전략 효과분석	38
3. 반감응 제어 신호기 설치사업관리	40
4. 국토상에서 COSMOS 과포화 제어 알고리즘의 평가	41
제3장 3지교차로 감응신호제어 적용 알고리즘	43

제1절 차량검지방법	43
1. 차량검지영역	43
2. 차량 검지방안	46
제2절 3지교차로 감응신호제어 적용 알고리즘	48
제4장 감응신호제어시스템 평가사례분석	51
제1절 알고리즘 검증	51
1. 세부 항목별 결과	51
2. 종합결과	60
제2절 시스템의 효율성 평가	63
1. 현장 시스템 평가	63
2. 시뮬레이션 평가	64
제3절 시스템 평가결과	75
제5장 결 론	77
참고문헌	77
I. 국내문헌	79
II. 외국문헌	81

표 목차

<표 1> 현시 진행 순서	14
<표 2> 검지모드의 분류	17
<표 3> 검지기 위치와 관련된 시간값	18
<표 4> 영상검지방식의 분류	23
<표 5> 차간거리별 영상검지기 설치높이	28
<표 6> 실시간 신호제어시스템 알고리즘 목록1	33
<표 7> 실시간 신호제어시스템 알고리즘 목록2	34
<표 8> 실시간 신호제어시스템 교통인지 능력 평가 항목	35
<표 9> 실시간 신호제어시스템 알고리즘 기능성 검증 항목	36
<표 10> 실시간 신호제어시스템과 기존 전자신호시스템의 평가항목	37
<표 11> 현장운영 평가의 구성	41
<표 12> 영상검지영역의 수집자료 및 용도	44
<표 13> 검지영역2 검지영역의 길이	45
<표 14> 영상검지영역의 설정길이	45
<표 15> 개별차량 Tracking 과정	47
<표 16> 자료수집시간	51
<표 17> 일출시간대 정확도	52
<표 18> 주간시간대 정확도	53
<표 19> 일몰시간대 정확도	53
<표 20> 야간시간대 정확도	53
<표 21> 일출시간대 정확도 추정	54
<표 22> 일출시간대 현시부여 정확도 추정	54

<표 23> 주간시간대 모집단의 정확도 추정	55
<표 24> 주간시간대 현시부여 정확도 추정	55
<표 25> 일몰시간대 모집단의 정확도 추정	55
<표 26> 일몰시간대 현시부여 정확도 추정	56
<표 27> 야간시간대 모집단의 정확도 추정	56
<표 28> 야간시간대 현시부여 정확도 추정	56
<표 29> 차량인식시간(단위:초)	57
<표 30> 알고리즘상의 연장시간 세부자료(단위:초)	58
<표 31> 시스템의 신호시간 정확성 검토	58
<표 32> 시스템의 차량 대기시간 정확성 검토	59
<표 33> 정확도 분석	60
<표 34> 통계적 정확도 분석 결과	61
<표 35> 알고리즘 검증결과	62
<표 36> 교차로 신호현시	63
<표 37> 교차로 평균정지지체	64
<표 38> V/C변화에 따른 교차로 평균 지체시간 (단위:초)	65
<표 39> V/C변화에 따른 교차로 평균 제어지체시간 (단위:초)	65
<표 40> V/C변화에 따른 교차로 평균 제어지체시간 (단위:초)	66
<표 41> V/C변화에 따른 지체 개선율(전체, 단위:%)	67
<표 42> 교차로 정지지체시간 및 개선율 비교	67
<표 43> 교차로 정지지체시간 및 개선율 비교	68
<표 44> 교차로 정지지체시간 및 개선율 비교	69
<표 45> 교차로 정지지체시간 및 개선율 비교	70
<표 46> 교차로 정지지체시간 및 개선율 비교	71
<표 47> 교차로 정지지체시간 및 개선율 비교	71
<표 48> 교차로 정지지체시간 및 개선율 비교	72
<표 49> 교차로 정지지체시간 및 개선율 비교	73

<표 50> 교차로 정지지체시간 및 개선을 비교	73
<표 51> 교차로 정지지체시간 및 개선을 비교	74

그림 목차

<그림 1> 연구의 절차	4
<그림 2> 완전감응 신호제어 알고리즘	6
<그림 3> 반감응 신호제어 알고리즘	7
<그림 4> 교통량-밀도 신호제어 알고리즘	8
<그림 5> COSMOS 좌회전 감응제어 개념도	11
<그림 6> 8현시 번호	12
<그림 7> Single Ring	12
<그림 8> Dual Ring	13
<그림 9> 감응신호제어 운영	15
<그림 10> 완전감응제어 검지기 구성	19
<그림 11> 반감응제어 검지기 구성	20
<그림 12> 카메라의 위치에 따른 교통류의 모습	25
<그림 13> 카메라의 높이에 따른 교통류의 모습	27
<그림 14> 영상검지기 설치조건	27
<그림 15> 영상검지영역의 설정	43
<그림 16> 3지교차로 감응신호제어 Flow Chart	48

제1장 서론

제1절 연구의 배경 및 목적

교통운영의 방안 중 신호운영이 효율적인 교통처리와 안전을 도모하고 있지만 아직까지 비효율적인 운영이 이루어지는 부분이 있다. 간선도로 상에는 수많은 4지 교차로와 3지 교차로가 연결되어 운영되고 있으나 3지 교차로의 경우 주도로와 부도로가 연결된 것이 대부분으로 비효율적인 운영이 이루어지고 있는 실정이다. 아직까지 대부분의 3지 교차로가 고정식 신호체계를 사용하고 있으며 그에 따라 부도로에 차량이 없음에도 불구하고 녹색신호시간을 부여함으로써 주도로의 차량의 정체로 인한 교차로의 평균지체시간을 증가시키고 있다. 이러한 교차로 지체는 신간의 낭비, 대기환경오염 유발, 연료의 과다소모, 물류비의 상승 등의 문제를 야기시키고 있다.¹⁾

경찰청에서 시행하고 있는 교통운영체계 선진화 방안에서는 적은 수요에 대응하기 위한 보호좌회전 현시로 인해서 직진차량의 지체와 길어지는 신호주기의 문제점을 극복하기 위해서 비보호 좌회전을 단계적으로 확대·추진할 계획 중에 있다. 그러나, 교통량이 많은 광폭교차로 또는 접근속도가 높은 교차로에 비보호 좌회전을 적용할 경우 사고의 위험이나 교차로에서의 지체가 오히려 증가하는 문제점이 발생할 가능성이 많다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 좌회전 감응신호제어 방식이 효율적일 수 있으며, 좌회전 감응신호제어시스템은 교통수요가 적은 주도로 좌

1) 정동우, 조한선, 김응철, 3지교차로에서 반감응 신호제어와 보행자 작동신호기를 이용한 지체시간 감소에 관한 연구, 대한교통학회 제57회 학술발표회 논문집, 2007.

회전 및 부도로 좌회전 차로에 차량검지기를 설치하여 차량수요에 맞게 신호시간을 배분해주고, 절약된 신호시간을 주도로 현시에 추가 부여함으로써 주도로상에 발생하는 지체 발생을 최소화 하고 회전교통량을 안전하게 유도하는 운영방법으로써, 지방부 교차로의 효율적인 신호운영을 가능하게 할 수 있다. 그리고 우리나라 지방부 국도상의 교차로는 대부분 신호제어기에 내장된 시간대별 신호제어(TOD제어), 요일별 신호제어(DOW제어) 및 특수일 신호제어(Holiday Plan제어)에 따라 고정 주기식 신호제어방식으로 운영되고 있다. 고정 주기식 신호제어방식은 시간대별, 요일별, 계절별로 교통량의 변동 폭이 크게 나타나는 지방부 도로(지방부 국도)의 교통특성을 잘 반영하지 못하기 때문에 신호시간의 비효율과 주도로 상에 불필요한 지체(Delay)를 야기하고, 비효율적 신호운영은 결과적으로 차량의 신호위반 및 과속을 유발함으로써 심각한 교통사고의 원인이 되고 있다. 한편, 우리나라 일반국도 총 교차로 12,111개소 중 3지교차로의 형태는 74%로, 4지 교차로 24%에 비해 그 수가 월등히 많다. 또한, 3지교차로(T형교차로) 중 약 73%는 주도로와 부도로가 교차하는 형태를 하고 있다.²⁾ 이러한 사실은 국도 상의 신호운영에 있어서 주도로와 부도로가 교차하는 3지교차로에 대한 더 많은 연구가 이루어져야함을 잘 보여준다.

따라서 본 연구는 TOD제어, 반감응 신호제어, 좌회전 감응신호제어를 대상으로 최근 연구사례들을 수집하여 효율성을 상호비교 함으로서 지방부 국도의 3지교차로에 적용하기에 알맞은 신호제어기법 적용에 관한 정책적 방안을 모색한다. 또한 검지체계에 있어서도 운영상의 한계점을 앎고 있는 루프검지기의 대안으로서 영상검지기술을 적용한 검지체계를 활용하여 경찰이 관리하고 있는 지방부 3지교차로에 가장 효율적으로 적용할 수 있는 신호제어체계의 정책적 대안모색을 목적으로 한다.

2) 한국교통연구원, “일반국도의 신호운영 개선을 위한 연구”, 2004

제2절 연구의 내용

1. 연구대상 및 내용

본 연구는 지방부 3지교차로에 대하여 다음과 같은 교차로를 대상으로 적용에 적합한 신호제어시스템을 검토한다. 첫째, 주방향 교통량이 부방향 교통량에 비해 현저히 많은 3지교차로를 대상으로 한다. 둘째, 주도로 좌회전 및 부도로의 교통수요가 오전/오후, 주간/야간, 피크/년피크 등 상시교통량의 변동이 심한 교차로를 대상으로 한다. 셋째, 비신호로 운영되고 있으나 현재 교통사고다발 교차로 이거나 평소 사고의 위험성이 높은 교차로를 대상으로 한다. 넷째, 기하구조가 특이하거나 검지기의 손상이 잦아 새로운 검지시스템의 도입이 요구되는 교차로이다. 이와 같은 교차로를 대상으로 다음과 같은 내용의 연구를 진행한다.

첫째, 신뢰성 높은 교통변수 수집을 위한 검지방식 검토와 검지영역의 설정을 위한 영상검지기 차량검지방안을 검토한다.

둘째, 좌회전 현시생략 및 조기종결, 대기행렬에 따른 녹색시간 조정 등 지방부 신호제어에 알맞은 신호운영 방안을 검토한다.

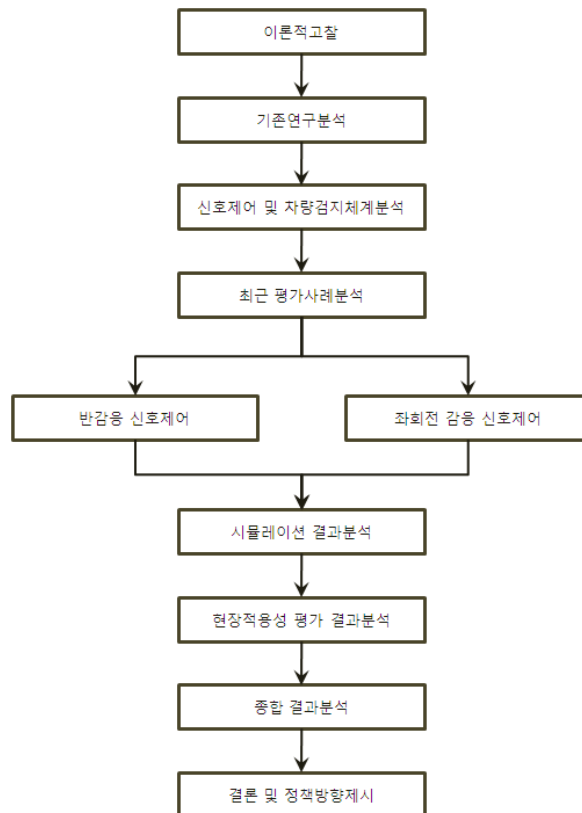
셋째, 신호운영방안에 부합하는 좌회전 감응식 신호제어시스템 알고리즘을 검토한다.

넷째, 주도로, 부도로 교통수요와 주도로, 부도로 좌회전 교통수요에 따른 다양한 상황을 설정하여 시뮬레이션과 현장적용성 평가사례를 통한 지방부 3지교차로의 도로상황에 알맞은 신호제어시스템을 검토한다.

2. 연구수행방법

본 연구의 수행은 관련된 이론의 내용을 고찰하고 기존연구사례를 분석하여 적용시 개선가능성을 타진하고 기존의 지방부에 적용하고 있는 신호제어체계 및 차량검지체계를 분석하여 문제점을 알아본다. 그리고 최근 연구동향을 파악하고 평가사례를 조사하여 종합적인 비교평가를 실시하여 최종적으로 지방부 신호제어기법 적용을 위한 정책의 방향을 제시한다. 전체적인 연구의 흐름은 <그림 1>과 같다.

<그림 1> 연구의 절차



제2장 이론적 고찰

제1절 감응식 신호제어시스템

1. 감응식 신호제어 방식

감응식 신호 운영은 각 접근로의 해당 검지기에서 수집되는 교통량 자료를 기반으로 해당 이동류의 녹색시간을 결정하는 신호 제어 운영 방법이다. 이는 기존의 고정식 신호 운영이 교통량 변동에 상관없이 일정한 신호 시간을 제공함으로써 낭비되는 녹색시간을 없애고 교통량이 많은 현시에 더 많은 녹색시간을 서비스할 수 있다는 장점을 갖는다. 감응식 신호제어는 적용범위에 따라 완전감응제어(Full-Actuated Control)와 반감응제어(Semi-Actuated Control)로 분류되며, 수요대응 기능에 따라 일반 감응제어와 교통량-밀도제어(Volume-Density Control)로 구분된다. 우리나라 도시부 실시간 신호제어시스템인 COSMOS(Cycle, Offset, Split Model of Seoul)에서도 좌회전 감응제어 알고리즘을 정의한 바 있다.

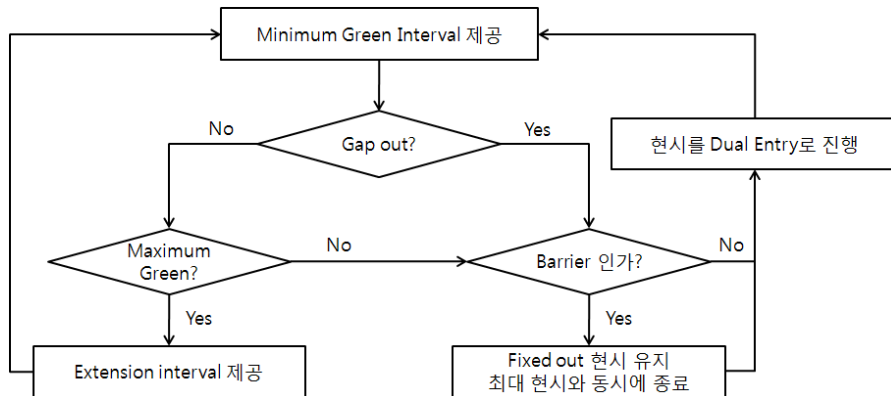
가. 완전감응 신호제어(Full-Actuated Control)

완전 감응 제어는 교통량 변동이 크고 주도로와 부도로의 교통량 차이가 크지 않은 교차로의 신호 운영에 효과적이다. 주도로와 부도로의 구분 없이 모든 접근로의 이동류를 감응의 대상으로 정의한다.

완전감응 신호제어의 알고리즘은 <그림 2>과 같이 최소녹색시간 이후의 현시에 대하여 검지기의 차량 검지 유무에 따라 Gap-out을 결정하여 현시를 진행한다.

