

양방향연속진행 교통신호제어시스템

2005.4



서울시정개발연구원
Seoul Development Institute

연구진

연구책임	임 용 택 (여수대학교 교수)
연구원	성 홍 모 (서울대학교 환경대학원 석사과정)
	전 상 명 (서울대학교 환경대학원 석사과정)

이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서
서울특별시의 정책과는 다를 수도 있습니다.

목 차

제1장 서론	3
1.1 연구의 배경	3
1.2 연구의 목적	6
1.3 주요 연구내용	7
1.4 연구범위	7
제2장 기존 제어방법의 개요	11
2.1 기존의 교통신호제어 변수의 최적화 방법	11
제3장 양방향 연속진행 교통신호 제어방법(PSCS)의 개요	19
3.1 연구요약	19
3.2 서 론	19
3.3 양방향 연속진행 교통신호 제어방법(PSCS)의 개요	21
3.4 기법의 특징	22
3.5 신호 최적화 및 연동화 과정의 실제	23
제4장 모의실험 및 현장적용을 통한 검증	47
4.1 간선도로축을 대상으로 한 모의실험	47
4.2 광역지역 네트워크 모의실험 결과	54
4.3 현장실험을 통한 검증	56
제5장 결론 및 건의	65
5.1 모의실험	65
5.2 현장실험	65
5.3 최종결론	67
■ 참고문헌	69

제 1 장 서 론

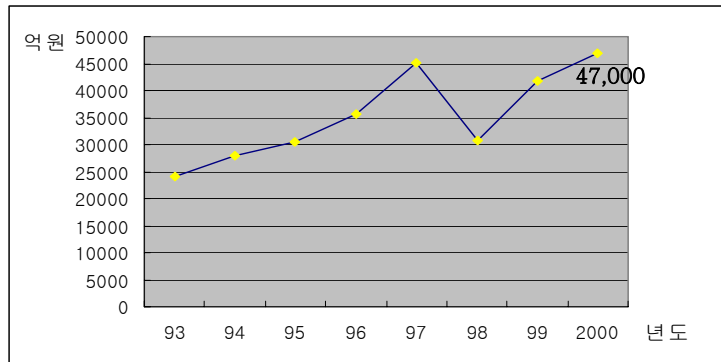
- 1.1 연구배경
- 1.2 연구목적
- 1.3 주요 연구내용
- 1.4 연구범위

제1장 서 론

1.1 연구배경

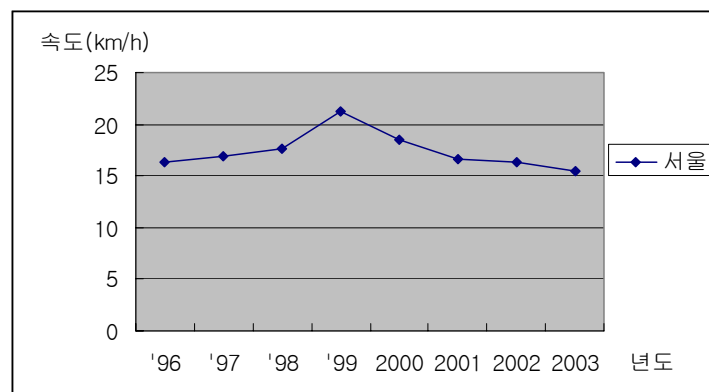
□ 증가하는 자동차로 인해 점차 심각해지는 서울시 교통혼잡, 교통사고, 대기오염 등 교통문제 해결을 위한 대책 마련을 위한 방안이 시급한 실정임.

- 서울시의 교통혼잡은 점차 심화되어 1999년 승용차 도심통행 속도는 시속21.19km에서 점차 둔화되어 2003년에는 시속 15.5km로 떨어지고 있으며 이로 인한 교통혼잡 비용도 매년 14.7%의 높은 증가율을 보여 2000년 기준으로 4조 7000억원에 이르는 천문학적 사회적 손실비용이 발생하였다.



※ 자료출처 : 서울시 교통 혼잡비용 산출과 추이분석, 교통개발연구원

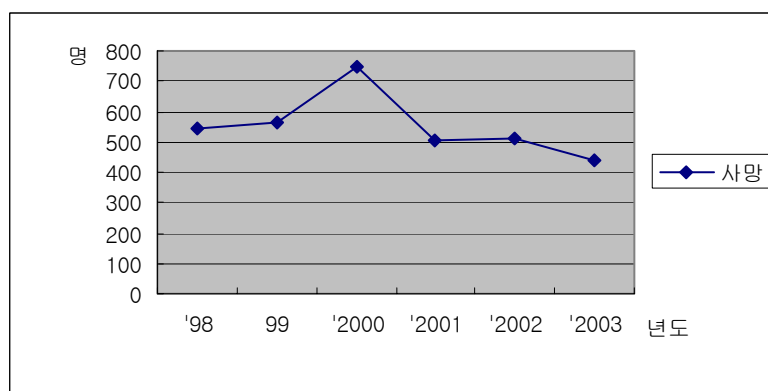
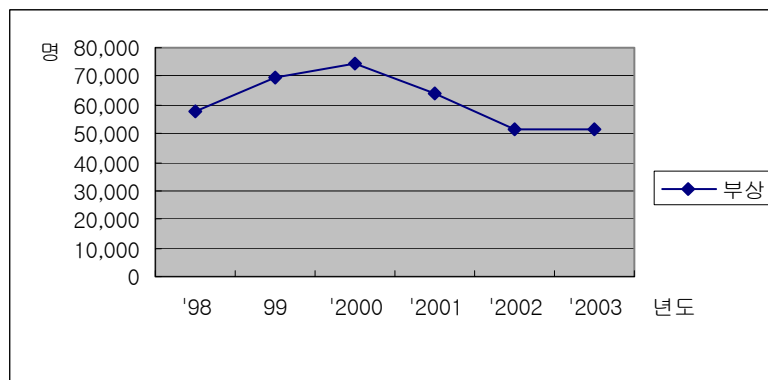
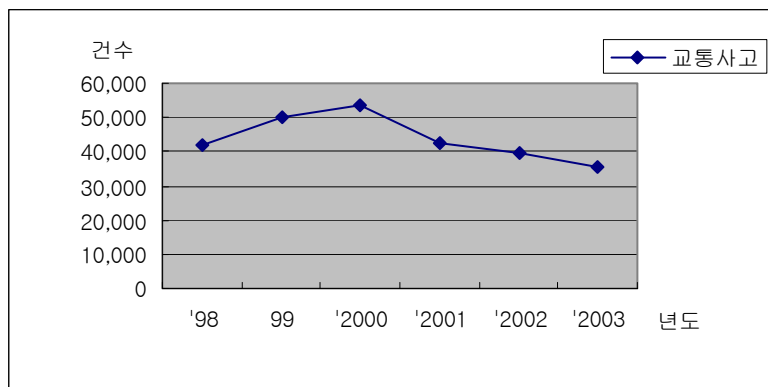
<그림 1-1> 서울시 교통혼잡비용 추이



※ 자료출처 : 승용차 도심통행속도, 서울특별시 교통국

<그림 1-2> 서울시 연도별 속도변화

- 서울의 교통사고 발생건수는 1998년 42,055건의 교통사고가 발생하여 점차 감소하여 2003년에는 35,347건의 발생현황을 나타냈다.
- 교통사고 사망자 숫자는 1998년 545명이 사망하여 점차 늘어나 2000년에는 745명이 사망하였으나 2000년 이후 점차 감소 추세를 보여 2003년에는 442명이 사망하였다.
- 그러나 2003년 기준 인구 10만 명당 교통사고 사망자수 4.3명은 선진외국의 약3배의 사망자 숫자를 나타내고 있는 실정이다.



※ 자료출처 : 교통사고발생현황, 서울특별시 교통국
 <그림 1-3> 서울시 연도별 교통사고, 부상, 사망 추이

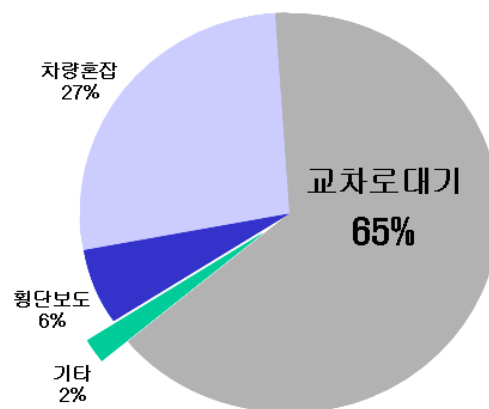
- 대도시 대기오염의 주요원인으로 작용하는 자동차 배출가스 비율은 특히 수도 서울은 그 심각성이 더해 전체 대기오염 중 자동차 배출가스로 인한 비율이 약 80%를 차지하여 환경을 중요시 하는 21세기에 커다란 사회적문제로 대두되고 있다.