- 녹색시간은 Minimum Green이 종료된 후 부가 차량에 따라 단위 연장만큼 확장됨
- 녹색시간 연장은 지정된 Maximum Limit에 의해 종결됨
- 황색시간과 All-Red는 각 현시별로 지정됨

<그림 2> 완전감응 신호제어 알고리즘



나. 반감응 신호제어(Semi-Actuated Control)

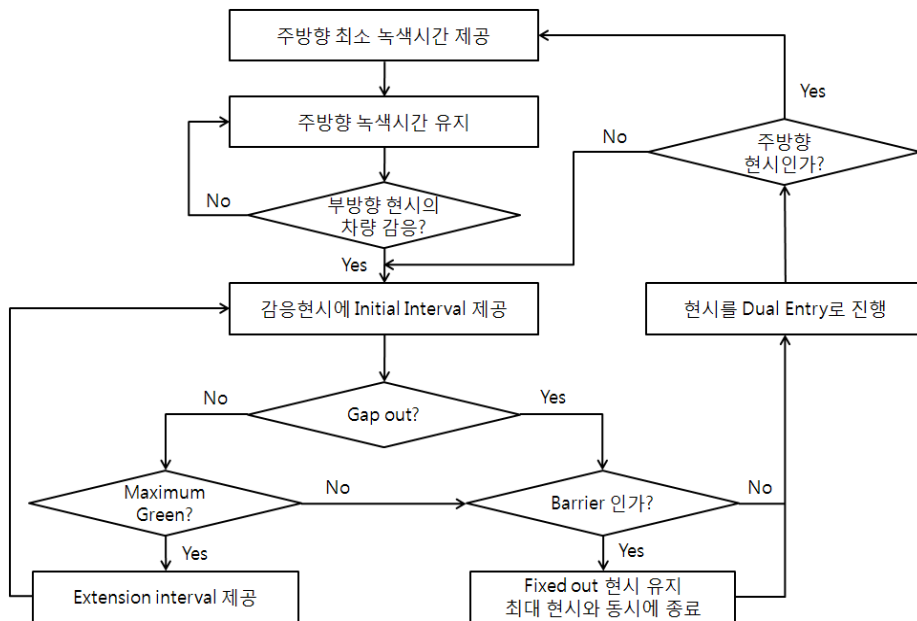
반감응식 신호 제어 방식은 교차도로의 성격이 주도로와 부도로로 확연히 구분이 되는 경우에 효과적이며, 상대적으로 교통량이 적은 부도로에서 감응을 실시하고, 이는 주도로의 녹색시간을 최대로 보장하여 주도로 소통 상태를 원활하게 하기위해 제어하는 방식을 말한다. 반감응식 신호 제어 방식의 신호 시간은 주 현시의 신호 시간을 중심으로 계산되어, 감응 현시의 차량이 존재하지 않는 경우는 주기의 모든 시간이 주현

시에 부여된다. 따라서 주 현시(비 감응 현시)의 녹색 시간의 최대값 지정이 없다는 특징이 있다.

반감응 신호제어 알고리즘은 아래 그림과 같이 주방향 최소녹색시간 이후 부방향의 차량의 감응에 따라 현시 진행여부를 판단한다.

- 비감응 현시는 Minimum Green Interval 이후 다른 현시로부터 Call 이있을 때까지 확장됨
- 감응 현시는 비감응 현시가 Yield Point에서 종료된 후 차량 감응에 따라 Minimum Green Interval을 갖음
- 감응 현시는 Minimum Green Interval 이후 단위 연장이 이루어짐
- 감응 현시는 Maximum(Force-Off) 이후까지 연장 될 수 없음
- 황색시간 및 전 방향 적색시간은 운영자에 의하여 지정됨

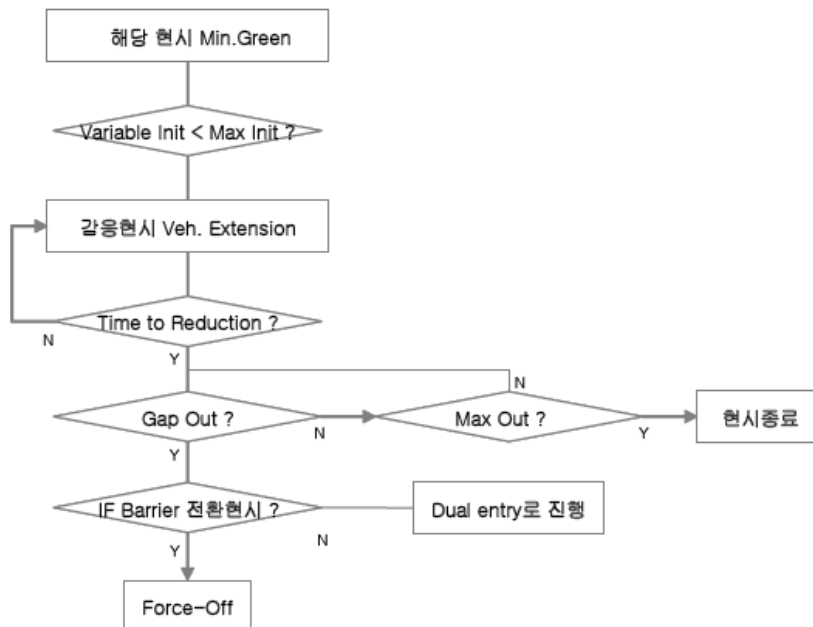
<그림 3> 반감응 신호제어 알고리즘



다. 교통량-밀도제어(Volume-Density Control)

교통량-밀도 신호 제어 방식은 완전 감응식 신호 제어 방식과 전체적으로는 유사하나 세부 제어 기능이 추가된 형태의 신호 제어 방식으로 야간이나 교통량이 적은 경우 접근 속도가 높아 현시 전환 시 발생할 수 있는 딜레마존(Dilemma Zone) 문제를 해결하기 위해 Basic Actuated 제어의 첨단 방식인 Volume-Density Control 을 실시하는 방식이다. 독립교차로에 대한 교통감응신호기 중에서 가장 이상적이며 복잡한 제어 기로서 녹색시간은 각 접근로의 교통량에 비례해서 할당된다. 다른 감응식 제어기와는 달리 미리 정해진 방식에 따라 감응하지 않고 교통량, 대기행렬 길이 및 지체시간에 관한 정보를 수집 기억하였다가 이를 이용하여 현시와 주기를 수시로 수정한다. 다음은 교통량-밀도 신호 제어 방식 알고리즘의 신호 계산 과정의 주요 흐름도이다.

<그림 4> 교통량-밀도 신호제어 알고리즘



라. COSMOS 좌회전 감응제어

COSMOS의 감응제어는 지역컴퓨터(RC)의 원격제어 상황보다는 거의 독립교차로의 전술적인 제어의 차원에서 실행된다. 감응제어는 불필요한 녹색시간을 조기종결하고 수요가 많은 접근부로 녹색시간을 넘겨줌으로써 녹색시간 이용의 최대화를 도모하는 제어방식이다.

지역제어기는 결정된 신호계획을 기본적으로 수행하면서 감응제어 기능에 의해 검지기 정보에 의한 해당시간의 교통상황에 따라 즉각적으로 신호시간을 조정하여 제어한다.

(가) 조기종결 감응제어

조기종결감응제어는 좌회전 차량의 수요가 더 이상 없다고 판단되는 조건이 되면 좌회전을 종결하고 직진 현시로 이동하는 제어이다. 종결하는 시점의 판단 방법에 따라 한계비점유(Gap) 감응제어와 누적손실시간 감응제어로 구분한다.

갭감응 제어방법과 누적손실시간 감응제어는 선택적으로 혹은 각각의 결과에 대하여 OR 조건으로 한가지의 감응 조건이라도 되면 조기종결하는 혼합적용을 할 수 있다. 운전자에게 혼란을 주지 않기 위해서 조기종결시에는 두 가지 방법 모두 최소녹색시간을 유지하게 된다.

◦ 한계비점유(갭감응) 방법

- 좌회전 차량의 수요를 좌회전 차량들의 간격을 기준으로 판단하여 사전에 지정된 Gap-out 시간동안 차량의 Call이 존재하지 않을 경우에 녹색시간을 조기 종결하는 개념으로, 측정된 단위 비점유시간이 한계비점유시간 값을 초과하면 해당 좌회전 현시를 종료하고 다음 현시를 진행함

◦ 누적손실시간 방법

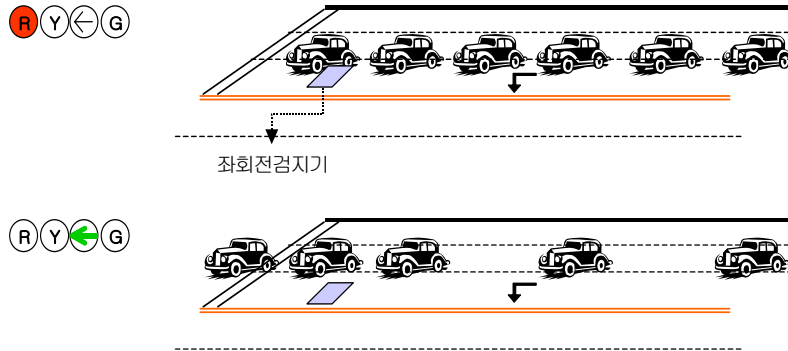
- 차량간격(Gap)의 개념을 손실시간과 연관지어서 운영하는데 손실시간이란 차량한대가 통상 갖는 포화 비점유시간 이상으로 교차로를 통과하였을 때 그 초과된 비점유 시간을 뜻함
- 좌회전 차량의 수요가 적을 때는 필요한 현시를 이용한 후에는 차량간의 간격이 넓어지게 되며 손실시간도 증가함
- 현시시작부터 각각의 차량들의 손실시간 (비점유시간-포화비점유시간)을 누적해 나가며, 그 값이 한계 손실시간값을 초과하고 현시진행시간이 최소녹색시간을 지났으면 해당 좌회전 현시를 종결하고 다음 현시를 진행함

(나) 현시생략 기능

루프검지기의 경우, 좌회전 감응제어에 이용되는 검지기는 정지선 가까이 설치되어 있으므로 검지기상에 차량이 없어 좌회전 차로에 차량이 한대도 없더라도 예측하여 현시 생략을 시도하는 경우 안전상의 문제가 있기 때문에 이전의 몇 주기(기정값 3주기)의 상황을 고려하여, 차량의 존재 유무를 판단한 후에 현시생략 수행한다.

영상검지기가 설치된 경우에는 해당 차로의 대기길이를 실측할 수 있으므로 대기길이가 없는 경우는 이전 주기의 교통량 고려 없이 현시생략을 해도 무방하다.(단, 해당 이동류의 딜레마존의 시작지점까지 대기행렬을 실측할 수 있는 경우만 해당됨.)

<그림 5> COSMOS 좌회전 감응제어 개념도



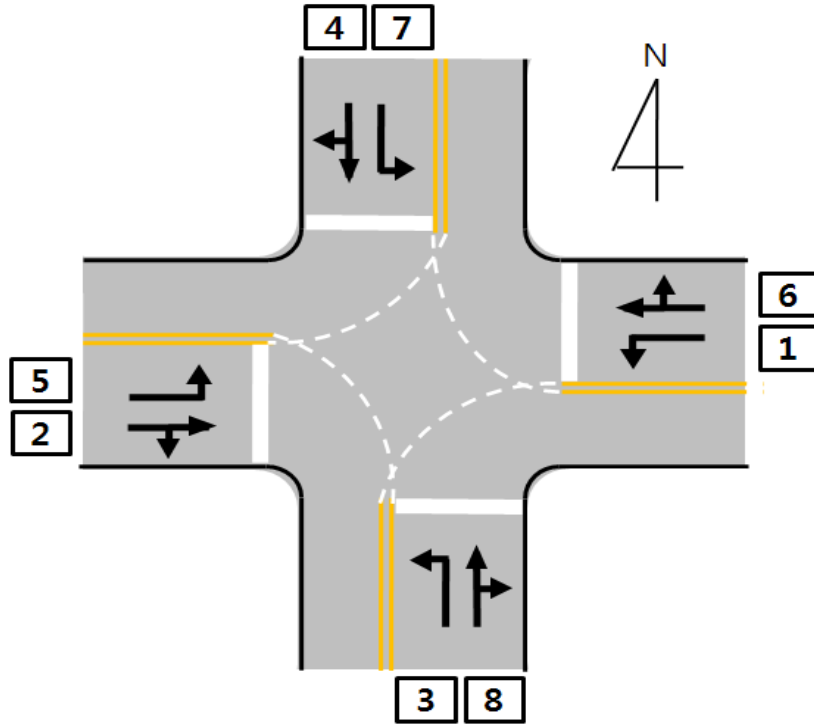
2. 현시 및 검지기체계

가. 현시체계

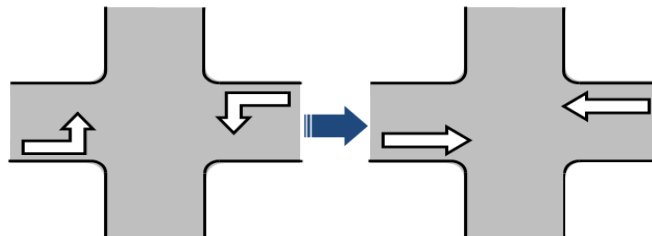
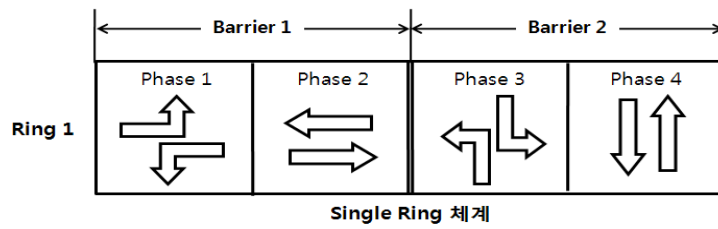
1) Single Ring / Dual Ring

감응제어의 현시(Phase)체계는 2현시에서 8현시까지 구현이 가능하며, 현시조합은 Single Ring과 Dual Ring으로 구분된다. Single Ring은 한 현시가 하나의 이동류로 이루어지는 것이 아니라 동시에 두 개 이상의 이동류가 한 현시로 정의되어 같은 신호 시간을 받는 것이고, Dual Ring은 이동류 8개(직진과 좌회전)를 8현시로 표현하여 하나씩 서로 다른 신호 시간을 받는다. 감응 제어에서는 Dual Ring 8현시를 기본 값으로 설정하고 Single Ring은 운영상의 선택 사항으로 고려한다.

<그림 6> 8현시 번호

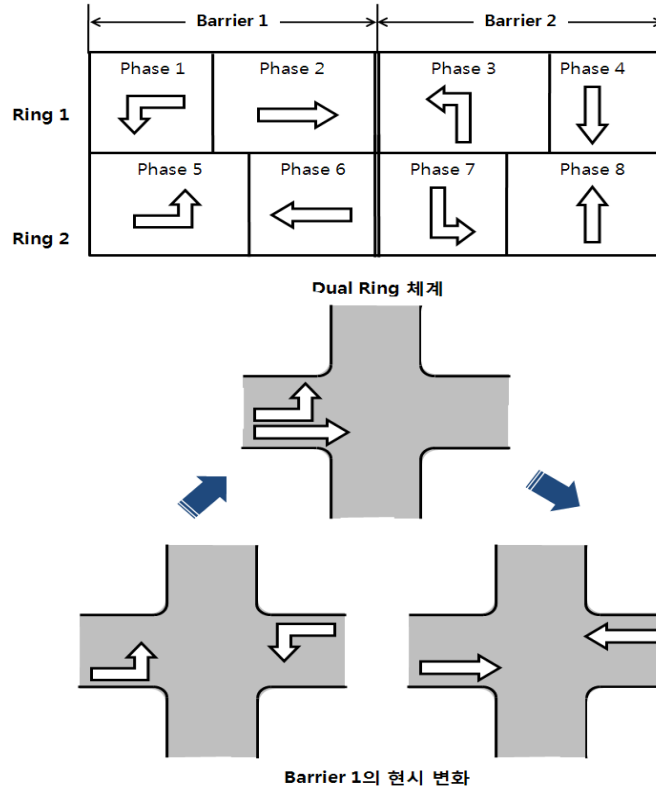


<그림 7> Single Ring



Barrier 1의 현시 변화

<그림 8> Dual Ring




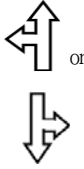






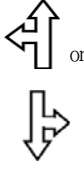


2) Single Entry / Dual Entry

현시 진행방법은 Single Entry와 Dual Entry로 나뉜다. Single Entry는 지정된 현시 순서에 따라 진행 될 때 차량 감응이 없는 현시는 독립적으로 종료가능하며 이 경우 Barrier 내의 나머지 현시는 그대로 진행된다. 반대로 Dual Entry의 경우는 같이 진행되는 현시에 감응이 존재하지 않을 때 미리 지정된 방법에 따라 링에서 한 현시가 선택된다. 일반적으로 감응 제어 Dual Ring 8현시 운영에서는 Dual Entry가 Default로 사용되고 Single Entry는 운영자의 선택 사항으로 한다.