□ 향후 자동차 증가추세는 계속될 전망이어서 서울의 교통문제는 점차 심각해질 것으로 예상되어 서울시 재정적 압박과 수도로서의 위상에 비추어 외국의 주요도시와 비교하여 경쟁력 약화로 이어질 것으로 우려됨

- 1997년 서울의 자동차 등록대수는 224만 8천대에서 매년 10만여 대가 증가하여 2003년에는 277만 여대로 증가하였고 2005년에는 서울의 자동차 등록대수는 300만대를 돌파 할 것으로 전망되어짐

□ 이러한 도시교통 문제점 중 교통시설물의 합리적 운영방안의 차원에서 교통신호 운영에 관한 새로운 접근방법으로 모색 되어야 한다고 여겨짐

- 서울의 정기속도 자료에 의하면 도심 정체의원인 중 약 70%가 차량이 교차로나 횡단보도에 정지, 대가하여 늘어난 대기시간으로 인한 정체로 조사 되어졌다.
- 따라서 도심 교통정체의 발생원인의 근본적인 해결책으로 과거 수십 년간 사용하던 기존의 교통신호 제어방법이나 제어전략을 탈피할 필요가 있다고 여겨짐



※자료출처 : 서울시 교통관리실 2000년 정기 속도조사 자료

<그림 1-4> 서울시 교차로 정체원인

1.2 연구목적

- 경제성과 효율성을 극대화 시킬 수 있는 교통신호제어 구축 목표
 - 본 연구의 목적은 도시교통 운영의 중요한 교통시설물의 하나인 교통신호 제어방법에서 교통신호최적화 계획 시 활용하는 제어변수인 신호주기(cycle), 현시(split), 현시방법, 연동값(off-set)을 산정하는데 있어서 기존의 방법을 탈피하여 새로운 접근방법으로 차량이 교차로나 횡단보도에 최대한 정지하지 않는 제어변수과정을 거쳐 이를 실제적으로 도로에 적용할 수 있는 가능성을 도출하고 대안을 제시함에 있다.
- 단편적이고 국부적인 신호제어의 설계, 운영, 유지보수의 전면적 재고
 - 기존의 교통신호 제어시스템의 전반적인 문제점을 분석하고 교통신호제어시스템 새로운 접근방법과 재정립의 기회를 제공하고자 함
- 서울시 시민들에게 보다 질 높은 교통서비스를 제공하여 시민 편익증진을 마련하고자 함
- 이를 위한 2가지 세부적인 연구목적은 다음과 같다.
 - **첫째:** 기존의 교통신호제어 최적화 방안 중 제어변수 결정과정의 문제점을 파악하고 이들 제어변수인 신호주기(cycle), 현시(split), 현시방법, 연동값(off-set)을 결정할 때 기존의 방식처럼 교통량이나 포화교통량을 계산하여 현시율과 현시방법을 정하고 현시분할을 거쳐 연동값(off-set)을 산출하고 있다.
 - 따라서 기존의 제어변수 산출방법은 차량을 양방향으로 연속으로 주행시킬 수 없는 산출 방법으로 본 연구에서는 이들 제어변수가 차량의 연속진행과 아주 밀접한 상호 연관성을 가지고 있다는 연구 결과를 분석하고 도출하고자 함
 - **둘째:** 도시 가로망에서 현재 일방향 또는 주요 축 중심의 연동화체계는 주요 축 위주의 소통 대책으로 이들 축과 연계된 부도로 축은 과다한 지체를 유발하나, 현재 교차로 특성상 양방향 최상의 연동값(best-off-set)을 산출 할 수 없는 한계에 대한 고찰과 최상의 연동값(best-off-set) 산출은 이들 제어변수
 - 결정과정 시 우선적으로 그 값이 도출된 후 신호최적화 절차를 거쳐야 한다는 연구결과를 도출함

1.3 주요 연구내용

- 기존의 수작업에 의한 신호제어변수 계산과정 분석
 - 교통수요와 포화교통량의 계산과정 분석
 - 현시율과 현시방법의 선택과정 분석
 - 신호주기 산출과정 분석
- 기존 최적화 프로그램의 모형분석
 - 지체도(Delay) 최소화모형 분석
 - 통과대 폭(Band-Width) 최대화 모형분석
 - 통합모형 분석
- 양방향연속진행 교통신호제어시스템(Progressive Signal Control System) 고찰
 - 기존의 최적화 프로그램 기법과 본 연구의 기법과의 효과척도 비교분석
 - 기존 최적화 프로그램인 TRANSYT-7F와의 모의실험 효과척도 비교분석
 - 두 기법과의 광역적 적용 모의실험 효과척도 비교분석
 - 연구할 기법과 기존 기법과의 현장실험 효과척도 비교분석
 - 연구할 기법과 기존 기법의 현장실험 효과척도 비교분석

1.4 연구범위

- 시간적 연구범위
 - 2005년 1월 3일~ 2005년 4월 2일
- 공간적 연구범위
 - 서울시 강남구 대치동 일부구간
 - 고양시 일부구간
 - 서울시 서초구 방배로측

제 2 장 기존 제어방법의 개요

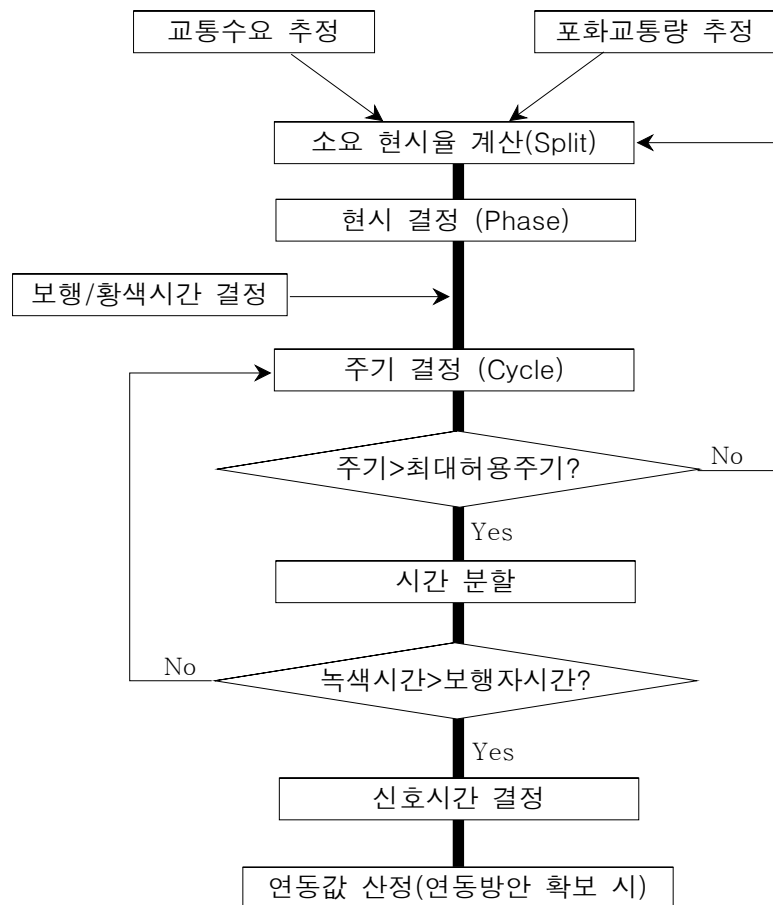
2.1 기존의 교통신호제어 변수의 최적화 방법

제2장 기존 제어방법의 개요

2.1 기존의 교통신호제어 변수 최적화방법

(1) 수작업에 의한 방법

(가) 신호제어변수 산정절차



<그림 2-1> 신호제어변수 산정절차

□ 포화교통량 계산

- <그림 2-1>과 같이 교통신호제어변수를 계산하는 과정은 먼저 교통수요와 포화교통량을 구한다.
- 교통수요는 일반적으로 교차로 각방향의 접근교통량을 측정하거나 설계교통량을 교통수요로 취한다.
- 이때 대형화물차나 버스 등은 승용차 환산계수를 적용한다.