3) 현시 진행순서

현시 체계에서 현시 진행순서는 다음과 같이 3가지 방식으로 구분되고 이는 Barrier 내의 한 Ring의 두 현시 중 선행현시를 지정함으로써 결정된다. 다음 표는 남북방향을 기준으로 3가지 방식을 구분한 것이다.

<표 1> 현시 진행 순서

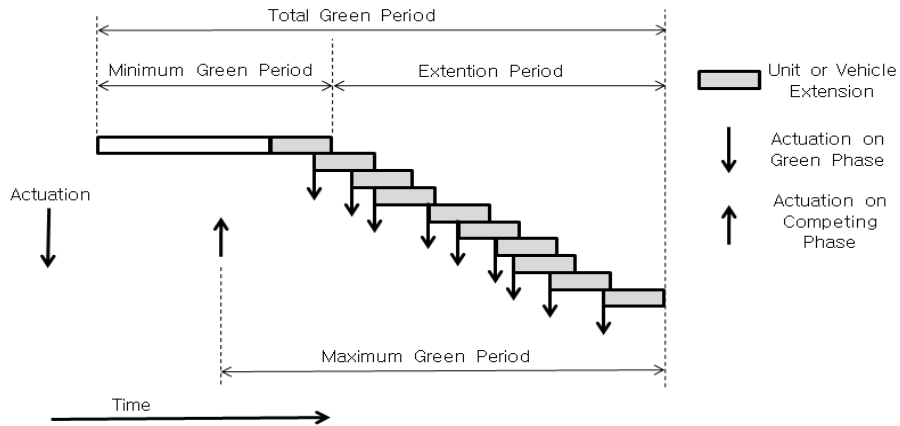
구분	내용	현시표시		
1. 선행좌회전 (Left turn first)	<ul style="list-style-type: none"> · 좌회전 동시 개시 · 좌회전과 직진 동시 운영 · 직진 동시운영 		 or 	
2. 선행 및 후행좌회전 (Lead-lag left turn first)	<ul style="list-style-type: none"> · 직진과 좌회전 동시 개시 · 좌회전 종료 후 직진 동시 운영 · 직진과 좌회전 동시 운영 			
3. 후행좌회전 (Through movements first)	<ul style="list-style-type: none"> · 직진 동시 개시 · 좌회전과 직진 동시 운영 · 좌회전 동시운영 		 or 	

4) 신호운영 변수

감응신호제어 운영은 아래 그림과 같이 최소녹색시간(Minimum Green), 진행연장시간(Extension Interval), 최대녹색시간(Maximum

Green Interval)의 변수로 운영되며 검지기의 차량 감응에 따라 녹색시간이 연장 또는 종결된다.

<그림 9> 감응신호제어 운영



- 최소녹색시간(Minimum Green Time) : 감응신호제어에서는 각 현 시마다 제공할 수 있는 최소녹색시간이 정해져야 하는데 기본적인 감응제어에서 최소녹색시간은 정지선과 검지기 사이에 저장할 수 있는 차량 수에 따라 결정된다. 지점검지방식(Point Detection)에서는 출발손실시간과 포화차두간격을 각각 4초와 2초로 설정하고, 차량대수(n)에 따라 최소녹색시간을 산정하며, 광역검지방식(Area Detection)에서 검지기가 정지선까지 연장되는 경우에는 최소녹색시간을 0초에 가깝도로 설정하고, 검지기 끝단이 정지선과 거리가 있는 경우에는 지점검지방식(Point Detection)과 같이 계산한다.

$$\text{Minimum Green Time} = \text{출발손실시간}(4\text{초}) + 2n$$

- 단위연장시간(Unit Extension Interval) : 단위연장시간은 차량 간 수용할 수 있는 최대 차두간격으로, 차량이 검지기에서 교차로까지 진행하는데 소요되는 시간으로 설정하는 것이 보통이다. 연속하는 차량간의 차간간격(Gap)이 단위연장시간을 초과할 경우 녹색현시는

종료되며, 차간간격(Gap)이 단위연장시간 보다 짧으면 녹색현시는 계속 연장되어 최대녹색시간까지 진행한다. 현시가 종료되는 경우는 차량간 검지간격이 단위연장시간보다 길거나 최대녹색시간까지 연장되는 경우이다.

- 최대녹색시간(Maximum Green Time) : 최대녹색시간은 상충하는 현시에 차량이 검지되었을 경우 현재 진행 중인 현시가 최대한 연장될 수 있는 시간으로, 일반적으로 30~60초의 범위에서 결정된다.

나. 검지기체계

감응식 신호제어에서 일반적으로 사용되는 검지기는 매설형 루프검지기(Inductive Loop Detector)이다. 루프검지기는 검지장치에서 공급하는 10~200kHz의 주파수를 갖는 에너지에 의해 도로 위에 매설된 루프코일에 균일한 인덕턴스를 가진 교번자장(alternative magnetic field)을 형성하고, 루프 위를 차량이 통과할 때 인덕턴스의 변화를 검지하는 방식의 지점검지기이다.

1) 검지모드

루프검지기는 크게 존재형 모드(Presence Mode)와 펄스형 모드(Pulse Mode)으로 구분된다.

- 존재형 모드(Presence Mode) : 검지기 내에 차량이 존재하는 동안 검지기의 차량점유상태를 유지하는 것으로 보통 Non-Locking Memory로 운영된다. Non-Locking Memory방식은 차량이 검지영역을 지나간 후에는 차량의 검지여부를 지워버리는 방식으로 회전교통수요가 높거나 부도로의 검지에 사용되는 방식이다. 적색신호시

우회전하는 차량들의 검지로 인한 비효율을 줄일 수 있다는 장점이 있다.

- 펄스형 모드(Pulse Mode) : 단위시간(보통 0.1~1.5초) 동안 차량이 검지되어 검지기의 점유상태를 인지하는 것으로 Locking Memory로 운영된다. Locking Memory방식은 차량이 검지되면 바로 현시를 제공할 수 있도록 검지신호를 기억하는 방식으로, 주로 직진차량으로 구성된 주도로 이동류의 현시제공에 적절한 방법이다. 그러나 검지된 차량이 적색신호시 우회전(RTOR ; Right Turn on Red)을 하였을 경우 기억하지 못하므로 대기차량이 없어도 신호를 줄 수 있다는 단점이 있다.

<표 2> 검지모드의 분류

구분	기억방식	특징
존재형 모드 (Presence Mode)	Non-Locking Memory	<ul style="list-style-type: none"> · 차량이 검지영역을 지나간 후에 제어기가 차량의 검지여부를 지워버림 · 회전교통량이 많거나, 부도로의 교통량이 많은 경우 도시부 접근로에 적합함 · 정지선에 Large-Area검지기를 사용하는 경우에 적용함 · RTOR을 검지하기 위한 정지선 검지기도 적용함
펄스형 모드 (Pulse Mode)	Locking Memory	<ul style="list-style-type: none"> · 0.1~0.15초 Pulse로 call 상태를 인지하는 것으로 상류부 검지기에 사용됨 · 적색시간에 도착하는 교통량에 최대한 빨리 녹색신호를 줄 수 있음 · RTOR이나 항색신호 시 통과한 차량을 확인할 수 없다는 단점이 있음 · 주로 상류부나 Small-Area검지기를 사용하는 경우에 적용함

2) 검지기 설계

검지기 크기에 따른 검지기 설치 위치 및 길이 설정은 다음과 같다.

◦ Small-Area검지기

Small-Area검지기(지점검지기)는 한 지점에서 차량의 통과를 검지하는 방식으로 Short-Loop, Point, Passage검지기로도 불린다. 보통 검지기의 크기는 1.8m×1.8m(6ft×6ft)이며, 한 차로 혹은 여러 차로에 걸쳐 설치하며 Pulse 또는 Presence Mode로 검지하고, 제어기상에는 Locking Detection Memory로 운영된다.

<표 3> 검지기 위치와 관련된 시간값

접근속도 kph(mph)	검지기 Set-Back m(ft)	대기가능 차량대수 (대)	초기 녹색시간 (초)	단위 연장시간 (초)	안정적 최소녹색시간 (초)
24(15)	23(77)	3-4	8.5	3.5	12
32(20)	31(103)	4-5	10.5	3.5	14
40(25)	36(120)	5-6	10	3.5	13.5
48(30)	36(120)	5-6	10	3.5	13.5
56(35) 이상	기본 감응식 신호제어에서는 사용하지 않으나 접근속도가 56kmp(35mph)이상일 경우, Variable Initial Interval이 요구됨				

◦ Large-Area검지기

Large-Area검지기는 검지영역 내에 차량이 점유되는 시간만큼 차량 Prence를 검지하는 방식으로 Long-Loop가 주로 사용된다. 제어기에는 Non-Locking Detection Memory로 운영되며, 검지기의 길이는 교차로 접근속도와 제어기의 단위연장 설정 값에 따라 달라진다.

$$L = 1.47 \times V(3 - U.E) - 18$$

여기서, L : 검지기 길이(ft)

V : 접근속도(mph)

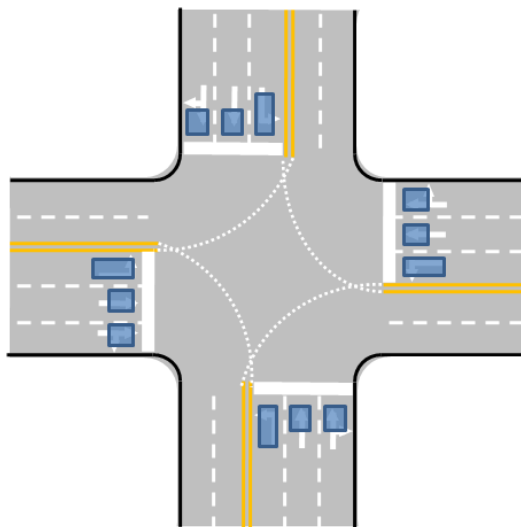
U.E : 제어기 단위연장시간

(Controller Unit Extension interval : 통상 0~1.5초 사용)

3) 검지기 구성

완전감응제어시 검지기와 반감응제어시 검지기의 일반적인 형태는 <그림 10>, <그림 11>와 같다. 완전감응제어는 모든 방향에 대해 감응을 실시하기 때문에, 각 접근방향 모두 검지기를 설치한 반면, 반감응제어의 경우 교통량이 적은 주도로 좌회전과 부방향에 대해서만 감응을 실시하므로 검지기를 좌회전 차로에만 설치한다.

<그림 10> 완전감응제어 검지기 구성



제2절 영상검지시스템

1. 영상검지기의 개요

영상 검지기는 영상 처리 기술(Image processing technology)을 이용하여 도로 상을 통행하는 차량들의 속도, 점유 시간, 차두 시간 등과 같은 교통 매개변수를 측정하는 검지기이다. 특히, 영상 검지기는 인간의 눈과 같은 기능을 하는 카메라를 정보 입력 수단으로 사용하기 때문에 기존의 루프 검지기뿐만 아니라 초음파나 초단파, 적외선 검지기의 성능보다 한 단계 앞선 시스템으로 차량의 검지 기능과 모니터링 기능을 동시에 수행할 수 있다. 현재 영상 검지기는 선진 각국에서 가장 연구가 활발한 첨단 시스템이며, 컴퓨터 기술의 발달에 따라 신호 처리 속도가 매우 빨라져 성능이 크게 향상되고 있다. 초기에 비디오카메라는 주로 도로 상의 상황을 화면을 통해 모니터링 하여 교통 상황을 파악하기 위한 목적으로 많이 사용되었으나 현재는 영상을 통해 자동적으로 대상 도로의 상황을 검지, 분석하여 교통 정보를 제공하기 위한 교통관제의 목적으로 많이 사용되고 있다.

여타 검지기는 일부 교통 매개변수를 가지고 교통관제에 필요한 정보를 추출하는 데 반하여 영상 검지기는 카메라 영상을 통해 입력되는 실시간 자료를 그대로 처리하므로 좀 더 다양하고 정확한 교통 정보를 얻을 수 있다.

2. 영상검지기의 작동원리

영상검지기는 운동물체를 검지하기 위해 밝기(Color)값의 변화를 이용하며, 이는 각각 대응하는 화소(pixel)나 블록(Block)간의 밝기 차를 구

하고 일정한 문턱값(Threshold)을 기준으로 밝기값 차이가 문턱값 이상이면 물체가 존재한다고 가정한다. 그러나 연속되는 영상에서 단순히 두 영상간의 밝기값만을 비교할 경우 밝기값의 분포가 비슷한 물체가 상대적으로 작은 운동을 하게 되어 영상 간에 겹치는 부분이 발생하게 되면 밝기값의 차이가 거의 없기 때문에 이를 배경 영상으로 오인할 수도 있다.

이러한 문제점은 움직이는 물체를 제외시킨 배경 영상(기준 영상)을 도입함으로써 해결할 수 있으나 실제 도로에서는 태양의 위치 변화와 구름, 주야의 바뀜 등에 의해 발생할 수 있는 조명 조건의 변화로 배경 자체의 밝기값도 시간에 따라 바뀌게 되어 배경 영상을 획득하는 것도 어렵게 된다. 이와 같은 조명 조건의 변화에 능동적으로 대응할 수 있는 기법으로 능동적 칼만 이득(Active kalman gain)을 이용한 칼만 필터링(Kalman filtering) 기법이 많이 사용되고 있으며, 칼만 필터링 기법을 도입하게 되면 조명 조건의 변화로 인한 문제점을 극복할 수 있으며 실제 배경 영상의 밝기값 변화에 신속히 적응할 수 있다.

영상 검지기는 넓은 범위에 걸쳐 차량의 움직임을 관측할 수 있기 때문에 차량의 속도나 차종, 점유 시간, 교통량 등과 같은 교통 매개변수의 제공뿐만 아니라 주행 궤적의 추적(Tracking)과 예측도 가능하다.

〈표 4〉 영상검지방식의 분류

검지방식	기술내용 및 특성	사용용도
영상 Loop 또는 Bar 방식	<ul style="list-style-type: none"> • Loop Coil 차량검지 방식과 동일하게 영상화면에 Bartype 또는 직사각형의 영상 Loop 또는 검지선(영상 line)을 설정하고 이 위를 통과하는 차량의 영상내 Pixels의 Grey Level 변화를 분석하여 차량의 존재여부를 검출함 • 2개의 영상 Loop 또는 검지선을 통과하는 차량의 통과 시간을 측정하여 차량속도등 기타 교통정보를 산출함 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 차량존재 검출/경보용 2. 교통신호 제어용 3. 고속도로 간선도로의 교통정보 수집통계 처리
Video image Tracking방 식	<ul style="list-style-type: none"> • 영상 화면내의 차선별 또는 도로 내에 설정된 검지 Line 또는 검지영역(Area)내에 주행하는 차량에 의하여 발생하는 영상화소(Pixels)의 움직임을 추적하여 차량의 존재 및 속도 등을 컴퓨터에 의하여 교통정보를 산출함 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 정지 차량 검출 (고속도로, 터널) 2. 고속도로, 간선도로의 교통정보수집 3. 교통사고, 정체인식경보

다양한 측정 기능과 영상 그 자체의 방대한 데이터 양으로 인해 영상 검지기의 데이터는 실시간 처리가 요구되며, 움직이는 물체를 인식하는데 사용되는 영상 처리 기술로는 프레임 간의 차분 영상을 이용하는 방법, 다수 프레임 간의 대응점(matching point) 추출 기법, 배경 영상과 차분 영상을 이용하는 방법이 있다.