- 교차로 각 방향별 이동류의 포화교통량은 차두시간과 출발지연시간을 이용하는데 교차로에 대기하였던 차량들이 녹색신호가 켜지면 정지선을 출발하여 교차로에 진입하는데 처음 몇 대는 출발지연시 발생하는데 우리나라 대도시의 교차로에서 조사한 바는 처음에 약 4대가 출발지연을 일으키고 그 후에는 일정한 차량간 간격(head-way)을 이루며 정지선을 통과한다고 하여 조사한 값에 의하면 출발지연시간은 2.3초 차두시간은 1.63초로 조사되었다.
- 따라서 $3,600\text{초}(1\text{시간})/1.63\text{초}=2,208\text{대}$, 즉 직진 한 차로 당 포화교통량은 2,200pcphg (Passenger Car Per Hour of Green)가 된다. 이는 신호등이 한 시간이 전부 녹색시간으로 되어있다면 차로 당 약 2,200대가 교차로를 통과한다는 이야기가 된다.
- 이는 아주 이상적인 도로의 교통상황을 적용한 것으로 현장에서 사용 할 때는 여기에 차로 수, 차로폭원, 구배 등의 기하구조와 버스나 대형차량비율, 좌, 우회전차량, 주차장, 버스정류장 등의 보정계수를 고려하여 보정한다.

□ 소요현시율과 현시방법 계산

- 현시율은 교차로 각 방향에 도착한 도착교통량이나 설계교통량을 포화교통량으로 나눈 값으로 포화교통량비 (V/C)라 한다.

□ 현시방법 결정

- 현시방법은 현재 교차로를 운영하는데 아주 중요한 변수로 이를 효과적으로 운영하는 것은 매우 중요하다.
- 현시방법의 결정은 위의 각 접근방향별 소요현시율의 합이 가장 적은 방법을 선택하는데 이는 신호주기를 짧게 하기 위함이다.

□ 신호주기 계산

- 신호주기(cycle)를 계산하는 방법은 임계차로의 교통량과 차두시간을 가정하여 신호주기를 계산하는 Green Shield 방식, 임계이동류 분석에 의한 방식 교차로에 도착교통량이 적을 경우에 적합한 Pignataro 방법, 등이 있으나 현재 가장 널리 이용하는 지체를 최소화하는 Webster방식의 식은 다음과 같다.

$$C = \frac{1.5L + 5}{1.0 - \sum_{i=1}^N Y_i} ,$$

여기서, C = 최적주기

L = 주기 당 사용하지 않는 시간(황색시간, All-Red시간)

Yi = 임계차로 교통량/포화교통량

N = 현시의 수

1.0 = 현시 당 평균손실시간

- Webster방식은 교차로 각 방향의 도착교통량을 전부 처리하기 위하기보다는 도착 교통량의 지체를 최소화하는 방식으로 v/s 비가 0.85~0.95에 적합한 방식으로 손실시간이나 포화교통 유율에 민감한 경향이 있다.

□ 연동값(off-set) 계산

- 두개 이상의 교차로를 물리적으로 연계하여 교통수요를 효과적으로 처리하는 연동화(coordination) 방법은 독립적으로 운영하는 교차로 운영방식에서 차량이 점차 많아짐에 따라 이들 차량군(Platoon)지체와 정지수를 최소화하고 교통흐름을 원활히 처리하기 위함이다.
- 따라서 연동값(off-set)은 교차로 교통흐름에 매우 중요하게 작용하여 최상의 연동값(Best-off-set)을 구하기는 현재는 대단히 어려운 일이다.
- 현재 연동값(off-set)을 설정 하는 데는 다양한 교통상황 패턴을 설정하고 그 패턴에 따라 연동값을 달리 적용하는 방법을 취하는데 한산패턴, 상행, 하행우선패턴, 양방향 혼잡패턴 등에서 적절한 교통상황에 따라 선택하여 사용하고 있다.

□ 이와 같은 일련의 절차를 거쳐 신호시간을 계획한다.

(2) 컴퓨터 프로그램을 이용한 방법

- 근래에는 발전된 컴퓨터 기법을 이용한 모의실험을 통해 신호최적화와 연동최적화화에 주로 사용하고 있다. 이러한 모형들은 크게 3가지 분류하는데 지체(Delay)를 최소화하는 모형, 통과대 폭(Band-Width)을 최대화하는 모형 그리고 이들 둘의 모형을 합친 통합모형이 있다.

(가) 지체(Delay)를 최소화하는 모형

- 대표적인 프로그램은 TRANSIT-(Traffic Network Study Tool)으로 TRANSIT은 1968년 미국의 도로교통연구소(TRRL: Transport and Road Research Laboratory)의 Robertson에 의해 개발되어 현재 7번째 버전인 TRANSYT-7F는 우리나라를 비롯하여 미국과 유럽 등 세계적으로 가장 널리 이용하고 있는 프로그램이다.
- off-set, split 등의 신호제어변수를 변경하거나 결정하기 위해 목적함수(PI: Performance-Index)를 반복적으로 수행하는 언덕오름기법(Hill-climbing)을 사용하여 신호최적화를 이룬다.

- 입력자료는 신호운영자료, Network구성자료, 교통량자료를 사용하며 현시방법은 프로그램 내부에서 최적화하지 못해 사전에 운영자가 지정을 해 줘야한다.

(나) 통과대 폭(Band-Width) 최대화 모형

- MAXBAND, MULTIBAND, PASSER-II, PASSER-IV, 등이 있다.
- 현재 우리나라에서는 지체도 최소화모형을 주로 사용하나 간선도로 교통량 처리를 위해서 통과대 폭 최대화모형을 사용해야 한다는 일부 학자들의 의견도 있으나 이들 모형은 부도로축의 과도한 지체를 유발한다는 단점이 있어 널리 이용하지 못하고 있는 실정이다.

(다) 통합모형

- AAPEX(Arterial Analysis Executive Package)
- AAPEX는 TRANSYT-7F와 PASSER-II의 전 처리 입력 자료로 사용하는 툴이나 지체를 최소화하거나 통과대 폭을 최대화 한다는 보장이 현재는 없는 실정이다

(3) 제어기의 종류와 기능

<표 2-1> 제어기 종류와 기능

종 류	주요기능	장/단 점
일반신호 제어기	<ul style="list-style-type: none"> - 정주기 (Pre-Timed Control) - 시간계획제어 (Time Of Day) - 연동제어 (Coordination) - 수동제어 (Manual Control) 	<ul style="list-style-type: none"> - 노후화되어 점차 사양화 - 연동화에 어려움 - 중앙에서 통제가 불가능 - 초창기 신호제어기
전자신호 제어기	<ul style="list-style-type: none"> - 정주기 (Pre-Timed Control) - 시간계획제어 (Time Of Day) - 연동제어 (Coordination) - 수동제어 (Manual Control) 	<ul style="list-style-type: none"> - 일반제어기의 모든 기능포함 - On-Line으로 센터와 통신 - 센터에서 교통상황 제어, 통제 - 검지기와 모뎀설치비용추가 - 검지기의 유지보수에 애로
첨단신호 제어기	<ul style="list-style-type: none"> - 정주기 (Pre-Timed Control) - 시간계획제어 (Time Of Day) - 연동제어 (Coordination) - 수동제어 (Manual Control) - 실시간제어 (Real-Time) 	<ul style="list-style-type: none"> - 교차로에 검지기를 매설하여 교통상황에 따라 실시간으로 대응 - 높은 구축비용 - 검지기의 수명, 유지보수비용

(4) 기존 제어방법

<표 2-2> 기존의 제어방법

구 분	운 영 방 법	문 제 점
일반신호 제어방법	<ul style="list-style-type: none"> - 초창기 교통신호제어방법으로 일부 소도시나 고립된 지역에서 운영되는 방법-인접교차로와 연계되지 않고 주로독립 교차로 운영 주로 횡단보도 신호운영에 사용되어 연동이 어려움 - 점차 사양화 되는 운영방식 	<ul style="list-style-type: none"> - 인근 교차로와 연동이 용이하지 않음 - 시각보정 장치가 없어 시간오차에 의한 연동값 변화로 연동화에 어려움 - 노후화된 기종으로 잦은 고장-전자 및 신 신호체계와 호환이 안 됨
전자신호 제어방법	<ul style="list-style-type: none"> - 교통여건이 비슷한 교차로나 횡단보도를 가로축 또는 지역별로 묶어 사전에 조사된 요일별 교통량에 따라 신호시간을 부여하는 방법 - 현재 서울을 비롯한 대도시에서 주축을 이루는 방법 - 각 제어기에 모뎀이나 무선 시보장치를 장착하여 운영하는 물리적 연동방식 	<ul style="list-style-type: none"> - 주요 축 위주의 설계로 인하여 부도로의 혼잡 초래 - 양방향 연속진행 불가능 - 네트워크 제어가 안 됨 - 수시로 신호 데이터 수정이 필요함
첨단신호 제어방법	<ul style="list-style-type: none"> - 교차로에 설치된 검지기를 이용하여 유입하는 교통량에 따라 신호주기, 녹색시간, 좌회전시간, 연동값 등을 실시간으로 대응하여 사용하는 방법 - 서울 강남지역과 울산, 제주, 수원, 전주 등 일부 지역에서 운영 중 - 1930년 영국에서 시작되어 1997년 우리나라에 도입되어 운영 중 	<ul style="list-style-type: none"> - 과포화 시 제어 효과 미약 - 양방향 연속진행 불가능 - 네트워크 제어가 안 됨 - 전자신호와 호환이 안 됨 - 잦은 검지기 고장 - 과도한 구축비용, 유지보수비용