◦ 프레임 간의 차분 영상을 이용하는 방법

기본적으로 미분 개념을 이용한 것으로 고주파 잡음에 의한 영향이 크며 저속으로 움직이는 물체에 대한 검지 능력이 떨어짐. 또한 가장 큰 단점으로는 물체의 형상 파악이 어렵기 때문에 차종 구분이 불가능함

◦ 다수 프레임 간의 대응점(matching point) 추출 기법

여러 개의 프레임 메모리를 사용하여 움직이는 물체의 대응점을 추적하는 것으로 영상을 실시간으로 처리하는 데 어려움이 있음

◦ 배경 영상과 차분 영상을 이용하는 방법

차량이 존재하지 않는 도로의 배경 영상과 현재 입력된 도로 영상과의 차분 영상을 이용하여 차량을 검지하는 방법으로 현재 가장 많이 이용되고 있음. 그러나 주야의 바뀔, 구름 등으로 인한 조명 조건의 변화에 따라 배경 영상을 계속해서 갱신해 주어야 하며, 배경 영상과 움직이는 물체가 식별이 곤란한 경우 검지에 실패할 수도 있음

상기의 영상 처리 기법들을 전체 영상에 그대로 적용할 경우 실시간으로 영상 자료를 처리하는 데 어려움이 많기 때문에 차선마다 특정 크기의 검지 영역(Window)을 설정하여 그 내부의 차량만을 검지하거나 또는 각 차선에 평행하거나 수직인 몇 개의 선을 사용하여 차량을 검지하는 것이 전체 영상을 사용하는 것보다 자료의 처리 속도 면에서 효율적이다.

3. 영상검지기 설치위치

영상검지시스템에서 카메라의 위치는 정확한 교통 자료를 획득하는데 매우 중요한 역할을 담당한다. 카메라의 위치가 좋지 못할 경우 인접 차선의 차량들에 의해 검지 시선이 차단될 수 있으며 occlusion현상의 발생으로 차량의 Tracking이 어려울 수 있다.

일반적으로 카메라의 위치는 카메라의 경사각(Inclination), 높이(Height), 도로에 대한 카메라의 위치(Position)와 같은 요인들로 세분화할 수 있으며, 특히 카메라의 영상에 직접 햇빛이 들면 검지 자체가 불가능할 수도 있으므로 주의를 기울여야 한다.

차량검지기에서 가장 중요한 것은 검지 대상 차량을 정확히 검지하는 것이므로, 검지 영역을 통과하는 모든 차량이 검지되어야 하며 동일 차

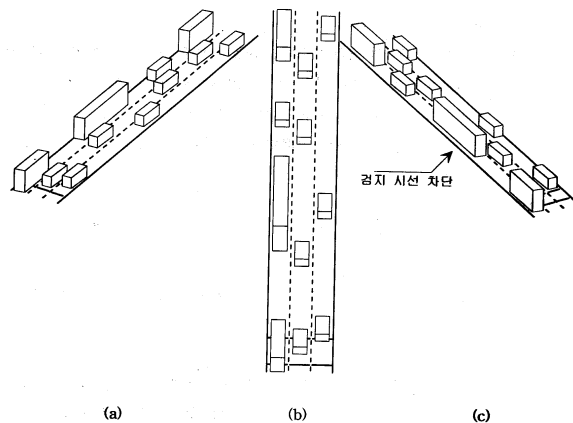
량이 두 번 이상 검지되어서는 안 된다. 즉, 영상 검지기에서는 검지 대상이 되는 모든 차량들이 가시화되어 영상에서 정확히 식별이 되어야 하며 검지 대상 이외의 물체(그림자 등)가 검지되어서는 안 된다.

따라서 카메라는 검지 대상 차량의 영상이 정확히 포착될 수 있는 곳에 위치해야 하며 선행 차와 후행 차를 잘 식별하여 주로 선행 차의 후미와 후행 차의 선두 부분이 중첩되어 발생하는 검지 오류를 줄일 수 있는 곳에 위치해야 한다.

가. 카메라의 위치

카메라가 도로 상공(Overhead)에 위치한 경우와 노측에 위치한 경우, 교통류를 서로 다른 위치에서 바라본 모습을 그림으로 표현하면 아래 그림과 같다. 그림에서 (a)는 카메라가 교통류 진행방향의 좌측에 위치한 경우이며, (b)는 카메라가 교통류의 상공에 위치한 경우, (c)는 카메라가 교통류 진행방향의 우측에 위치한 경우를 나타낸다.

<그림 12> 카메라의 위치에 따른 교통류의 모습



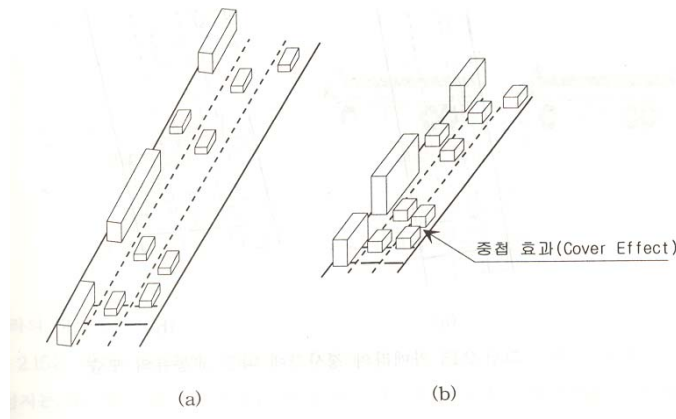
확실히 가장 좋은 화면을 얻을 수 있는 카메라의 위치는 (b)와 같이 카메라가 교통류의 상공에 위치한 경우이며, 가장 나쁜 위치는 (c)와 같이 카메라가 교통류 진행방향의 우측에 위치한 경우로, 이는 주로 2, 3차선으로 주행하는 대형 차량들로 인해 1차선으로 주행하는 차량들이 은폐(Occlusion)되기 때문이다.

좌회전 감응식 신호제어에서는 주도로 직진차로의 차량보다는 좌회전차로의 차량이 신호 결정의 주요 변수가 되므로, 전방에 기존 신호지주가 존재할 경우 그림(b)와 같이 카메라를 교통류의 상공에 위치시키고, 신호지주에 설치가 어려울 경우 그림(a)와 같이 교통류 진행방향의 좌측에 위치시키는 것이 보다 정확한 차량 검지를 기대할 수 있다.

나. 카메라의 높이

차량의 은폐(Occlusion)는 카메라의 설치 높이가 낮을수록 심해지기 때문에 카메라를 가급적 교통류의 상공에 위치시키는 것이 좋으나, 실제적으로 여러 가지 이유로 인해 도로 변에 설치해야 하는 경우가 많기에, 이러한 경우에는 인접한 차량들로 인해 검지 시선이 차단되지 않도록 주의해야 한다. 카메라의 높이에 따른 교통류의 모습을 나타내면 아래 그림과 같다.

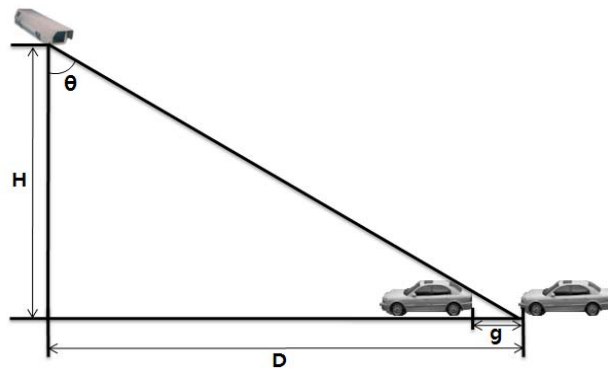
<그림 13> 카메라의 높이에 따른 교통류의 모습



카메라의 높이가 낮을 경우 카메라에 포착되는 차량들은 실제의 길이보다 길어 보이게 되며, 중첩 효과(Collating effects)로 인해 여러 대의 차량들이 한 대의 차량으로 검지될 가능성이 있기 때문에 좋은 검지 시야를 확보하기 위해서 카메라는 되도록 높은 곳에 위치하는 것이 좋다.

영상검지기는 다음 그림과 같이 카메라의 설치높이(H), 검지 길이(D), 대상 차량의 높이(h), 차간거리(g) 등에 따라 검지능력이 달라진다.

<그림 14> 영상검지기 설치조건



영상 검지기는 두 차량 간의 거리가 1/3~2/3m(1~2ft) 정도까지 식별이 가능하며, 영상 검지기의 설치 높이는 검지 거리와 차간 거리, 검지

대상 차량의 높이와 관계가 있다.

$$H = D \times g / h$$

H = 영상검지기의 설치 높이

D = 검지 길이

g = 차간 거리

h = 검지대상 차량의 높이

따라서 검지영역의 길이를 50m로 가정하고, 검지대상 차량의 높이를 승용차 1.5m, 중차량 4m를 대입하여, 차간 거리에 따른 영상검지기의 설치높이를 계산하면 아래 표와 같다.

<표 5> 차간거리별 영상검지기 설치높이

차간거리(m)	설치높이(m)	
	승용차(1.5m)	중차량(4m)
2	38	100
3	25	67
4	19	50
5	15	40
6	13	33
7	11	29
8	9	25
9	8	22
10	8	20
11	7	18
12	6	17
13	6	15
14	5	14
15	5	13
16	4	13
17	4	12
18	4	11
19	4	11
20	4	10

현재 일반적인 영상검지기 설치높이인 12m는 승용차의 경우 차간거리가 약 3m 이상이며, 중차량의 차간거리가 약 8m이상일 때 차량의 은폐(Occlusion)현상 없이 차량검지가 가능하다.

따라서 영상검지기를 설치할 때 해당 교차로에 접근하는 차량의 차간 거리와 중차량 비율, 검지해야할 대기차량 대수 등을 고려하여 적절한 설치높이를 결정하는 것이 중요하며, 상기의 요인들 이외에도 안전성, 가격, 지속성 등과 같은 요인들에 대해서도 충분한 검토가 필요하다.³⁾

3) 은지혜, 영상검지기를 이용한 좌회전 감응식 신호제어전략 개발 및 평가, 아주대학교, 2010.

제3절 선행연구 고찰

차량의 안전과 원활한 통행소통을 위하여 설치한 신호교차로가 산업개발이 가속화되면서 차량의 급격한 증가로 인하여 지체의 주요한 원인 중 하나로 대두 되면서 미국과 유럽을 중심으로 1970년대 후반부터 신호교차로의 효율적인 제어를 위한 연구가 활발하게 시작되었다. 초기에는 주로 도시 내의 교통 혼잡을 최소화시키는 연구가 주를 이루었으나, 최근에는 도시 내 신호제어 운영과 더불어 제어효과 측면에서 높은 효율을 보이는 지방부 도로로 연구의 범위가 확대되고 있다.

서울시립대학의 연구에서는 일반국도의 간선도로 기능 향상을 위한 감응식 신호운영 적용시, 기본 신호운영변수를 TRANSYT-7F의 주방향연동최적화 기능인 PROS(Progression Opportunities)를 이용한 산출값을 적용하여 주방향 연동의 효과를 극대화 할 수 있도록 하였다.

TRANSYT-7F의 PROS 기능을 통해 주방향 Bandwidth의 확보 및 지체 최소화 결과를 산출하고, 이를 통과폭 최대화모형인 PASSER-II와 상호 비교하여 PROS 기능의 효과를 평가하였다. PROS 기능 최적화 결과, 현황 대비 주방향 Bandwidth가 10% 증가하였고, 통과폭 최대화 모형인 PASSER-II 최적화 결과와 비교시 주방향 Bandwidth 확보측면에서 더욱 유리한 결과를 나타내었다. 주방향 Bandwidth 확보에 따른 부방향 지체 증가 또한 PASSER-II 모형대비 TRANSYT-7F 모형 최적화 결과가 상대적으로 우수한 결과를 나타내었다. 이는 지체 및 정지수 최소화를 통하여 신호교차로 최적화만을 고려한 TRANSYT-7F 모형의 이용이 아닌, 주방향 Bandwidth 확보를 위한 PROS 기능을 이용한 방법론을 제시하였다고 할 수 있다. TRANSYT-7F 모형 최적화 결과를 바탕으로 연동형 반감응 신호를 적용한 결과 주방향 통행속도와 녹색시간 확대 모두 10% 이상의 개선된 결과를 나타내었다.

결과적으로 TRANSYT-7F의 PROS 기능을 통하여 Bandwidth를 확보하고, 최적화된 신호시간을 기반으로 연동형 반감응 신호제어를 적용함으로써 일반국도상 주방향 소통개선을 위한 신호제어 방법론을 제시하였다.⁴⁾

교통과학연구원의 연구에서는 지방지역 일반도로 독립교차로의 실시간 교통대응제어체계 개발을 실시하여, 제어기의 소프트웨어와 검지기 체계 등 하드웨어를 개선·보완한 시스템을 개발을 완료하여 현장실험을 실시하였다. 그 결과 지체와 딜레마존(Dilemma Zone)의 감소를 확인한 바 있다. 그러나 이것은 교통대응(TRC : Traffic Response Control)방식의 제어기로서 COSMOS(Cycle, Offset, Split Model of Seoul)제어기를 모체로 하고 있으므로, 실시간 제어(Real Time Control)와는 다소 차이가 있을 수 있다⁵⁾.

교통개발연구원에서는 고속으로 운영되는 일반국도의 연동신호제어 하에서 신호교차로 통과차량의 안전성을 높이는 딜레마감응 제어방법을 개발하였으며, 이를 평가하기 위한 HILS(Hardware in Loop System)의 개발도 함께 이루어졌다. HILS 장비를 통한 실내시험평가 및 일반국도 1호선 오산시, 화성시 관내 신호교차로에 시스템을 구축하여 현장평가를 실시한 결과, 교통소통 및 안전 측면에서 모두 효과를 입증하였다⁶⁾.

한국교통연구원에서는 고양시 관내를 지나는 지방도 310번 상의 6개 교차로를 대상으로 중요교차로의 차량검지체계로부터 얻어진 신호주기 정보를 반감응 제어를 위한 공통신호주기로 이용하여 인접 교차로와 연동하는 시스템을 구축하여 그 효과를 확인한 바 있다⁷⁾.

4) 강민석, 김영찬, 일반국도의 주방향 소통개선을 위한 연동형 반감응 신호제어, 서울시립대학교 일반대학원 석사학위논문, 2008.

5) 도로교통안전관리공단, 지역단위 실시간 교통신호제어체계 개발, 2002.

6) 건설교통부, 국도상의 신호교차로의 소통 및 안전기능 고도화를 위한 교통신호제어기기 개발, 2004.

7) 한국교통연구원, 반감응제어 신호기 설치사업 사업관리, 2005.

이 외에도 석종수(인철발전연구원, 2004), 이두선(단국대학교, 2006), 배광수(서울시립대학교, 2002), 이용일(서울시립대학교, 2004), 박순용(단국대학교, 2004), 정동우(인천대 대학원, 2009) 등이 지방부 도로의 감응신호제어시스템 도입의 타당성을 도출한 바 있으나, 검지체계의 변화를 통한 시스템 개선에 대한 연구는 미약하다.

제4절 평가사례 고찰

1. 신신호시스템 검증·평가

신 신호시스템 검증·평가는 현재 설치·운영되고 있는 실시간 신호제어 시스템에 대한 전반적인 검증·평가를 수행하여, 향후 실시간 신호제어 시스템의 확대설치 여부에 대한 검토의견을 제시하고, 실시간 신호제어 시스템의 전반적인 문제점과 개선사항을 도출하여 향후 효율적인 시스템 구축을 도모하는 것을 목적으로 한다. 본 연구내용은 신호제어 알고리즘 고찰, 교통상황 인지능력 평가, 기능성 평가, 기존 전자신호시스템과 비교·평가 등으로 구성되어 있다.

가. 실시간 신호제어시스템의 신호제어 알고리즘 고찰

신호제어 알고리즘은 검지기 정보를 1차 처리하는 Local Controller 부와 신호시간을 산출하는 Regional Controller부로 구성되며, 각 단계 별로 처리되는 알고리즘을 보면 다음 표와 같다.

<표 6> 실시간 신호제어시스템 알고리즘 목록1

번호	구분	알고리즘	세부 알고리즘	적용시점	기능 개선
1	검지기정보 1차 처리 알고리즘	포화도 산정 알고리즘	-	기본사항	-
2		포화교통류율 산출 알고리즘	-	기본사항	-
3		대기행렬 길이 예측 알고리즘	-	과포화시	1차
4		속도산출 알고리즘	-	기본사항	-

<표 7> 실시간 신호제어시스템 알고리즘 목록2

5	신호시간 산출 알고리즘	주기결정 알고리즘	-	기본사항	-
6		녹색시간 결정 알고리즘	포화도비에 따른 녹색시간 분할 알고리즘	기본사항	2차
7			대기행렬길이를 이용한 FDS 보정 알고리즘	과포화시	1차
8		오프셋 결정 알고리즘	정상상태 오프셋 결정 알고리즘	비포화시	-
9			Equity Offset	과포화시	2차
10		감응제어 알고리즘	좌회전 감응제어 알고리즘(조기종결)	비포화시	-
11			앞막힘 예방제어 알고리즘	과포화시	1차
12		오프셋 전이 알고리즘		기본사항	-

나. 실시간 신호제어시스템 구현을 위한 교통상황 인지 능력 평가

실시간 신호제어시스템은 매 주기 단위로 검지기를 통해 얻는 기초 데이터로 포화도(DS)를 산정하며 포화도는 주기, 현시분할, 오프셋 산정, 과포화시 현시분할에 사용되는 주요한 신호제어 변수이다.

본 연구에서는 검지기를 통해 산출된 기초데이터와 포화도값의 신뢰성을 평가하고 포화도값이 나타내는 특성과 그러한 특성을 나타내는 요인을 추정하였다. 또한 과포화시 현시분할의 주요한 변수인 대기길이와 대기길이를 예측하는데 사용되는 속도의 신뢰성을 검증하였다.

〈표 8〉 실시간 신호제어시스템 교통인지 능력 평가 항목

평가대상	평가항목	평가방법
점유 / 비점유시간	<ul style="list-style-type: none"> • 개별차량의 점유시간 • 주기별 비점유시간의 합 	<ul style="list-style-type: none"> • 비디오 촬영 및 편집기 분석을 통한 자료수집
교통량	<ul style="list-style-type: none"> • 정지선 유출 교통량 	<ul style="list-style-type: none"> • 조사원 계측
포화교통류율	<ul style="list-style-type: none"> • 주기별 포화교통류율 • 14주기 평활화된 포화교통류율 	<ul style="list-style-type: none"> • 비디오 촬영 및 편집기 분석을 통한 자료수집
DS(포화도)	<ul style="list-style-type: none"> • 주기별 최대 대기차량 길이 	<ul style="list-style-type: none"> • 실측 및 센터 교통량, 포화교통류율, 현시길이 이용 X값 산출 후 센터 DS와 비교 • 비디오 촬영 및 편집기 분석을 통한 자료수집
대기길이	<ul style="list-style-type: none"> • 주기별 최대 대기차량 길이 	<ul style="list-style-type: none"> • 도로에 10m 단위 표시 후 계측
속도	<ul style="list-style-type: none"> • 개별차량의 속도 • 주기별 링크 속도 	<ul style="list-style-type: none"> • 비디오 촬영 및 편집기 분석을 통한 자료수집

다. 실시간 신호제어시스템의 기능성 평가

■ 검지기에서 산출된 자료들은 각종 신호제어 알고리즘의 입력자료로 사용되어 신호운영에 사용되어진다.

■ 이러한 신호제어 알고리즘을 통해 신호운영에 필요한 주기, 현시, 업셋값 등을 결정하게 되는데, 다양한 교통현상이 발생하는 현장의 자료와 이를 검증할 수 있는 실측자료를 통하여 실시간 신호제어시스템의 신호제어 알고리즘의 기능성을 검증하였다.

■ 수행된 실시간 신호제어시스템의 검증대상 알고리즘 및 검증방법은 다음의 표와 같다.

〈표 9〉 실시간 신호제어시스템 알고리즘 기능성 검증 항목

알고리즘	검증 대상	검증방법
주기산정 알고리즘	<ul style="list-style-type: none"> 주기길이에 따른 현시 변동폭 검증 Webster방식과 신신호의 주기산출 알고리즘의 비교·검증 	<ul style="list-style-type: none"> 센터자료를 이용한 검증·평가 및 임의의 입력 값으로 직접계산
현시분할 알고리즘	<ul style="list-style-type: none"> 정규화 된 입력변수를 이용한 현시분할과정의 기능성 검증 교통수요를 이용한 현시분할 결과의 평가 	<ul style="list-style-type: none"> 임의의 입력 값으로 직접계산 및 실측조사를 통한 평가
대기 길이에 의한 FDS 보정 알고리즘	<ul style="list-style-type: none"> 포화도 기반 알고리즘의 적용성 분석 Weighting Factor 민감도 분석 대기길이를 이용한 FDS보정 알고리즘의 기능성 검증 과포화 시 좌회전 포화도 값의 영향력 분석 앞막힘 현상 발생시의 정지선 검지기의 포화도 값 검증 	<ul style="list-style-type: none"> 임의의 입력 값으로 직접계산 및 실측조사를 통한 평가
오피셋 결정 알고리즘	<ul style="list-style-type: none"> 교통량 산정 방식 및 결과의 적정성 평가 	<ul style="list-style-type: none"> 센터의 연동방향, DS, 포화교통유율 자료를 이용하여 검증
좌회전 감응제어 알고리즘	<ul style="list-style-type: none"> 좌회전 대기차량을 이용한 좌회전 감응제어의 기능성 검증 	<ul style="list-style-type: none"> 현장조사 결과와 센터자료를 이용한 검증

라. 기존 전자신호제어와 실시간 신호제어의 비교 평가

실시간 신호제어시스템이 설치·운영되기 이전의 신호제어 방식인 TOD로 운영하였을 때와 비교·분석을 통하여 실시간 신호제어시스템의 효율성을 평가하였다. 평가는 독립교차로와 Corridor/Network로 나누어 실시하였으며 Corridor/Network의 비교평가는 주행조사 결과를 토대로 경제성분석방법으로 평가하였고, 독립교차로에서의 비교 평가는 비포화/

근포화/과포화 상황에 따라 다음의 표와 같은 평가항목으로 평가하였다.

<표 10> 실시간 신호제어시스템과 기존 전자신호시스템의 평가항목

교통상황	평가항목	평가내용
비포화	현시분할 알고리즘 효율성 평가	접근로별 유출교통량과 현시길이 비교를 통해 교통량에 대한 현시길이 변화의 민감도 분석
	현시분할의 형평성 평가	접근로별 포화도의 분산을 비교하여 현시분할 알고리즘의 형평성 분석
근포화	과포화 억제력 분석	수요변화 및 대기길이 변화에 따른 현시길이의 변화 분석
과포화	과포화 시 현시분할 알고리즘의 효율성 평가	접근로별 대기길이의 크기에 대한 상대적인 비교와 접근로별 현시길이의 상대적인 비교를 통한 과포화 시 현시분할의 적절성 및 효율성 평가

마. 실시간 신호제어시스템 H/W 및 S/W 구성체계 검증

실시간 신호제어시스템의 H/W 구성체계 검증은 Host Computer 및 Regional Controller를 포함하는 신호시스템과 Local Controller 등을 포함하는 지역제어기 시스템으로 나누어 실시하였다. S/W의 경우는 센터의 하드웨어에 내장되어 있는 실시간 신호제어시스템의 신호제어 알고리즘을 포함하는 부분, 통신 및 기타 데이터 처리를 하는 부분, 지역제어기에서 검지기 자료를 처리하는 부분으로 나누어 검증하였다. 본 연구에서는 중점적으로 센터 시스템에서 사용되는 신호제어 알고리즘에 대한 소스코드를 중심으로 검증하였다.

바. 검지기 시스템 평가

실시간 신호제어시스템에서 사용되고 있는 검지기는 8각/32각 검지기,

원형검지기가 있으므로 각 검지기의 유형별 신뢰성 평가와 경제성 평가를 실시하였다. 평가방법은 신뢰성 평가를 위한 현장조사 결과와 2000년 실시간 신호제어시스템 기능개선(2차)연구의 대체 검지기 신뢰성 평가 결과를 활용하였다.

사. 실시간 신호제어시스템 운영현황 평가

실시간 신호제어시스템의 현장 운영 부문 평가는 시스템의 실시간 운영 평가 부문, 경찰관의 의한 개입 정도를 평가하는 부문, 검지기의 작동 부문에 대하여 평가를 수행하였다. 실시간 신호제어시스템이 운영중인 교차로를 대상으로 현장에서 실제로 운영된 결과를 이용하여 시스템의 운영이 어떠한 방식으로 진행되었는지 분석하였다.

또한 TRC운행을 위한 기본 전제조건인 검지기의 운영 상태를 분석하기 위하여 센터에서 보고되는 검지기 이벤트 보고서와 검지기의 이상유무를 확인할 수 있는 일일 교통정보 보고서를 통하여 검지기의 상태를 정상상태와 이상상태로 구분하여 검지기의 정상적인 작동여부 및 오류를 등을 분석하였다.

2. 반감응 신호제어를 이용한 비보호 좌회전 운영 전략 효과분석

비보호 좌회전과 반감응 신호제어는 교통량이 일정수준 이하일 때에만 운용되도록 권고하고 있듯이, 이 두가지 교통제어 전략은 교통량에 민감하게 반응하고 있다. 따라서 본 연구에서는 다양한 교통량 시나리오를 설정하여 반감응 신호제어를 이용한 비보호 좌회전 운영전략의 효과분석

을 통하여 반감응 신호제어를 이용한 비보호 좌회전의 운영기준을 제시하는 것을 목적으로 한다.

효과분석은 연구대상지역 선정, 분석방법 수립, 시나리오 설정, 결과도출의 과정으로 진행하였으며 연구대상지역은 비보호좌회전 신호가 운영되고 있는 곳을 기준으로 교통량과 신호운영현황을 반영하여 선정하였다. 분석방법은 교통량, 신호운영현황 등 교통환경 변수를 조사하고, 미시적 교통류 해석 모형인 VISSIM을 이용하여 시나리오를 설정하고 시뮬레이션의 효과를 분석하였다.

VISSIM의 VAP(Vehicle Actuated Program) 알고리즘을 이용하여 부도로에 검지기가 설치된 반감응 신호제어 기법을 구현하였으며, 현재의 신호시간을 최적화하여 정주기로 제공하는 방안(Fixed), 반감응 최소녹색시간을 10초 제공하는 방안(Semi10), 부도로의 최소녹색시간을 20초 제공하는 방안(Semi20)의 비교를 통하여 반감응 신호제어를 통한 비보호 좌회전의 효과를 분석하였다. 최소녹색시간의 사용 후 차량이 계속적으로 진입할 경우, 녹색시간 연장으로 3초를 제공하였으며, 최대 녹색시간은 동일하게 30초로 설정하여 효과분석을 실시하였다.

다양한 교통량 시나리오의 효과를 반영하기 위하여 총 36가지의 시나리오를 구성하여 시뮬레이션을 실시하고 반감응 신호제어를 이용한 비보호 좌회전 효과를 분석하였다.

시뮬레이션에서는 각 도로의 차량이 랜덤하게 교차로에 도착한다는 가정하에 주도로 직진 교통량과 주도로 좌회전 교통량을 다음과 같이 변화시켜 가면서 효과를 분석하였다.

- 주도로 직진교통량 : 200, 300, 400, 500, 600, 700대/시
- 주도로 좌회전 교통량 : 20, 40, 60, 80, 100, 120대/시
- 부도로 직진/부도로 좌회전 교통량 : 24/59, 35/94대/시

시뮬레이션 결과 교통량이 적은 경우(200~500대/시)에는 반감응 신호제어를 통한 비보호 좌회전의 효과가 정주기식 신호제어를 하는 경우와 비교하여 효과적인 것으로 나타났고, 교통량이 많은 경우(600~700대/시)에는 비보호좌회전 교통량이 80대를 넘어서면서 정주기식 신호제어가 더 효과적인 것으로 나타났다.

3. 반감응 제어 신호기 설치사업관리

본 연구는 고양시 관내 신호교차로의 신호운영효율을 높이기 위하여 구축하는 “반감응 제어 신호기 설치사업”의 효과를 극대화하고 연동제어를 구현할 수 있도록 반감응 기반 신호체계를 현장에 구축·운영하여 효과를 분석하는 것을 목적으로 연구가 이루어졌다.

연구의 내용은 일반현황조사 및 분석, 신호제어시스템 구축 및 평가 계획 수립, 신호제어시스템의 기능 요구사항 및 시스템 구축 요구사항 제시, 시스템 효과분석, 유지관리 및 운영방안제시 등이 있다. 반감응 신호제어시스템의 효과분석 실내모의실험평가와 현장운영평가로 구분되어 실시되었으며 실내모의실험평가는 구축 전(고정주기), 고정주기 최적화, 반감응 최적화의 결과를 비교·평가하는 것을 목적으로 한다.

현장운영평가는 신호교차로의 운영 효율성 및 보행자 안전성 향상측면에서 신호운영전략을 평가하고 반감응 신호제어 시스템 설치 효과를 분석하기 위하여, 시스템 구축 전·후의 현장조사 자료를 비교·분석하는 과정으로 평가가 이루어졌다. 현장운영평가의 평가방법론은 반감응 신호제어 시스템 구축 이전의 신호제어 방식을 고정시간 제어방식, 구축 이후의 신호제어 방식을 반감응 제어방식이라고 정의하였고 각각의 제어방식에 대해 현장조사가 이루어졌으며, 비교·분석하여 평가하였다.

<표 11> 현장운영 평가의 구성

구분	내용	평가항목
고정시간 제어 방식	- 반감음 제어 신호기 설치 이전의 현장조사 자료분석	- 교차로 통과교통량(대/시) - 정지지체시간(초/대) - 대기행렬 길이(m)
반감음 제어 방식	- 반감음 제어 신호기 설치 이후의 현장조사 자료분석	- 좌회전 차량 대기시간(초) - 보행자 대기시간(초) - 신호운영시간(초)

현장운영평가 결과, 교차로 통과교통량 증가, 평균지체시간 감소, 평균 대기행렬길이 감소, 보행자 보행시간 감소, 주방향 직진이동류 소통원활의 결과를 도출하였으며 이는 반감음 신호제어 시스템이 부방향의 불필요한 신호현시를 조기종결시키거나 생략하여 그 현시값을 교통수요가 많은 주방향에 부여하는 효율적인 신호운영으로 교차로 전체의 교통흐름을 원활하게 한 것이라고 사료된다.

4. 국도상에서 COSMOS 과포화 제어 알고리즘의 평가

주방향 교통류의 비중이 높고 시간대별 중방향이 뚜렷한 국도의 특성상, 신호제어에서 중요한 부분은 좌회전 감응제어와 과포화시 신호제어이다. 과포화시 신호제어의 경우, 과포화 운영의 효율에 따라 정체의 지속시간을 감소시킬 수 있으며, 국도의 소통능력 개선에 큰 역할을 한다.

따라서 본 연구는 국도신호운영시범 시스템을 기반으로 신 신호시스템의 기능 중 과포화 제어에 대한 효과를 평가하고자 한다. 연구 방법은 다음과 같다.

- 과포화 제어에 대한 기존의 연구를 검토하여 과포화 제어의 발전 방향과 국도상의 신호운영에 고려할 내용을 검토한다.
- 국도 신호운영 시범 시스템의 세부 알고리즘의 내용과 유형을 파악한다.
- 현장에서 검지기 별 교통량과 대기행렬을 측정하고, 지역제어기의 이력자료와 비교하여 검지기의 정확도를 검토한다.
- 지역제어기의 주기별, 검지기별 자료와 현장조사 자료를 이용하여 과포화 제어 알고리즘의 효과를 평가한다.

가. 검지기 성능 검토

루프검지기의 기본자료로 산출되는 교통량을 검지기 설치 위치에서 각 15분씩 현장조사하여 검증하였으며, 그 결과 결과 조사대상 검지기 모두 10%이내의 오차를 보였으며, 오차의 폭은 7%~9%로 나타나 안정적인 검지성능을 보였다.

나. 대기행렬 길이 추정

속도가 0km/h로 관측되는 지점을 대기행렬의 끝단으로 판단하여 과포화 상태가 되는 17:00~19:00 동안 주기별 대기행렬을 관측하였으며 그 결과 전반적으로 유사한 경향을 나타내나 실측 대기행렬 길이에 비해 과추정되었다.

다. 과포화 제어에 대한 효과

과포화 상황에서 대기행렬의 길이에 의한 주기별 포화도값의 보정에 의해 다음 주기의 녹색시간 비율이 증가하고, 대기행렬의 추가적인 증가를 예방하는 것으로 분석되었다.