(5) 기존의 연동화 방법

<표 2-3> 기존의 연동화 방법

방 식	주 요 기 능	장/단점
라디오 시보	<ul style="list-style-type: none"> -현재 일반적으로 사용되는 방식 -제어기에 내장된 라디오 무선 시보 장치를 통해 주파수를 이용 내부기준 시간을 일치시켜 제어기간 연동화 	<ul style="list-style-type: none"> - 설치가 간단하고 적은 비용 - 시각 보정 가능 - 시계고장, 오차가 큰 경우 보정이 불가능 - 년,월,일 보정 불가 - 주기적인 유지관리 - 점차 사양화
GPS 수신	<ul style="list-style-type: none"> - GPS 수신 - 전원만 공급되면 세계표준 시각을 6초에 1회씩 상시 수신 	<ul style="list-style-type: none"> - 디지털화 된 표준시간으로 정확한 시간설정 가능 - 라디오 방송보다 수신범위가 넓다 - 년,월,일,시각 보정 가능 - 비용이 다소 높음(90~100만)

제 3 장 양방향연속진행 교통신호 제어방법(PSCS)의 고찰

- 3.1 연구요약
- 3.2 서론
- 3.3 양방향연속진행 신호제어 방법(PSCS)의 개요
- 3.4 기법의 특징
- 3.5 신호 최적화 및 연동화 과정의 실제

제3장 양방향연속진행 교통신호 제어방법(PSCS)의 고찰

3.1 연구요약

□ 기존의 교통신호제어는 교통수요에 의해 신호제어요소의 파라메타가 결정되는 방안을 택하고 있는바, 이는 교차로에 접근하는 차량이 정지 또는 지체를 경험한다는 이론적 논리에 근거한다.

- 교통수요가 많은 도시부 교통망에서 차량의 빈번한 멈춤 현상은 더 많은 교통체증의 원인이 될 수 있으므로, 현재의 교통수요기반으로 결정되는 신호제어 방안보다 효율적으로 차량이 교차로를 통과하게 하는 새로운 발상이 절실하다.

□ 본 연구에서는 교통망에 진입한 차량이 목적지까지 연속하여 진행이 가능하다는 전제로 출발하였으며, 이 과정에서 차량군에 대한 재해석과 교통신호제어 방안에 대한 발상의 전환을 포함하고 있다. 본 연구에서 제안한 양방향 연속진행 제어개념은 신호주기와 구간 설정속도의 관계에서 연산되는 거리를 제어단위거리로 하여 양방향 CP를 통과한 차량이 무정차로 제어대상구간을 주행하도록 하는 논리적 일방통행 신호제어기법이다.

□ 이는 제어 대상구간 내의 교차로 및 횡단보도까지의 거리차이에 따라 교차로별로 다양한 현시 조합이 설계되며, 방향별 차량군과의 시간적 차이와 동일방향 차량군과의 공간적 차이를 이용하여 부도로의 차량군도 연속진행을 보장하도록 하여 통과폭과 진행대 길이를 최대화하는 것을 목적으로 개발되었다.

□ 본 개념의 검증을 위해 교통 시뮬레이션 모형인 NETSIM으로 다양한 교통여건을 모의 실험한 결과와 경기도 일산시 대화로축의 현장실험에서 도출된 효과는 제안된 신호제어 기법의 우수성을 검증하였다.

3.2 서론

□ 초창기 교통신호제어는 상충방지와 각 접근로의 통행의 우선권을 부여하는 방법의 일환으로 수행되었다. 당시는 교통량이 많지 않아 교통처리에 큰 무리는 없었으나 점차 도시의 규모가 커지며 교통량이 늘어남에 따라 교통신호제어 최적화 이론에 많은 연구와 기법들이 선보이게 되었다.

□ 교통신호제어의 원전으로 알려진 Webster의 “Traffic Signal Setting(1964)”은 그런 면에서 모든 교통 상황을 실험적으로 반영한 모델로 상당한 기간 교통신호제어 방법의 근간을 제공하고 있다.

□ 기존의 최적화이론에 입각한 교통신호제어 파라메타 결정방법은 교차로 각방향의 접근교통량을 조사하거나 설계교통량을 추정된 교통수요에 따라 현시와 현시방법, 현시길이, 신호주기 등의 제어변수를 결정하고 인근교차로와 연계하고자 적절한 연동값을 계산하는 방법을 취하여 왔다.

□ 즉 교차로에 접근한 교통량에 따라 제어변수를 결정하고 나중에 연동값을 계산하여 차량의 연속진행을 원천적으로 포기하고 신호최적화를 하였던 것이다.

□ 그러나 이런 방법들은 해당교차로 각 방향에서 접근하는 교통량을 처리하는 최적화 방법이 될 수는 있으

나, 신호시간 설계 계획 단계부터 교통류를 교차로에 정지하지 않고 연속으로 처리하되, 차량이 녹색시간에 최대한의 통과교통량으로 차량군을 유지하며 멀리 진행할 수 있는 이른바 연속진행 하는 진행대 길이를 최대화하는 방법은 아닌 것이다.

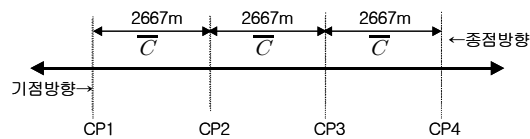
- 현재의 교통혼잡은 도로용량을 넘어선 자동차수로 인해 기인하겠지만 그보다 과도한 교차로 대기시간과 잦은 교차로 정지로 인해 차량이 교차로에 적체현상을 일으켜 통과교통량의 저하와 통행시간이 늘어나는 것이 가장 크다 할 수 있다.
- 이는 기존의 최적화 이론들이 전술한 바와 같이 녹색시간을 최대한 활용하는 통과교통량의 증대인 통과폭을 최대화하되 교차로 정지수를 줄이며, 양방향 연속진행이 가능케 하는 진행대의 길이를 최대화하여 지체와 정체를 최소화 하는 제어방법이 아니기 때문이다.
- 기존의 신호시간최적화 모형은 지체도 최소화 모형과 통과폭을 최대화하는 모형 그리고 이들 두 가지 모형을 결합하여 사용하는 통합모형이 있다.
- 지체도를 최소화하는 대표적인 모형으로는 우리나라를 비롯해 유럽과 미국 등 세계적으로 가장 널리 이용하는 TRANSYT-7F가 있으며 통과폭을 최대화하는 모형으로는 MAXBAND, MULTIBAND, PASSER-II, PASSER-IV, PASSER-II와 TRANSYT-7F를 통합하여 입력하여 사용하는 AAPEX(Arterial Analysis Executive Package) 등의 모형들이 있다.
- 이들 모형 역시 진행대 길이를 최대화 하는 차량의 연속진행을 보장하는 모형은 아니고 교차로 각 접근로 지체를 최소화하는 선에서 신호최적화와 연동효과를 보거나 일 방향 또는 주도로 위주의 연동화로 대향 방향이나 비연동방향, 또는 부도로 축의 과도한 지체를 유발한다.
- 근래에는 컴퓨터와 정보기술의 발달에 발맞추어 이들 off-line 최적화모형이 검지기와 센터를 연결하여 on-line화하여 변화하는 교통량에 따라 실시간으로 제어하는 감응식 교통신호제어로 변천해 나갔다. 이에 잘 알려진 SCOOT, SCAT과 같은 상용화된 도시교통관제시스템용 알고리즘이 대표적이다.
- 우리나라도 1997년 시범실시와 수차례의 기능개선을 거쳐 신 신호시스템이라는 명칭 하에 현재는 서울을 비롯해 국내 여러 도시에서 적용되고 있다.
- 이러한 감응식 교통신호제어이론은 대부분 on-line된 실시간(real time) 신호제어를 지향하여 시스템 구축에 적지 않은 예산이 투입되어 기존의 전통적인 정주기식 신호제어방식(TOD; Time of Day)과의 경제성 논리와 부딪히게 되며 과포화시 제어의 문제점과 시스템 운영효과에 대해서 아직까지도 많은 논란을 불러일으키고 있다.
- 본 연구에서는 교통수요에 따른 제어변수 결정방법이 아닌 사전설계형식에 의한 제어변수 결정과 교통수요조절 효과를 극대화하는 새로운 정주기식 연속진행교통신호제어 개념을 제안하였다.
- 기존의 교통수요변화에 대응하는 수동적 교통신호제어 전략에서 탈피하여 일정 도로구간에 대한 신호제어전략을 사전에 설정하는 방법을 취한다.
- 이 방법은 출발지에서 주어진 일정량의 교통수요를 무정차 연속교통류로 처리하여 멈춤 차량에 의한 교통정체를 경험하지 않도록 하는 능동적 신호제어전략이다.
- 이 방법의 주목할 만한 것은 주도로 양방향 교통류를 연속진행 하도록 보장될 뿐만 아니라 부도로 및 종도로의 양방향 교통류도 연속진행을 최대한 효율적으로 처리하여 전체 네트워크의 신호제어 효율을 극대화시키는 전략이다.