제3장 3지교차로 감응신호제어 적용 알고리즘

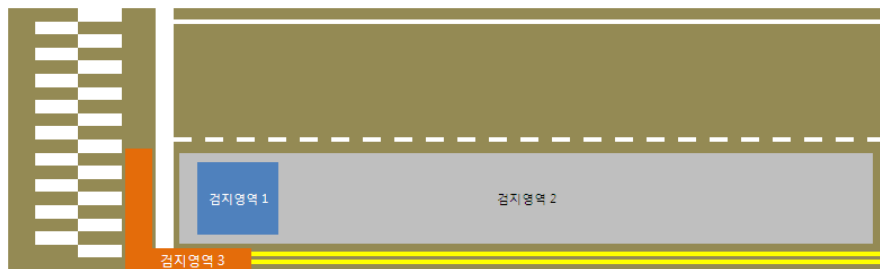
제1절 차량검지방법

차량검지방법으로는 주도로 및 부도로 좌회전 정지선 대기차량의 존재 유무 및 대기차량 대수 파악을 위한 검지기으로써 실시간으로 자료처리가 가능한 영상검지기술을 적용한다.

1. 차량검지영역

영상검지기를 이용한 3지교차로 감응신호제어를 위한 차량검지영역은 3개의 검지영역으로 구성된다.

<그림 15> 영상검지영역의 설정



각 검지영역의 역할은 다음과 같다. 검지영역1은 차량의 존재여부를 파악하여 감응현시의 부여 및 생략을 결정하며, 검지영역2는 상류부에서 진입하는 차량수를 계산하여 감응현시의 초기녹색시간을 산정하는 역할을 담당한다. 또한, 검지영역2는 검지영역1의 검지 오류로 인해 차량이

존재함에도 불구하고 현시가 생략되는 현상을 방지하기 위해 영역 내 추적된 차량이 1대 이상인 경우 감응현시를 생략하지 않도록 하는 기능을 담당한다. 검지영역3는 감응현시 내에 교차로를 통과하는 차량 수(진출 차량수)를 파악하는 영역으로, 검지영역2 내 진입한 차량이 모두 소거(진입차량수 - 진출차량수)되었는지를 확인함으로써, 현시의 연장 및 조기종결을 결정하는 역할을 담당한다.

<표 12> 영상검지영역의 수집자료 및 용도

검지영역	수집자료	용도
검지영역1	차량의 존재유무	- 감응현시 부여유무 결정
검지영역2	진입 차량수	- 감응현시 부여유무 결정
	잔여(진입-진출) 차량수	- 진입 차량수를 파악하여 감응현시 초기녹색시간 산정
검지영역3	진출 차량수	- 잔여 차량이 모두 진출할 때까지 감응현시 연장 (단, 최대녹색시간 이내)

각 영역의 설정길이는 다음과 같다. 검지영역1은 한 대 이상의 차량이 있음을 검지하면 조건을 만족하므로, 정지선으로부터 0.3m 이내에 약 4m의 길이로 설정하며, 검지영역3는 차량 진행시 검지영역을 통과할 수 있도록 정지선 전방에 설치하되, 차량이 정지선을 밟지 않고 회전 하는 경우를 고려하여 차로 측면으로 약 12m이상 연장하여 설정한다. 검지영역2의 길이는 Traffic Control Systems Handbook(FHWA)에서 제시하고 있는 안전정지 거리 이상이 되도록 설정함으로써, 안전정지 거리 내에 차량이 있을 경우 현시를 연장 할 수 있도록 한다. 아래 표는 황색신호에 반응하는 임계감속도를 5.0m/sec²로 했을 때 검지영역의 길이를 임계감속도, 반응시간, 접근속도의 함수로 나타낸 것이다.

<표 13> 검지영역2 검지영역의 길이

접근속도 (kph)	감속거리 (m)	반응거리 (m)	안전정지 거리(m)	검지영역 길이(m)
30	6.9	8.3	15.2	16
40	12.3	11.1	23.4	24
50	19.3	13.9	33.2	34
60	27.8	16.7	44.5	45
70	37.8	19.4	57.2	58
80	49.4	22.2	71.6	72

<표 14> 영상검지영역의 설정길이

검지영역	설정 길이	비고
검지영역1	정지선으로부터 0.3m이내에서부터 약 4m 연장	각 검지영역은 검지기 설치 후 모니터링을 통해 현장 상황에 맞게 튜닝작업이 필요함
검지영역2	교차로 접근속도에 따른 안전정지 거리 이상	
검지영역3	정지선 부근, 차로 측면으로 12m 연장	

위와 같이 영상검지영역을 설정하면 좌회전 차량의 속도가 낮아 단위연장시간 내 차량이 교차로를 빠져나가지 못하더라도 녹색시간을 지속적으로 연장시켜줄 수 있기 때문에 현시가 불합리하게 조기종결 되는 문제를 해결할 수 있으며, 검지기의 set-back거리에 맞게 단위연장시간을 크게 설정하지 않아도 되기 때문에 교통수요에 보다 유연하고 민감하게

대응할 수 있는 장점이 있다.

2. 차량 검지방안

검지영역 내 차량의 검지는 지점검지(Point Detection)방식과 지역검지(Area Detection)방식을 병행하며, 지역검지방식은 최근 주정차단속, 끼어들기단속 등에 많이 활용되고 있는 Video image Tracking방식을 활용한다. 검지영역1(Presence Zone)과 검지영역3(Passing Zone)에서는 차량의 존재유무를 파악하고, 정지선을 통과하는 차량의 대수를 Count하는데 유리한 ‘영상 Loop 또는 Bar방식’을 이용한다. ‘영상 Loop 또는 Bar방식’은 Loop Coil 차량검지 방식과 동일하게 영상화면상에 직사각형 또는 Bar-type의 영상 Loop 또는 검지선(영상 line)을 설정하고, 이 위를 통과하는 차량의 영상 내 Pixels의 Grey level 변화를 분석하여 차량의 존재여부를 검출하는 방식으로써, 이를 통해 차량의 존재유무 및 통과차량 대수 뿐 아니라 아래에 제시된 식에 의하여 다양한 교통변수를 산출할 수 있다.

$$\text{속도} = \frac{\text{dist}(D_1, D_2)}{T_1(n) - T_2(n)} = \frac{\text{dist}(D_1, D_2)}{\frac{1}{30} \times F(n)}$$

$$\text{점유율} = \left(\frac{1}{L_1} \sum_{i=1}^k A_i \right) \times 100$$

$$\text{차량길이} = (T_1^*(n) - T_1(n)) \times \text{속도}$$

$$\text{차간거리} = [T_1(n+1) - T_1^*(n)] \times \text{속도}$$

검지영역2(Queue Zone)에서는 대기차량 수를 정확히 파악하는 것이 중요하므로, 기존 영상검지기의 Occlusion 문제를 해결하는데 용이한 ‘Video image Tracking방식’을 이용한다. ‘Video image Tracking방식’은 영상 화면내의 차선별 또는 도로 내에 설정된 검지 Line 또는 검지

영역(Area)내에 주행하는 차량에 의하여 발생하는 영상화소(Pixels)의 움직임을 추적하는 방식으로써, 검지영역에 진입하는 두 차량이 분리되어 Tracking이 시작되면 대기시에 Occlusion현상이 발생되더라도 개별 차량으로 인식하게 되므로 대기차량 수 파악에 유리한 장점이 있다. 개별차량의 Tracking 과정은 다음과 같다.

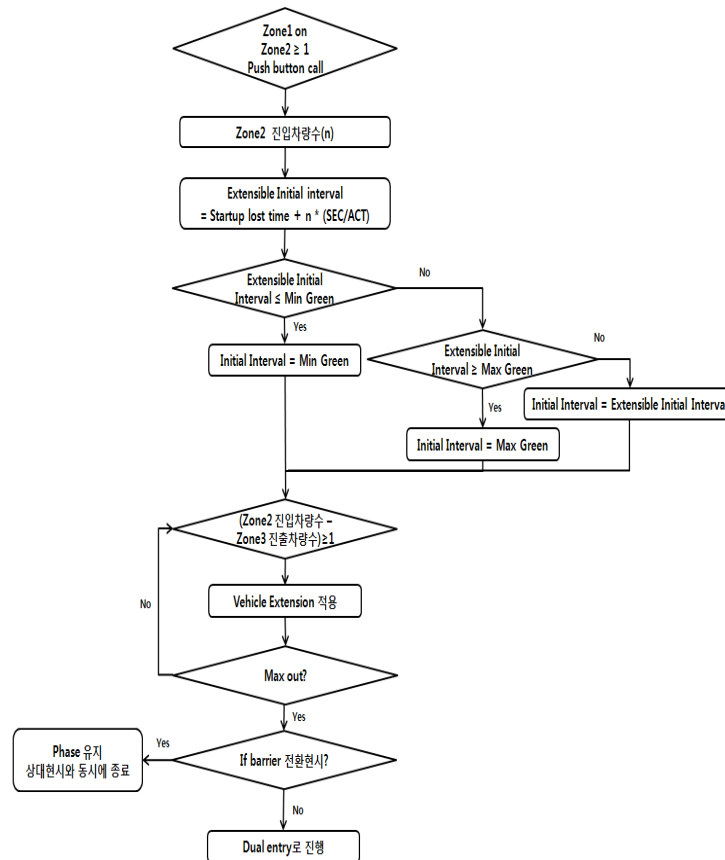
<표 15> 개별차량 Tracking 과정

단계	과정	내용
1단계	비교 영상 추출	배경영상과 현재영상의 차이를 비교하여 차량 영상을 추출
2단계	Morphology	보정작업, 개별차량의 윤곽과 내부의 빈공간 채움 + 노이즈 제거
3단계	차량 트래킹	개별차량의 중심좌표를 추출하여 부여된 개별차량 ID와 함께 저장
4단계	차량인식	위의 과정 후, 영상에서 이전 프레임에서 추출된 개별차량의 중심좌표가 현재프레임에서 추출된 개별차량 영역 내에 포함되면 동일차량으로 인식하여 추적이 시작됨

제2절 3지교차로 감응신호제어 적용 알고리즘

3지교차로 감응신호제어 알고리즘은 현시생략여부 결정, 초기녹색시간 산정, 단위연장시간 적용으로 구성된다. 아래 그림은 3지교차로 감응신호제어 알고리즘의 flow chart이다.

<그림 16> 3지교차로 감응신호제어 Flow Chart



주방향 현시의 최소녹색시간(Minimum Green) 이 후, 좌회전 차량의 존재유무를 파악하여 차량이 존재할 경우(검지영역1 ON or 검지영역2 ≥ 1) 감응현시는 부여되며, 존재하지 않을 경우(검지영역1 OFF or 검지영역2 < 1)는 생략된다. 이 때 감응현시의

초기녹색시간(Initial interval)은 검지영역2 내에 추적된 차량 수에 의해 산정되며, 그 식은 다음과 같다.

$$EII = SLT + n \times (SEC/ACT)$$

where,

EII = Extensible Initial Interval(sec)

SLT = Startup Lost Time(sec)

n = 검지영역2 내 추적된 차량수(veh)

SEC/ACT = 추적된 차량 당 초기녹색시간 증가값(sec)

초기녹색시간 이후, 감응현시의 연장 및 조기종결은 단위연장(Vehicle Extension)에 의해 결정된다. 단위연장은 검지영역 내 잔여 차량수가 한 대 이상일 경우 부여되며 영역 내 모든 차량이 소거될 때까지 계속되거나 최대녹색시간 이후로는 연장될 수 없다. 단위연장시간은 접근차량이 검지영역의 상류부에서 정지선까지 통과할 수 있는 시간으로, 그 식은 다음과 같다.

$$E = 3.6 \times L2 / AS$$

where,

E = Vehicle Extension(sec)

L2 = Length of 검지영역2(m)

AS = Approach Speed(km/h)

더불어, 감응식 연동제어의 특징은 주방향 현시의 시작점이 아닌 종료되는 시점(Yield Point)에 각각을 맞춘다는 점이다. 따라서 본 알고리즘에 Background Cycle Length, Yield Point, Permissive Periods, Recall 등의 개념을 도입하면 인접교차로와 연동제어를 할 수 있다. 본 신호제어알고리즘은 별도의 신규 제어기 개발 없이 전자신호제어기 및 표준신호제어기에 탑재하여 활용이 가능하다. 그리고 영상검지기가 정상적으로 작동하지 않는다면 설정된 고정 주기식 신호체계방식으로 전환한다.⁸⁾

8) 은지혜, 영상검지기를 이용한 좌회전 감응식 신호제어전략 개발 및 평가, 아주대학교, 2010.

제4장 감응신호제어시스템 평가사례분석

제1절 알고리즘 검증

좌회전 감응식 신호제어시스템의 검증 및 평가부분은 본 연구의 연장선상으로 한국ITS학회에서 시행한 연구자료를 통해서 연계하여 해석하도록 한다. 평가에 사용된 자료의 수집은 영상검지기를 기반으로 하므로 조도변화를 기준으로 하루를 일출, 주간, 일몰, 야간으로 나누어 다음과 같이 시간대별로 분류하여 시행하였다. 이중 일출과 일몰은 전이시간대로서 일반적으로는 약15분 정도로 전이시간이 형성되지만 기상조건에 따라 전이량의 변동이 발생하므로 충분한 자료수집을 위해 약 1시간의 자료를 수집하였다.⁹⁾

<표 16> 자료수집시간

조도분류	시간구분	자료수집시간
일출	06:45 - 07:45	60분
주간	08:00 - 09:00	60분
일몰	17:30 - 18:30	60분
야간	18:30 - 20:00	90분

1. 세부 항목별 결과

9) 한국ITS학회, 영상처리기능을 활용한 반감응 신호제어시스템 평가 연구, 2010.

가. 정확도 분석

아래 표는 일출시간대의 현시부여, 현시생략 및 현시연장이 제대로 이루어졌는가에 대한 평가 결과이다.

<표 17> 일출시간대 정확도

일출(06:45~07:45)	현시부여	현시생략	현시연장
성공횟수	48	71	44
총 횟수	49	80	49
정확도	98%	88.8%	89.8%

일출시간대의 알고리즘 정확도는 92.2%였으며 현시부여가 98%, 현시생략이 88.8%, 현시연장이 89.9%로 나타났다. 평균 현시생략과 현시연장이 제대로 이루어지지 않은 원인으로서는 배경화면 생성오류에 있는 것으로 판단된다.

영상검지기가 차량을 인식하기 위해서는 검지영역에 차량이 없을 때의 배경화면을 생성하여 현재 화면과의 비교를 통해 차량을 인식한다.

일출시간대에 갑자기 조명이 꺼지거나 해가 뜨면서 도로의 밝기가 변하는 간격이 너무 짧아 영상시스템의 암순응/명순응 현상 기간동안 배경화면 생성이 안정되기 전에 차량인식을 시작하여, 도로의 밝기변화를 차량으로 오검지 하는 경우가 발생한다고 판단된다.

다음 표는 주간, 일몰, 야간 시간대에 3가지 기능이 제대로 구현되었는지에 대한 결과이다.

<표 18> 주간시간대 정확도

주간(08:00~09:00)	현시부여	현시생략	현시연장
성공횟수	59	85	61
총 횟수	61	88	61
정확도	96.7%	96.6%	100%

<표 19> 일몰시간대 정확도

일몰(17:30~18:30)	현시부여	현시생략	현시연장
성공횟수	52	69	51
총 횟수	52	70	52
정확도	100%	98.6%	98.0%

<표 20> 야간시간대 정확도

야간(18:30~20:00)	현시부여	현시생략	현시연장
성공횟수	42	105	41
총 횟수	42	105	42
정확도	100%	100%	97.7%

주간 시간대에 발생한 신호현시 부여의 원인은 일출시간대와 마찬가지로 황색시간에 차량이 인식되었기 때문이라 판단된다. 주간 시간대와 일몰, 야간 시간대에는 정확도가 95% 이상으로 나타났다.

나. 통계적 검증

통계적 가설검정을 통한 좌회전 감응식 신호제어시스템의 정확도를 추정해 보면 다음과 같다. 가설검정을 통해 모비율을 추정해 본 결과 대체적으로 표본의 수가 적을수록 표본의 정확도가 낮을수록 모비율의 정확도가 떨어지는 것으로 나타났다.