- 또한 출발지를 지나는 교통류가 교통망에 진입하는 순간 제어된 연속진행 차량군으로 전환되므로 전체적인 교통류를 안정시켜 교통사고를 감소하는 부수적인 효과도 매우 크다고 할 수 있다.
- 본 연구에서는 연속진행형 신호제어방법에 대한 상세한 내용과 서울시에서 교통체증이 심각한 지역을 선정하여 기존 신호방법과 비교한 모의실험결과와 경기도 일산시 가로 망에서 실시한 현장실험 결과를 포함하고 있다. 현장실험 결과 제안된 연속진행형 신호제어방법이 모든 평가항목에서 기존의 시스템 보다 매우 우수한 신호제어 방법임이 입증되었다.

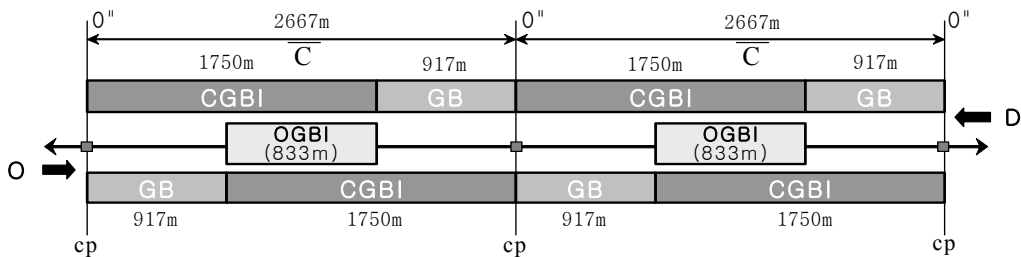
3.3 양방향연속진행 신호제어 방법(PSCS)의 개요

- 본 연구에서 제안하고 있는 양방향 연속진행 교통신호제어의 개념은 다음과 같다.
- 제어대상 도로구간의 설정은 제어대상구간에 적용되는 신호주기 동안 설정 주행속도로 주행하는 거리까지를 하나의 제어대상 단위구간으로 설정한다.
- 예를 들어, 160초 신호주기에 도심 주행속도가 60km/h라면 제어대상 단위구간은 2,667m가 되며 CP(Cycle Point)라 칭한다. 이 단위거리는 신호주기와 설정속도에 따라 달라질 수 있으며 도로축의 길이에 따라 다수로 구성된다.<그림 3-1>
- 이때, 주도로상의 각 CP(Cycle Point)가 연동값을 산정하는 기준시간이 되고 2,667m 진행된 지점이 다음 CP가 된다. CP의 위치선정은 제어대상 구간의 현시방법과 부도로 축의 분할값에 영향을 미치므로 CP의 위치를 선정하는 것은 본 제어방법의 효율성에 영향을 주는 매우 중요한 요소의 하나이다. 도로구간으로의 교통수요는 양방향 기,종점 CP에서 서로 발생된다고 보며, 이때, 교통수요의 크기는 주방향 직진 녹색신호시간에 의해 양방향 모두 동일한 수준으로 결정된다.
- 기점 CP에서 출발한 교통수요는 녹색시간 종료 시까지 제어대상 도로구간에서 차량군(Platoon)을 형성하며 주행하게 되는데 <그림 3-2>에서 GB(Green Band)에 해당된다.
- 예를 들어, 기점/종점 각 방향의 CP에서 0초에 설정된 속도 60km/h로 설정된 녹색시간 55초 동안 진행한다면, $55초 \times 60km/h = 917m$ 의 녹색시간대(차량군거리)가 각 방향에 형성되어, 대향녹색시간대(대향차량군간거리)의 간격과, 다음 신호주기에 형성되는 녹색시간대와의 간격이 <그림 3-2>와 같이 일정하게 형성된다.
- <그림 3-2>에서 대향방향 교통류는 160초 한 주기 동안 CP2에 도착하게 되고, 여기서 다시 직진 녹색신호시간을 부여받게 되어, 기점 방향에서 출발한 교통류의 차량군인 GB1과 동일한 GB2를 형성하게 된다. 이러한 상황에서 CGBI는 동일 진행방향의 차량군간의 거리이며, OGBI는 대향 차량군간의 차두거리이다.
- 이러한 개념을 이용하여 구체적인 도로구간의 기하구조와 교통상황을 반영하여 각 교차로에서의 신호제어 설계를 적용하게 되는데, 설계 OGBI(Opposing Green Band headway Interval:대향 차량군간 차두거리), CGBI(Cycle-length Green Band Interval:진행방향의 차량군간 거리)의 크기를 활용하여 부도로에서의 진입 교통처리를 위한 신호제어 설계와 진행방향 교차로 무정차 연속 진행을 위한 연동값 설계를 하는 개념이다.
- 양방향 연속진행 교통신호제어방법에서 적정 신호제어 변수 설정은 기존의 접근교통량에 의한 제어변수

산정방식이 아닌 결정형 제어변수 산출방식으로 설정속도와 신호주기가 결정됨에 따라 CP를 선정하고, 신호주기와 녹색시간에 의해 주도로와 부도로에서 진입교통량(교차도로 현시길이) 조절되며, CP 위치에 따라 좌회전 현시방법이 결정되고, CP와 교차로간 거리에 의한 연동값을 산출한다. 따라서 운영자가 교통상황, 도로 기하구조 등을 감안하여 교통수요를 제어, 계획 결정한다. 이러한 고정식 제어방법을 적용함으로써 종래의 상류·하류 교차로를 하나의 Pair로 인식하고, 교통량에 따라 제어변수를 산정하는 전통적 방법과 달리 제어 대상 도로구간에서의 양방향 교통류를 일방통행처럼 각기 별도의 이동류로 취급하면서 부도로 교통류와의 교차연동을 구현시켜 한정된 도로용량을 시공간적으로 최대한 이용할 수 있다.



<그림 3-1> 주도로축의 구간형성



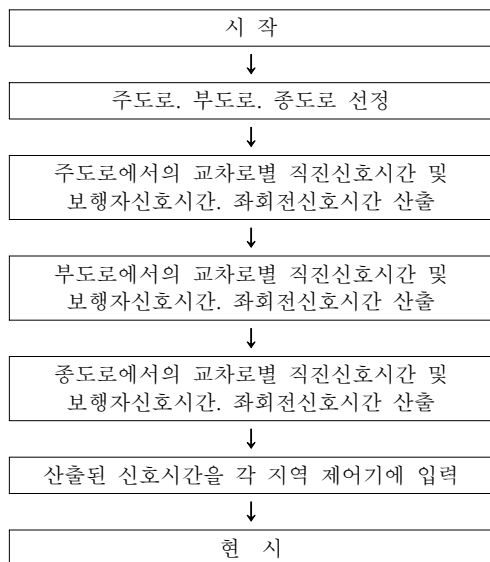
<그림 3-2> 차량군거리/ 차량군간거리/ 대향차량군간 차두거리의 형성

3.4 기법의 특징

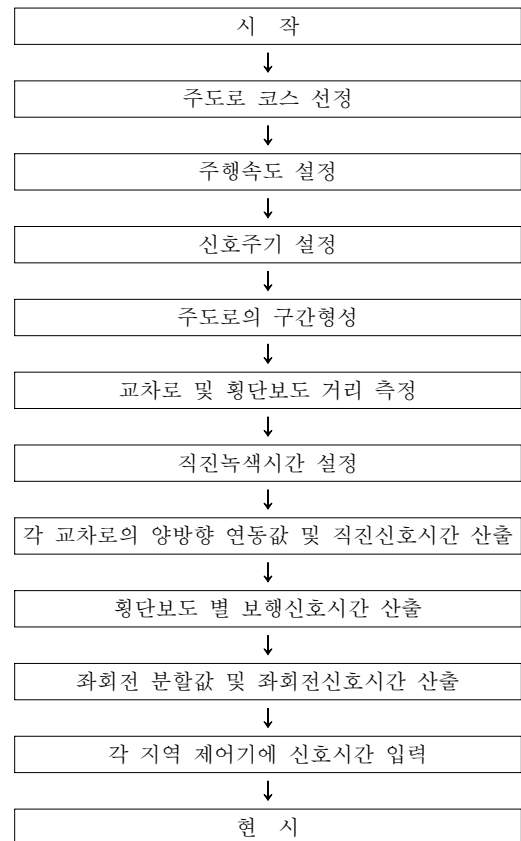
- 본 기법은 양방향 연속진행을 위해서 개발된 새로운 고정식 제어방식으로 이를 실현하기 위해서 다음과 같은 기법의 특징을 가진다.
- 첫째, 상류 및 하류 교차로를 하나의 pair로 인식하고 교통량에 따라 제어변수를 결정하고 연동값을 산정하는 전통적인 방법에서 탈피하여 주도로 양방향의 연속진행을 보장하고 교차하는 도로의 충분한 녹색시간을 확보하기 위한 새로운 시간·도로공간 개념의 도입을 근간으로 하고 있다.
- 둘째, 주도로의 과포화를 방지할 목적이라면 metering 기법과 유사하게 부도로나 종도로축의 녹색시간을 고정시킨다. 하지만 방향별 통과 교통량은 대부분의 교차로에서 차로당 최대 700 vphpl (4지 기준 2800 vphpl)를 유지하도록 보장한다.
- 마지막으로 주도로의 통과폭과 진행대 길이를 최대로 하면서 대상구간 내에서 양방향 모두 연속적으로 진행할 수 있게 하기 위해 방향별 지점별로 다소 차이가 나는 현시의 조합이 뒤따른다.

3.5 신호 최적화 및 연동화 과정의 실제

- 본 연속진행제어방법을 시행하기 위한 전체적인 과정은 <그림 3-3>의 흐름도와 같이 이루어지며 단계별 상세한 설명은 다음과 같다.
- 첫째, 교통량이 많은 주요 도로를 주도로로 선정하고, 주도로를 교차하는 도로를 부도로로, 부도로를 교차하는 도로를 종도로로 분류하여 각 도로축의 기점(Origin)과 종점(Destination)을 결정한다.



<그림 3-3> 데이터 산출과정의 전체 흐름도



<그림 3-4> 주도로의 형성과정 흐름도

- 둘째, 선정된 주도로 상에서 일정간격을 가지도록 구간점(Cycle Point : CP)을 형성하고, 각 구간점을 기준으로 교차로 및 횡단보도의 거리 및 폭을 측정하여 주도로 내에 있는 교차로별 직진신호시간 및 좌회전신호시간 및 보행시간을 산출하는 과정
- 셋째, 주도로를 교차하는 부도로의 분할값을 산출하고, 선정된 부도로 상에서 일정간격을 가지도록 구간점을 형성하고 각 구간점을 기준으로 교차로 및 횡단보도의 거리를 측정하여 부도로 내에 있는 교차로별 직진신호시간 및 좌회전 신호시간 및 보행신호시간을 산출하는 과정
- 넷째, 부도로를 교차하는 종도로의 분할값을 산출하고, 선정된 종도로 상에서 일정간격을 가지도록 구간점을 형성하고 각 구간점을 기준으로 교차로 및 횡단보도의 거리를 측정하여 종도로 내에 있는 각 교차로별 직진신호시간 및 좌회전 신호시간 및 보행신호시간을 산출하는 과정

□ 마지막으로 각 도로별로 산출된 교차로별 직진신호시간 및 좌회전 신호시간 및 보행 신호시간에 대한 데이터를 각 지역 신호등 제어기로 입력하는 과정으로 이루어진다.

(1) 주도로에 대한 신호시간 산정과정

□ 이상의 개략 과정을 단계별로 세분하고 <그림 3-4>와 같이 주도로에 대한 신호시간 산정과정을 상세히 설명하면 다음과 같다.

1) 먼저 교통량이 많은 주요 간선도로나 보조간선도로를 주도로로 선정 한다

2) 주행속도를 설정한다.

- 상기 주도로의 목표 주행속도는 현재 도심제한속도 중 60km/h로 정한다.

3) 신호주기를 산정한다.

- 대상지역의 교통신호 운영상황 및 교통상황을 고려하여 정하며, 신호 연동을 위해 공통주기를 사용한다. 제안하는 기법에서 신호주기와 녹색시간을 정하는 것은 external metering기법의 효과와 같이 교통수요를 제어하기 때문에 여기서는 현재 도심의 교통수요를 처리하기 위한 신호주기 120~180초 중 160초로 정한다.

4) 주도로의 구간점을 형성한다.

- 설정된 주행속도로 한 신호주기 동안 차량이 주행하면 $160 \times 60 \text{km/h} = 2667 \text{m}$ 의 신호주기거리가 생성된다. 한 신호주기마다 생성된 거리를 한 구간이라 칭하고, 그 점을 구간점(Cycle Point : CP)이라 칭한다. 이 구간점(Cycle Point : CP)은 단위구간 내에 존재하는 교차로의 연속진행 연동값을 산출하기 위한 기준점과 기준시간이 된다. 선정된 주도로의 첫 구간점을 임의의 기점으로 정하고 한 구간을 2667m씩 측량하면 <그림 3-1>과 같은 구간과 구간점이 형성된다.

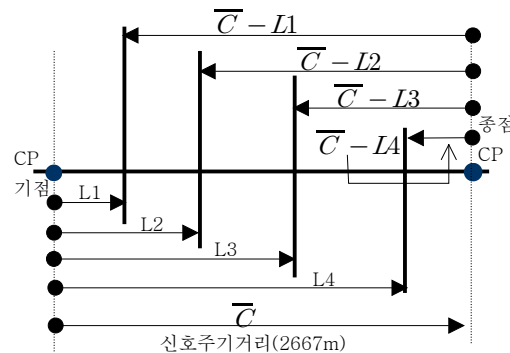
5) 교차로 및 횡단보도의 거리를 측정한다.

- 본 연속진행제어방법은 양방향 각각의 연속진행 연동값을 구해야 하므로 양방향의 링크거리를 측량해야 하지만, 대향방향의 링크거리는 측량하지 않고 기준방향의 CP를 기준으로 한 누적링크거리를 주기거리에서 뺀 값으로 대향방향의 링크거리로 취하게 된다. 따라서 <그림 3-1>에서 설정된 다수의 구간점을 기준점으로 하여 기점이나 종점 중 한 방향을 기준방향으로 정한 후, <그림 3-5>와 같이 각 구간내에 존재하는 교차로의 링크거리를 측량한다. 기준방향의 CP에서 교차로까지의 거리를 링크거리(L)로 측정하고, 측정된 기준방향의 링크거리

를 주기거리 (\overline{C})에서 뺀 값이 대향방향의 링크거리가 된다. 따라서 양방향 링크거리의 합은 주기거리와 같다.

6) 주도로의 직진녹색시간을 설정한다.(통과폭 설정)

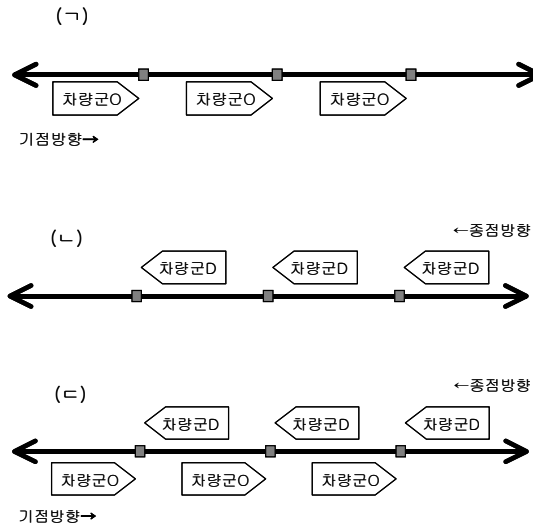
- 주도로측의 직진녹색시간은 각 교차로마다 일정한 교통량이 유입되도록 하기 위해 각 도로의 기점방향과 종점방향 동일한 녹색시간을 적용하되 도로의 여건에 따라 적절한 녹색시간으로 조절할 수 있다. 같은 녹색시간에 일정한 간격(신호주기)을 두고 차량을 진행시키되 차량들이 설정된 속도로 정속 주행하게 되면 어느 정도 일정한 차간거리가 유지된다.