〈표 21〉 일출시간대 정확도 추정

	현시부여	현시생략	현시연장
평균	44.1	72	44.1
표준편차	5	8	5
유의수준	1.282	1.282	1.282

$$\text{검정통계량} \geq Z_{0.10} = 1.282$$

〈표 22〉 일출시간대 현시부여 정확도 추정

추정대상	신뢰도	통계량	채택여부
현시부여	93%	1.36056	채택
현시생략	83%	1.369145	채택
현시연장	82%	1.420438	채택

현시부여의 정확도는 93%로 추정되었고 현시생략과 현시연장의 정확도는 각각 83%와 82%로 추정되었는데 이는 표본의 정확도가 낮았기 때문이다.

<표 23> 주간시간대 모집단의 정확도 추정

	현시부여	현시생략	현시연장
평균	54.9	79.2	54.9
표준편차	6.1	8.8	6.1
유의수준	1.282	1.282	1.282
검정통계량 $\geq Z_{0.10} = 1.282$			

<표 24> 주간시간대 현시부여 정확도 추정

추정대상	신뢰도	통계량	채택여부
현시부여	92%	1.359217	채택
현시생략	93%	1.3202472	채택
현시연장	97%	1.373535	채택

낮 시간대의 정확도는 각각 92%, 93%, 97%로 추정되었다.

<표 25> 일몰시간대 모집단의 정확도 추정

	현시부여	현시생략	현시연장
평균	46.8	63	46.8
표준편차	5.2	7	5.2
유의수준	1.282	1.282	1.282
검정통계량 $\geq Z_{0.10} = 1.282$			

〈표 26〉 일몰시간대 현시부여 정확도 추정

추정대상	신뢰도	통계량	채택여부
현시부여	96%	1.471960	채택
현시생략	95%	1.371021	채택
현시연장	937%	1.434867	채택

일몰 시간대의 정확도는 각각 96%, 95%, 93%로 추정되었다.

〈표 27〉 야간시간대 모집단의 정확도 추정

	현시부여	현시생략	현시연장
평균	38.7	94.5	38.7
표준편차	4.3	10.5	4.3
유의수준	1.282	1.282	1.282

검정통계량 $\geq Z_{0.10} = 1.282$

〈표 28〉 야간시간대 현시부여 정확도 추정

추정대상	신뢰도	통계량	채택여부
현시부여	96%	1.338532	채택
현시생략	98%	1.46385	채택
현시연장	92%	1.371565	채택

야간 시간대의 정확도는 각각 96%, 98%, 92%로 추정되었다.

일출시간대를 제외하고 주간, 일몰, 야간 시간대 모두 3가지 항목이 90% 이상으로 시스템의 정확도가 높다고 판단된다.

다. 검지영역의 차량인식시간

시스템의 알고리즘에서는 차량이 검지영역에서 인식되기 위한 시간은 2초이다. 평가기준값을 확인하기 위한 주기별 측정자료는 다음과 같다.

<표 29> 차량인식시간(단위:초)

주기	일출	주간	일몰	야간
평균	2.354	2.354	1.597	1.516
표준편차	1.152	1.025	1.091	0.625

일몰시간대와 야간시간대에 평균 차량 인식시간은 2초보다 적은 1.5초 값이 나타나는데, 가장 작은 값은 0.23초까지도 나타난다. 이와 같은 현상이 일어난 이유는 야간시간대에는 차량의 불빛을 가지고 차량을 인식하는데 차량이 들어오기 전에 차량의 불빛이 먼저 검지영역을 비추면서 차량이 검지영역에 진입한 것과 같은 효과가 나타나기 때문이라 판단된다. 차량의 불빛으로 차량을 검지하지 않는 일출시간과 주간시간대에는 평균 차량인식시간이 2.3초 정도로 시스템간의 통신시간을 고려한다면 알고리즘 수치와 비슷하지만 표준편차가 1이상인 것을 보았을 때 그 변동폭이 크다고 판단된다.

라. 현시시간 연장

시스템의 알고리즘에서 신호연장시 부여되는 한 단위 연장시간의 평가 기준값은 3.5초이다. 차량이 신호위반을 하였을 경우에는 분석자료에서 제외시켰으며, 주기별 연장시간 측정값은 아래 표와 같다.

<표 30> 알고리즘상의 연장시간 세부자료(단위:초)

주기	일출	주간	일몰	야간
평균	4.262	4.287	4.626	4.231
표준편차	0.271	0.364	0.429	0.373

알고리즘에서 설정된 연장시간 값(3.5초)과 1초정도의 차이가 발생하였다. 모든 시간대에 표준편차가 작아 연장시간의 값이 일정한 편이긴 하지만 송수신 시간을 감안하여도 알고리즘에서 설정한 연장시간과 차이가 있는 것을 볼 수 있다. 또한 연장시간이 너무 길어지면 시스템의 효율이 떨어지기 때문에 송수신 시간까지도 감안하여 연장시간을 설정해야 하는 것이 중요하다고 판단된다.

마. 적정 신호시간 표출

비교·분석 시 기준값은 차량의 교차로 소거시간이 되고 측정값은 좌회전 감응식 신호제어시스템에서 부여한 신호시간을 평가지표로 하였다.

<표 31> 시스템의 신호시간 정확성 검토

	일출	낮	일몰	밤
등가계수	0.917	0.932	0.986	0.986
%차이	14%	10.42%	13.69%	13.65%
상관계수	0.936	0.949	0.971	0.967

일출시간과 주간시간대의 등가계수 값이 일몰과 야간시간대에 비해서 비교적 낮은 값을 나타냈다. 기준값과 측정값의 시간비교는 똑같거나 안전을 생각한 여분의 시간차가 일정하게 나는 것이 가장 이상적이기 때문에 상관계수 분석을 통하여 두 변수의 관계가 얼마나 밀접한 관계를 가지는지 알아 보았다. 상관계수 또한 1에 근접한 것을 보아 양의 상관관계를 가진다고 할 수 있다. %차이에서는 10%이상의 차이가 나는 것을 볼 수 있는데 이는 시스템에서 계산된 시간이 일정한 연장값을 적용한 것이기 때문에 3초정도 일정하게 차이가 날 수 밖에 없기 때문이라 판단된다. 위에서 알아본 시스템 내에서의 실제 적용 연장시간은 약 4초정도이므로 이 연장시간을 조절함에 따라 %차이 값도 줄어들 것으로 판단된다.

바. 차량 대기시간 검지

적색시간 동안 차량이 검지영역안에 실제로 대기한 시간과 좌회전 감응식 신호제어시스템에서 인식한 대기시간을 비교·분석하였다.

<표 32> 시스템의 차량 대기시간 정확성 검토

	일출	주간	일몰	야간
등가계수	0.957	0.938	0.999	0.999
%차이	5.62%	6.77%	2.86%	2.63%
상관계수	0.989	0.977	0.999	0.999

등가계수나 상관계수 모두 신호시간의 차이 비교수치보다 1에 가깝기 때문에 시스템의 대기차량 인식률은 높다고 판단된다. 신호시간의 차이 비교에서는 연장시간으로 인한 차이로 인해 오차율이 10%이상이었지만 대기시간의 차이에서는 3~7%정도였다. 차량 인식시간으로 인한 2초의 차이만 존재하기 때문에 절반정도로 줄어든 것이라 판단된다.

2. 종합결과

가. 휴리스틱 정확도 분석

일출, 주간, 일몰, 야간시간대에 좌회전 감응식 신호제어시스템의 주요 기능 3가지에 대해서 정확도를 분석한 결과는 아래와 같다. 다른 시간대에 비해 일출시간대에 정확도가 90% 이하로 떨어지는 것을 볼 수 있는데, 이는 일출시간대에 교차로, 가로등 조명이 꺼지거나, 해가 뜨면서 영상시스템의 암순응/명순응 현상동안 배경영상 생성이 완료되기 전에 차량인식이 이루어졌기 때문으로 판단된다.

<표 33> 정확도 분석

	현시부여	현시생략	현시연장
일출 (06:45~07:45)	98%	88.8%	89.8%
주간 (08:00~09:00)	96.7%	96.6%	100%
일몰 (17:30~18:30)	100%	98.6%	98.1%
야간 (18:30~20:00)	100%	100%	97.7%

나. 통계적 정확도 분석

위의 산술적인 정확도 분석에서는 2일 동안의 수집한 자료를 가지고 평가한 것이기 때문에 신호운영을 하고자 하는 전체 좌회전 감응식 신호제어시스템의 정확도라고는 할 수 없다.

“단일 모집단 비율에 관한 가설검정”을 실시하여 표본의 정확도를 가지고 모집단의 정확도를 통계적으로 검증하였다. 산술적인 정확도 분석에 비해서 전체적으로 정확도가 떨어지는 것을 볼 수 있었는데 일출시간대의 현시생략과 현시연장을 제외하고는 모두 90%이상의 결과를 나타내었다.

<표 34> 통계적 정확도 분석 결과

	현시부여	현시생략	현시 연장
일출 (06:45~07:45)	93%	83%	82%
주간 (08:00~09:00)	92%	93%	97%
일몰 (17:30~08:30)	96%	95%	93%
야간 (18:30~20:00)	96%	98%	92%

다. 알고리즘 검증

좌회전 감응식 신호제어시스템의 알고리즘을 검증해보기 위해서 인식시간, 연장시간, 신호시간, 대기시간에 대해 확인하였다. 인식시간은 진입차량을 인식하는데 걸리는 시간으로 알고리즘에서는 2초로 설정되어 있지만 결과에서는 일몰과 밤시간대에 약간 더 낮은 수치를 보이는 것을 알 수 있다. 이는 어두운 교차로에서 검지영역에 진입하지 않은 차량의 불빛이 검지영역을 비추면서 시스템이 실제보다 더 빨리 검지영역에 진입한 것으로 인식하기 때문이라 판단된다. 연장시간은 3.5초를 설정하였지만 확인 결과 모든 시간대에 4초가 넘는 연장이 이루어지고 있는 것

을 볼 수 있었다. 신호시간에서 등가계수의 값을 보면 시스템이 부여한 시간과 차량의 소거시간이 비슷한 값을 가지는 것을 알 수 있지만 %오차 값이 10%이상이므로 약간의 차이는 발생하고 있다고 판단된다. 대기 시간 비교 시 차량의 실제 대기시간과 시스템이 인식한 차량 대기시간은 거의 일치하며, 두 변수의 오차도 신호시간에 비해 작다고 판단된다.

<표 35> 알고리즘 검증결과

	인식시간 (평균/표준편차)	연장시간 (평균/표준편차)	신호시간 (등가계수/오차)	대기시간 (등가계수/오차)
일출 (06:45~07:45)	2.35 / 1.152	4.26 / 0.271	0.917 / 14%	0.957 / 5.62%
낮 (08:00~09:00)	2.35 / 1.025	4.29 / 0.364	0.932 / 10.42%	0.938 / 6.77%
일몰 (17:30~08:30)	1.60 / 1.091	4.63 / 0.429	0.986 / 13.69%	0.999 / 2.86%
밤 (18:30~20:00)	1.52 / 0.625	4.23 / 0.373	0.986 / 13.65%	0.999 / 2.63%




제2절 시스템의 효율성 평가

좌회전 감응식 신호제어알고리즘의 효율성 평가는 기존의 TOD신호운영 방식과 비교·분석을 통해 실시하였다. 평가는 현장평가와 시뮬레이션 평가로 나누어 비교·분석하였다.

1. 현장 시스템 평가

현장 시스템 평가는 크게 주도로 직진, 주도로 좌회전, 부도로 좌회전 3가지 접근로에 대해서 시간대별로 평균정지지체를 구하였다. 침두·비침두 시간을 기준으로 접근로별로 차량의 지체를 분석하여 좌회전 감응식 신호제어시스템 알고리즘의 효율성을 분석하였다. 기존 TOD신호운영 방식의 신호현시는 다음과 같다.

<표 36> 교차로 신호현시

구분		Φ 1	Φ 2	Φ 3
교차로 주기 120초	현시방향			
	현시시간	80초	20초	20초

TOD신호운영과 좌회전 감응식 신호운영이 적용되었을 때의 방향별 교통량은 다음과 같다.

주도로 직진 접근로에 대한 지체를 비교해 보면, 주도로의 평균정지지체는 모든 시간대에서 지체가 줄어드는 것을 볼 수 있는데 이는 부도로에서 불필요한 신호를 조기종결하여 주도로의 직진신호에 부여하였기 때문이다. 또한, 주도로 좌회전 접근로에 대한 지체를 비교해 보면 다음과 같다. 주도로 좌회전에서 좌회전 감응식 신호제어시스템을 운영한 경우

에 평균정지지체가 더 증가하는 것을 볼 수 있었는데 이는 주도로 좌회전 차량이 거의 없고 주도로 좌회전 차량의 통행패턴이 일정하지 않기 때문으로 판단된다. 부도로 좌회전 접근로에 대한 지체를 비교해 보면, 정지지체가 비슷하거나 주도로 좌회전과 마찬가지로 지체가 증가하였는데 이는 주도로 좌회전과 마찬가지로 차량이 적고 부도로 좌회전 차량의 통행패턴이 일정하지 않기 때문이라 판단된다. 종합적으로 교차로 전체에 대한 지체를 비교해 보면 다음과 같다.

<표 37> 교차로 평균정지지체

교차로 (sec.)			
	TOD	좌회전 감응	개선율
주도로 직진	2.87	1.21	57.95%
주도로 좌회전	31.64	44.63	-41.02%
부도로 좌회전	54.91	50.84	7.42%
평균	7.96	6.47	18.73%

주도로 좌회전차량과 부도로 좌회전차량의 지체는 증가하였지만 주도로의 직진차량은 지체가 감소하였다. 주도로직진차량이 교차로 통과차량의 대부분을 차지하기 때문에 교차로 전체로 비교하면 지체가 감소하는 것을 볼 수 있다.

2. 시뮬레이션 평가

교통량의 변화에 따른 좌회전 감응식 신호제어시스템의 지체 개선율을 비교·분석하여 시스템의 현장 적용여건에 대해서 알아보았다. 교차로의 접근로별로 분석하였으며, 교차로 전체에 대하여 종합·분석하였다. 주도

로 직진에 관한 시나리오별 TOD신호운영과 좌회전 감응식 신호운영의 평균 제어지체시간은 다음과 같다.

<표 38> V/C변화에 따른 교차로 평균 지체시간 (단위:초)

주도로 직진 V/C=0.5		주도로 좌회전 V/C					
		TOD			좌회전 감응		
		0.5	0.8	1.0	0.5	0.8	1.0
부도로 좌회전 V/C	0.5	17.07	18.92	22.61	15.66	17.89	21.85
	0.8	18.63	20.62	24.48	17.79	19.62	23.54
	1.0	20.82	22.81	26.38	19.84	22.40	26.41

<표 39> V/C변화에 따른 교차로 평균 제어지체시간 (단위:초)

주도로 직진 V/C=0.8		주도로 좌회전 V/C					
		TOD			좌회전 감응		
		0.5	0.8	1.0	0.5	0.8	1.0
부도로 좌회전 V/C	0.5	31.63	33.74	38.26	28.12	31.48	36.50
	0.8	33.32	35.35	40.59	31.21	33.89	39.02
	1.0	35.66	37.75	42.09	33.46	36.72	41.58

<표 40> V/C변화에 따른 교차로 평균 제어지체시간 (단위:초)

주도로 직진 V/C=1.0		주도로 좌회전 V/C					
		TOD			좌회전 감응		
		0.5	0.8	1.0	0.5	0.8	1.0
부도로 좌회전 V/C	0.5	39.25	41.12	46.10	34.21	38.34	43.41
	0.8	40.62	43.17	49.60	37.82	41.07	47.00
	1.0	42.72	45.11	51.31	39.99	43.81	51.51

주도로 직진, 주도로 좌회전, 부도로 좌회전에 대한 시나리오를 분석하기 위해서 다음과 같이 크게 4가지 경우로 분류하여 교통량의 변화에 따른 분석을 시행하였다.

- Case 1 :주도로 직진, 주도로 좌회전, 부도로 좌회전 교통량 증가
- Case 2 :주도로 좌회전, 부도로 좌회전 교통량 증가
- Case 3 :주도로 좌회전 교통량 증가
- Case 4 :부도로 좌회전 교통량 증가

시나리오별 TOD신호운영과 좌회전 감응식 신호운영의 평균 개선율은 다음과 같다.