<그림 3-5> 교차로 링크거리의 측량방법

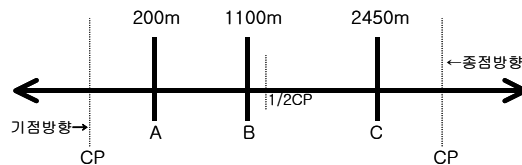
- 이때 중요한 것은 운전자들이 설정된 속도로 주행하느냐가 최대의 관건인데 정속 주행할 때에만 전방의 신호등이 차례로 등화 되어 과속운행을 하지 않아도 연속주행이 가능하다는 것을 인지한다면 정속주행이 가능하여 같은 녹색시간에 의해 어느 정도 일정한 volume의 차량군이 형성될 것이며, 같은 신호주기에 의해 첫 번째 신호주기의 차량군(Platoon)과 다음 신호주기에서의 차량군간 거리가 일정하게 형성될 것이다.
- 그러나 주도로 상류교차로에서 좌회전을 금지시켜 좌회전 차량들이 하류교차로로 유입되어 늘어난 차량군이 상류교차로 교차도로에서 좌, 우회전으로 유입되어 하류교차로에 대기하고 있던 대기차량군과 합쳐져 전제 대기차량군이 교차로를 지날 때마다 차량군의 길이가 점차 늘어나 차량군 형성 자체가 불가능한 것이 현재의 교통상황이다.
- 본 제어방법에서는 이런 현상을 방지하고자 주도로의 차량군이 늘어나는 현상인 부도로측의 좌, 우회전 유입량을 일정량으로 제어하고 주도로상의 원활한 좌회전처리 방법을 사용한다.
- 이러한 연속진행 상황을 기점방향의 CP에서 보았다면 아래의 <그림 3-6 (ㄱ)>과 같은 통과형태가 될 것이며, 대향방향인 종점방향 또한 똑 같은 설정을 적용했다면 <그림 3-6 (ㄴ)>과 같은 통과형태가 될 것이다. 또 이러한 연속진행상황을 CP에서 기점과 종점 차량군이 만나는

시간대에 보았다면 <그림 3-6(c)>과 같은 통과형태가 될 것이다.(시점이 다른 곳은 다른 통과형태로 나타남)



<그림 3-6> CP에서의 연속진행상황

- 이러한 거리공백기간(OGBI, CGBI)인 시차를 이용하여 주도로의 직진차량이 대향방향의 좌회전차량에 방해받지 않고 연속진행이 가능하고, 주도로의 좌회전차량의 통행도 대향방향의 직진차량에 방해받지 않고 원활히 이루어지게 되며, 교차도로의 연동도 이루어지게 된다.
- 본 제어방법의 신호시간은 일방통행처럼 진행방향이나 대향방향이 각각 다른 신호시간을 가지게 된다. 각 교차로마다 다른 신호시간에 차량군이 각 접근로에 도달하려면 연동기준값 (O_{tp} =Offset Point ; 연속진행 값을 산출하기 위한 기준시간), 즉 각방향의 구간점(CP)을 통과하는 시간을 동일하게 설정해야 해당 교차로에 도달하는 시차가 발생하게 된다.
- 여기서 구간점이란 단위(신호주기거리)별로 분할한 가상의 점으로서 연속진행 할 수 있는 신호시간을 산출하는 기준이 되는 지점이며, 각 방향의 구간점을 동일한 속도(설정속도)로 동일한 시간에 통과한다는 전제 하에 각 교차로의 방향별 신호시간을 산출하게 된다.



<그림 3-7> 연동예제

- 주도로의 기점과 종점 양방향 구간점을 각 방향의 차량군이 동일한 시간인 0초에 통과한다고 할 때, <그림 3-7>예제에서 교차로 A나 B, C에 기점방향 차량군이 도착하는 시간이 각

각 다르다. 교차로에 유입된 교통류를 진행방향과 대향방향에서 동시에 출발하게 하는 현재의 신호제어방식과는 다르게 구간점(CP)의 위치에 따라 양방향 교통류의 녹색시간이 서로 다른 시간에 현시되는 분리신호를 적용하는 것이 본 제어방법의 가장 큰 특징이다.

7) 각 교차로의 방향별 연속진행 신호시간 산출

□ (각 교차로의 기점 방향과 대향방향의 두 개의 연동값의 산출)

- 앞에서 설명한 이론을 기본으로 차량이 교차로에 정지하지 않고 연속진행 할 수 있는 신호시간을 산출해 준다. 주도로의 연속진행 신호시간 산정의 기준이 되는 각 CP의 연동 기준값 (O_{t_p}), 즉 연동기준점의 통과시간을 양방향 모두 동일한 시간(실시 예로 00'00")으로 설정한다. 이 CP를 기준으로 각 교차로의 연속진행 신호시간을 산출하게 된다.
- 연동값은 각 제어기내 시계의 오차 보정과, 선실시지역과 후실시지역과의 연계 시 시차가 없도록 하기 위해 표준시간에 맞도록 적용한다. 이러한 개념을 전제로 본 연속진행시스템이 적용하는 연속진행 값 산정을 정리하면 다음과 같다.

□ 주도로 교차로 위치별, 방향별 연속진행값 (연동값) 산출 식------(식 1)

$$\textcircled{A} \text{기점방향} ; O_{t_o} = \frac{L}{v}$$

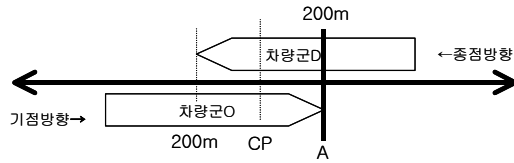
$$\textcircled{B} \text{종점방향} ; O_{t_d} = \frac{\overline{C} - L}{v}$$

$$\begin{aligned} \text{여기서, } O_{t_o} &= \text{기점방향연동값(offset origine)} \\ O_{t_d} &= \text{종점방향연동값(offset destination)} \\ L &= \text{링크거리} \\ \frac{v}{C} &= \text{설정속도}(60km/h) \\ C &= \text{신호주기거리}(2667m) \end{aligned}$$

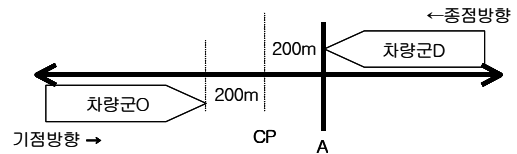
□ (식1)의 산출 예제1 (기점 CP에서 200m 교차로A)

- 위의 <그림 3-7>의 연속진행 기준시간(CP를 통과하는 시간)을 0초로 설정하고 CP에서 200m에 위치한 교차로A의 연속진행 신호시간을 산출하면, 기점방향은 \textcircled{A} 식을 적용하여 $O_{t_o} = \frac{200}{60km/h} = 12$ 이므로 교차로 A의 연동값은 12가되며 녹색시간은 12+55(주도로녹색시간)=67 이므로 이들 숫자를 실제 우리가 사용하는 시간에 맞추면 00:12~01:07초까지 녹색시간이 현시된다.
- 종점방향은 \textcircled{B} 식을 적용하여 $O_{t_d} = \frac{2667-200}{60km/h} = 148$ 이므로 교차로A의 종점방향 연동값은 148 이 되는데 교차로A의 제어기에 연동값으로 입력할 때는 기점방향을 기준으로 입력한다면 12를 입력하고 종점방향으로 입력한다면 148을 입력한다. 녹색시간은 148+55(주도로녹색시

간)=203 이므로 148과 203을 실제 사용하는 시간에 맞추면 02:28초~03:23초까지 녹색시간이 현시된다. 그런데 여기서 기점방향의 녹색시간이 종료되는 시간이 01:07초인데 종점방향의 녹색시간 시작시간은 02:28초이므로 두 방향의 시간차이(gap)가 많이 난다.



<그림 3-8> 예제 1

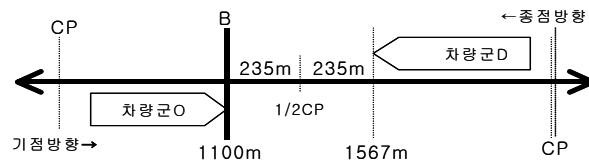


<그림 3-9> 예제 2

- 이는 <그림 3-8>에서 보듯이 기점방향의 차량군이 200m에 도착하였을 때에는 종점방향의 이전 주기에서 출발한 차량군은 이미 교차로를 통과하는 중이라 CP에서 200m에 위치한 교차로에서 본다면 <그림 3-9>처럼 종점방향의 차량군이 먼저 도착하고 기점방향의 차량군은 CP에서 400m 후방에서 진행 중인 상태가 된다.
- 그러므로 종점방향의 신호시간은 $148-160(\text{신호주기}) \sim 203-160(\text{신호주기})=-12\sim 43$ 이므로 이를 우리가 사용하는 실제시간에 맞추되 00:00초를 어느 특정시간의 정각시간(예를 들면 12시 정각) 이라고 한다면 종점방향의 실제적용 신호시간은 11시 59분 48초로 11시는 생략하고 59분48초~00:43초까지 녹색시간이 현시된다.