<표 41> V/C변화에 따른 지체 개선율(전체, 단위:%)

구분	주도로 직진 V/C=0.5			주도로 직진 V/C=0.8			주도로 직진 V/C=1.0			
	주도로 좌회전			주도로 좌회전			주도로 좌회전			
	0.5	0.8	1.0	0.5	0.8	1.0	0.5	0.8	1.0	
부 도 로 좌 회 전	0.5	8.29	5.42	3.38	11.10	6.70	4.61	12.82	6.75	5.84
	0.8	4.54	4.84	3.82	6.31	4.13	3.88	6.90	4.86	5.23
	1.0	4.74	1.78	-0.11	6.18	2.72	1.21	6.41	2.87	-0.39

가. Case 1

주도로 직진, 주도로/부도로 좌회전 교통량 V/C를 0.5, 0.8, 1.0으로 증가시키며 지체 개선율을 비교·분석하였다. 주도로 직진, 주도로 좌회전, 부도로 좌회전의 교통량이 모두 증가함에 따라 모든 접근로의 지체 개선율이 감소하였다.

<표 42> 교차로 정지지체시간 및 개선율 비교

구분	정지지체 (V/C별)	교차로 정지지체시간		
		0.5	0.8	1.0
TOD		17.07	43.17	51.31
좌회전 감응		15.66	41.07	51.51
개선율		8.29%	4.86%	-0.39%

나. Case 2

주도로의 교통량은 고정시키고 주도로와 부도로의 좌회전 교통량 V/C 증가에 따른 좌회전 감응식 신호제어시스템의 지체 개선율을 비교·분석하였다. 주도로 V/C=0.5인 경우, 주도로 좌회전, 부도로 좌회전의 V/C가 증가함에 따라 모든 접근로의 지체 개선율이 감소하였다.

<표 43> 교차로 정지지체시간 및 개선율 비교

구분 \ 정지지체 (V/C별)	교차로 정지지체시간		
	0.5	0.8	1.0
TOD	17.07	20.62	26.38
좌회전 감응	15.66	19.62	26.41
개선율	8.29%	4.84%	-0.11%

주도로 V/C=0.8인 경우, 주도로 좌회전, 부도로 좌회전의 V/C가 증가함에 따라 모든 접근로의 지체 개선율이 감소하였다.

<표 44> 교차로 정지지체시간 및 개선율 비교

구분 \ 정지지체 (V/C별)	교차로 정지지체시간		
	0.5	0.8	1.0
TOD	31.63	35.35	42.09
좌회전 감응	28.12	33.89	41.58
개선율	11.10%	4.13%	1.21%

주도로 V/C=1.0인 경우, 주도로의 교통량에 관계없이 모든 상황에서 주/부도로 좌회전의 V/C가 증가함에 따라 모든 접근로의 지체 개선율이 감소하였다.

<표 45> 교차로 정지지체시간 및 개선율 비교

구분	정지지체 (V/C별)	교차로 정지지체시간		
		0.5	0.8	1.0
TOD		39.25	43.17	51.31
좌회전 감응		34.21	41.07	51.51
개선율		12.82%	4.86%	-0.39%

다. Case 3

주도로 직진, 부도로 좌회전 $V/C=0.5$ 인 경우, 주도로 좌회전 교통량이 증가함에 따라 EB접근로와 NB접근로, 교차로 전체의 지체 개선율이 감소하였다.

<표 46> 교차로 정지지체시간 및 개선율 비교

구분 \ 정지지체 (V/C별)	교차로 정지지체시간		
	0.5	0.8	1.0
TOD	17.07	18.92	22.61
좌회전 감응	15.66	17.89	21.85
개선율	8.29%	5.42%	3.38%

주도로 직진, 부도로 좌회전 $V/C=0.8$ 인 경우, 주도로 좌회전 교통량이 증가함에 따라 EB접근로와 교차로 전체의 지체 개선율이 감소하였다.

<표 47> 교차로 정지지체시간 및 개선율 비교

구분 \ 정지지체 (V/C별)	교차로 정지지체시간		
	0.5	0.8	1.0
TOD	33.32	35.35	40.59
좌회전 감응	31.21	33.89	39.02
개선율	6.31%	4.13%	3.88%

주도로 직진, 부도로 좌회전 $V/C=1.0$ 인 경우, 주도로 좌회전 교통량이 증가함에 따라 EB접근로와 WB접근로, 교차로 전체의 지체 개선율이 감소하였다.

<표 48> 교차로 정지지체시간 및 개선율 비교

구분 \ 정지지체 (V/C별)	교차로 정지지체시간		
	0.5	0.8	1.0
TOD	42.72	45.11	51.31
좌회전 감응	39.99	43.81	51.51
개선율	6.41%	2.87%	-0.39%

라. Case 4

주도로 직진, 주도로 좌회전 $V/C=0.5$ 인 경우, 주도로 좌회전 교통량이 증가함에 따라 EB접근로와 WB접근로, 교차로 전체의 지체 개선율이 감소하였다.

<표 49> 교차로 정지지체시간 및 개선율 비교

구분 \ 정지지체 (V/C별)	교차로 정지지체시간		
	0.5	0.8	1.0
TOD	17.07	18.63	20.82
좌회전 감응	15.66	17.79	19.84
개선율	8.29%	4.54%	4.74%

주도로 직진, 주도로 좌회전 $V/C=0.8$ 인 경우, 주도로 좌회전 교통량이 증가함에 따라 EB접근로와 WB접근로, 교차로 전체의 지체 개선율이 감소하였다.

<표 50> 교차로 정지지체시간 및 개선율 비교

구분 \ 정지지체 (V/C별)	교차로 정지지체시간		
	0.5	0.8	1.0
TOD	33.74	35.35	37.75
좌회전 감응	31.48	33.89	36.72
개선율	6.70%	4.13%	2.72%

주도로 직진, 주도로 좌회전 V/C=1.0인 경우, 주도로 좌회전 교통량이 증가함에 따라 EB접근로와 WB접근로, 교차로 전체의 지체 개선율이 감소하였다.

<표 51> 교차로 정지지체시간 및 개선율 비교

구분	정지지체 (V/C별)	교차로 정지지체시간		
		0.5	0.8	1.0
TOD		46.10	49.60	51.31
좌회전 감응		43.41	47.00	51.51
개선율		5.84%	5.23%	-0.39%

제3절 시스템 평가결과

시스템 알고리즘의 검증 및 평가를 실시하기 위하여 일출, 주간, 일몰, 야간시간대로 구분하여 자료를 수집하고 현시부여, 현시생략, 현시연장에 대한 표본의 정확도를 평가하고 통계적 가설검정을 실시하였다. 시스템의 정확도를 분석한 결과 일출시간대를 제외하고는 모두 96% 이상의 정확도를 보였다. 일출시간대에는 교차로에 차량이 없음에도 불구하고 신호를 주거나 신호를 연장하는 현상이 발생하였는데, 이는 영상검지기의 배경영상 생성 시 생긴 오류 때문이므로 배경영상 생성 알고리즘을 보완하여 일출시간대의 정확도를 높일 필요가 있다고 판단된다. 가설검정을 통해 시스템 전체의 정확도를 분석한 결과 4~5% 정도가 전체적으로 감소하는 것을 볼 수 있었고, 시스템의 정확도와 마찬가지로 일출시간대의 현시생략과 현시연장 정확도가 각각 83%와 82%으로 다른시간대에 비해 낮은 수치를 보였지만 일출시간대를 제외하고는 모두 92%이상의 정확도를 보였다.

시스템에서 알고리즘대로 차량을 제대로 인식하는지를 분석한 결과 일출시간과 낮에는 알고리즘에서 정의한 2초와 비슷하였지만 일몰시간대와 밤에는 차량의 불빛으로 인해서 2초 보다 약간 더 빠른 1.5초정도에 차량을 인식하였다.

반감음 신호제어시스템에서 부여하는 현시시간이 적절한 지를 알아보기 위해서 실제 차량이 교차로에서 모두 소거되는 시간과 시스템에서 부여된 신호시간을 비교하였다. 등가계수와 상관계수, %오차를 평가지표로 하여 분석한 결과 두 변수의 값이 거의 일치한다는 결과가 도출되었으며 두 변수의 관계가 밀접하다고 할 수 있었다. 그러나 % 오차에서 비교적 높은 수치가 나왔는데 이는 교차로에서 차량의 속도가 너무 높아서 차량의 안전을 위해 연장시간을 크게 설정하였기 때문이다.

좌회전 감응식 신호제어시스템에서는 차량의 대기여부를 판단하여 신호를 부여하고 연장시켜 주기 때문에 시스템의 대기차량 인식이 얼마나 정확한지를 판단하기 위해 실제 차량의 대기시간과 시스템에서 인식한 차량의 대기시간을 비교하였다. 등가계수와 상관계수 모두 0.95이상의 결과를 보였으며, %오차 또한 2~6% 정도로 작은 값이 나왔다.

좌회전 감응식 신호제어시스템의 신호운영효과를 평가하기 위하여 정지지체를 지표로 하여 현장평가를 실시하였다. 현장평가 결과 주도로에서의 차량의 평균 정지지체는 평균 58%정도 감소하였고 부도로 좌회전에서도 약 7%정도 지체가 감소하여 주도로의 소통 효율은 개선되었지만, 주도로 좌회전에서는 41%정도 증가하였다. 그러나 주도로 좌회전 차량은 10대 미만으로 교차로 총 통과교통량의 5%도 되지 않았기 때문에 실질적인 교차로 총 정지지체는 18.73% 감소하는 효과를 나타냈다. 주도로 좌회전의 지체가 오히려 증가한 원인은 현장에서 차량이 거의 없고 차량의 교차로 진입 분포가 일정하지 않았기 때문이라 추측된다.

현장평가와 더불어 다양한 교통조건에 대한 개선효과를 비교·분석하기 위하여 시뮬레이션 Tool(CORSIM)을 이용하였다. 포화, 근포화, 비포화의 교통상태를 재현하기 위해 V/C 1.0, 0.8, 0.5의 3가지 상황에 대한 시나리오를 수립하고 TOD모드의 신호운영에 대한 결과와 비교·분석하였다. 시나리오 별로 시뮬레이션을 분석한 결과 주도로의 직진 V/C=1.0이고, 주/부도로 좌회전의 V/C=0.5 일 때 TOD 신호운영방식보다 큰 개선효과를 보였으며, Case별로 비교·분석한 결과, 비교적 주방향의 직진 V/C가 크고, 주도로와 부도로의 좌회전 V/C가 작을수록 TOD신호운영 방식에 비해 개선율이 증가하는 경향을 보이고 있다.

제5장 결 론

본 연구에서는 영상검지기를 이용한 좌회전 감응식 신호제어시스템을 대상으로 지방부 3지교차로의 감응신호제어시스템을 적용할 경우 어느 정도 효과가 있는지의 가능성을 알아보고자 하였다.

신호제어시스템의 정확도 및 알고리즘 평가결과를 보면 아침시간대를 제외하고는 90%이상의 정확도를 나타냈다. 신호제어시스템의 효율성 평가를 위하여 현장평가와 시뮬레이션 평가사례를 분석한 결과, 현장평가에서는 총 정지지체가 18.73% 감소하였고 시뮬레이션 평가에서는 주도로 직진 V/C가 1.0 이고 주도로/부도로 좌회전 V/C가 0.5일때 개선율이 가장 높았다. 또한 주도로의 직진교통류가 포화에 가깝고 주도로 및 부도로의 좌회전 교통류가 비포화상태에 가까울수록 신호운영효율이 높은 경향을 나타냈다. 전체적으로, 교통류 특성상 주방향 직진교통류의 V/C가 크고 주방향 및 부방향 좌회전 교통류의 V/C가 비포화상태의 특성을 보이는 지방부 3지 교차로에 대상 시스템이 적용된다면 TOD 방식의 신호시스템에 비해 신호운영효율을 높일 수 있으리라 판단된다.

실제 적용시에는 일출시간에 교차로 조명의 소등 및 일출로 인한 대상 도로의 조도변화로 배경화면을 차량으로 인식하는 문제점을 극복하기 위하여 단시간 내에 배경영상을 안정적으로 인식 및 생성하는 영상검지 알고리즘 개선이 필요하다.

이러한 시스템의 개선사항들이 적절하게 보완된다면 신뢰성 있는 좌회전 감응식 신호제어시스템을 적용함으로써 국토부의 3지교차로에서 야기되는 교차로 소통증가, 불필요한 차량지체로 인한 신호위반 감소, 신

호위반으로 인한 사고요인제거와 같은 여러 가지 문제점의 개선책이 될 수 있으므로 정책에 반영하여 시행한다면 개선된 효과를 볼 수 있으리라 사료된다.

참고문헌

1. 국내문헌

정동우, 조한선, 김응철, 3지교차로에서 반감응 신호제어와 보행자 작동신호기를 이용한 지체시간 감소에 관한 연구, 대한교통학회 제57회 학술발표회 논문집, 2007.

도로교통공단, 도로형태별 교통사고 발생건수, 2008.

한국교통연구원, 일반국도의 신호운영 개선을 위한 연구, 2004.

도로교통안전관리공단, 지역단위 실시간 교통신호제어체계 개발, 2002.

건설교통부, 국도상의 신호교차로의 소통 및 안전기능 고도화를 위한 교통신호제어기기 개발, 2004.

한국교통연구원, 반감응제어 신호기 설치사업 사업관리, 2005.

석종수, 감응식 신호를 이용한 독립교차로 운영 효율화 방안, 인천발전연구원, 2004.

이두선, 독립신호교차로에서의 완전 감응식 신호제어에 관한 연구, 단국대학교, 2007.

한국ITS학회, 영상처리기능을 활용한 반감응 신호제어시스템 평가 연구, 2010.

강민석, 일반국도의 주방향 소통개선을 위한 연동형 반감응 신호제어,

서울시립대학교, 2008.

배광수, 독립교차로 딜레마존 제거를 위한 교통감응신호제어 알고리즘 개발 및 평가, 서울시립대학교, 2002.

이용일, 감응식 신호제어상에서 딜레마 제어를 고려한 연동신호개발 및 적용, 2004.

박순용, 지방부 독립신호교차로에서 감응식 신호제어에 관한 연구, 단국대학교, 2004.

정동우, 3지 교차로에서 반감응 신호제어와 보행자작동신호기를 이용한 지체시간 감소에 관한 분석, 2009.

장진환, 박창수, 백승걸, 이미영, 차량속도별 영상검지기 성능 분석, 대한교통학회지 제23권 제5호(통권83호), 2005.

조우중, CCTV를 이용한 교통정보 수집 시스템의 구현, 아주대학교, 2007.

이대호, 실시간 교통정보 처리를 위한 지능형 영상검지기, 경희대학교, 2001.

이영로, 영상처리를 이용한 루프방식의 차량정보 추출 알고리즘에 관한 연구, 아주대학교, 2005.

김대호, 이도현, 김영찬, U턴 차량을 고려한 좌회전 감응식 신호제어 기법 개발, 대한토목학회논문집 제25권 제5호, 2005.

II. 외국문헌

Elena S. Prassas, Roger P. Roess, William R. McShane, TRAFFIC ENGINEERING(3rd Edition), Prentice Hall, 2004.

Ilsoo Yun, STOCHASTIC OPTIMIZATION METHOD FOR COORDINATED ACTUATED SIGNAL SYSTEMS, 2006.

Technical Committee 18, Southern section ITE, "Large-Area Detection at Intersection Approaches", 1974.

Technical Committee 18, Southern section ITE, "Large-Area Detection at Intersection Approaches", 1976.

FHWA, Traffic Control Systems Handbook, 1976.

Peter S. Parsonson. "Signalization of High-Speed, Isolated Intersections", TRR 681, 1978.

책임연구보고서 2010-31

경찰의 지방부 3지교차로 감응신호제어 적용에 관한 정책적 연구

2010년 12월 30일 발행

발행인 : 김 영 식

발행처 : **치안정책연구소**

경기도 용인시 기흥구 언동1길 29

홈페이지 : www.psi.go.kr

이 책의 무단 복제를 금합니다.

이 책자에 게재된 내용은 연구자 개인의 의견이며
치안정책연구소 공식견해가 아님을 밝혀드립니다.



POLICE SCIENCE INSTITUTE