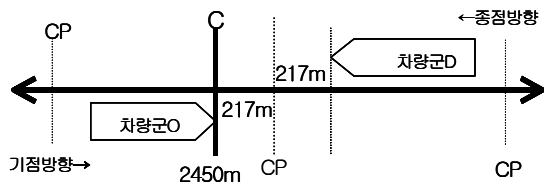
□ (식1)의 산출 예제2 (기점 CP에서 1100m 교차로B)

- <그림3-7>의 기점방향 1100m에 위치한 교차로B의 기점방향 신호시간은 $O_{t_o} = \frac{1100}{60\text{km/h}} = 66$, 따라서 기점방향의 연동값은 66이 되며 기점방향 신호시간은 $66+55\text{초}(\text{녹색시간})=121$ 이므로 이를 실제 적용하는 신호시간으로 바꾸면 기점방향의 녹색시간은 01:06초~02:01초 까지 현시되며, 종점방향 산출식은 $O_{t_d} = \frac{2667-1100}{60\text{km/h}} = 94$ 가되어 이를 신호시간으로 계산하면 $94+55=149$ 이므로 실제 적용한 종점방향 녹색시간은 01:34초~02:29초까지 현시된다.

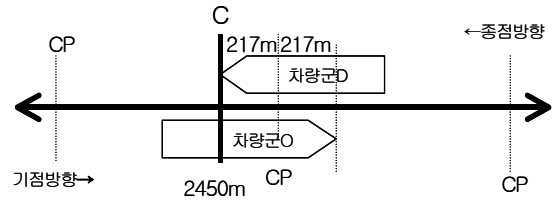


<그림 3-10> 예제 3

□ (식1)의 산출 예제4 (기점 CP에서 2450m 교차로C)



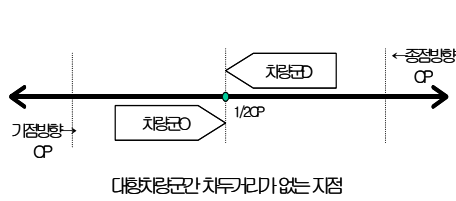
<그림 3-11> 예제 4



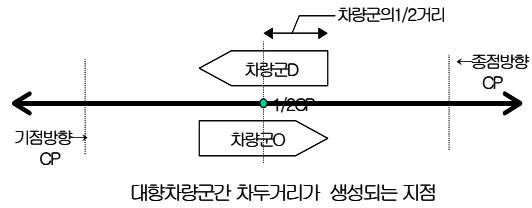
<그림 3-12> 예제 5

- <그림 3-7>의 기점방향 2450m에 위치한 교차로C의 신호시간은 산출식(ㄱ)을 적용 $Ot_o = \frac{2450}{60km/h} = 147$ 이므로 연동값은 147이 되며 신호시간은 147+55(녹색시간)=202, 이를 실제적용 신호시간으로 하면 02:27초~03:22초까지 녹색시간이 현시된다. 그런데 <그림 3-11, 12>와 같이 여기서도 200m에 위치한 교차로처럼 2450m의 위치에서 본다면 기점방향의 차량이 먼저 도착하므로 위의 신호시간에서 이전주기에서 출발한 시간인 신호주기 160초를 빼면 $(147-160) \sim (202-160) = -13 \sim 42$ 가 되므로 이를 실제시간으로 맞추면 59:47초~00:42초까지 55초간 녹색시간을 현시하며 이 위치에 있는 종점방향의 신호시간은 산출은 $Ot_d = \frac{2667-2450}{60km/h} = 13$ 이 되어 신호시간은 13+55=68, 따라서 종점방향 실제 적용 신호시간은 00:13초~01:06초까지 55초간 주도로 녹색시간이 현시된다.
- 이처럼 기점방향과 종점방향과의 신호가 서로 다른 시간에 분리되어 현시되고 양방향의 직진 차량은 설정된 속도로 주행하면 교차로에 정지하지 않고 연속으로 주행하며 차량군이 해당 교차로에 진입할 때 녹색시간이 현시되어 녹색시간을 최대한 활용하여 통과폭을 최대화하고 연속주행으로 진행대 길이를 최대화하여 자연 교차로정체나 지체를 대폭 감소시킨다.
- 또한 운전자들은 연속주행으로 과속의 필요성을 못 느껴 과속으로 인한 각종사고를 방지할 수 있다.
- 본 제어방법을 이루는 기본요소는 차량군거리(GB)와 차량군간거리(CGBI), 대향차량군간의 차두거리(OBGI) 등의 공백기간 동안 양방향에 시차가 생성되어 이를 이용한 교차도로인 부도로축(하위도로)의 연속주행도 이루어지게 되며, 다수의 구간 연결이 하나의 도로축(network)을 형성하게 된다.
- 위에서 주도로의 몇 가지 예제를 든 경우는 기점방향과 종점방향에 차두거리가 형성되지만 CP와 1/2CP구간은 대향차량군간 차두거리가 0이 되는 지점이다. <그림 3-13>과 같이 각 방향의 CP를 동일한 시간인 00:00초에 동일한 속도인 60km/h로 진행한다면 기점방향의 차량군은 $Ot_o = \frac{1335}{60km/h} = 80$ 따라서 01:20초에 1/2CP 지점에 도착하고, 종점방향의 차량군은 $Ot_d = \frac{2667-1335}{60km/h} = 80$ 으로 1/2CP에서는 양방향의 차량군이 만나게 되므로 대향차량군간의 차두

거리가 0이 되는 지점이 된다.

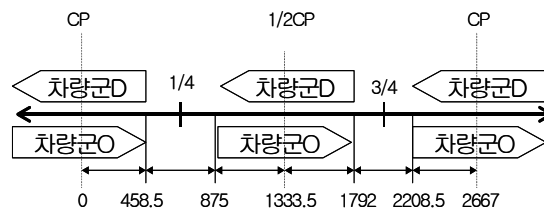


<그림 3-13> 예제 6



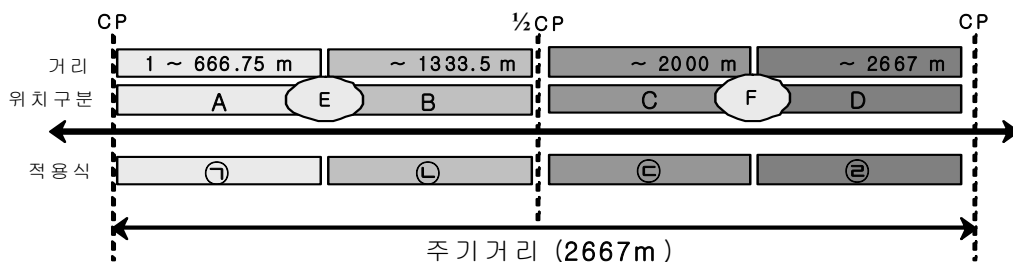
<그림 3-14> 예제 7

- 이때부터 차량군이 계속 진행하면 차량군이 중첩되면서 차량군간 차두거리가 발생하지 않게 되고 <그림 3-14>와 같이 차량군의 $\frac{1}{2}$ 이 통과한 이후 지점에서부터 대향 차량군간 차두거리가 발생하게 된다. 이러한 진행상황이 한 신호주기가 지나면 각 방향의 CP에서 다음주기의 차량군과 다시 마주치게 되므로 이 지점 이후부터 다시 차량군간 차두거리가 발생하지 않게 되어 <그림 3-15>와 같은 위치에서도 대향차량군간 차두거리가 발생하지 않게 된다.



<그림 3-15> 예제 8

- 이렇게 한 주기 내에서 대향차량군간 차두거리가 발생하지 않는 범위는 CP와 $\frac{1}{2}$ CP를 전후로 차량군거리의 $\frac{1}{2}$ 이 되는 거리가 되며, 주기거리의 $\frac{1}{4}$ 과 $\frac{3}{4}$ 지점을 분기점으로 하여 차량군간의 거리가 생성되고 다시 소멸되므로 산출식을 4가지로 구분하게 된다.
- 이를 구분하여 각각 적용되는 식을 정리하면 <그림 3-16>과 같으며 $\frac{1}{4}$ 과 $\frac{3}{4}$ 지점의 전후(E, F 구역)는 기점방향 차량군이 통과한 후 1회, 중점방향 차량군이 통과한 후 1회 등 한 주기에 2회의 분할값(부도로 통과 가능 시간)이 산출되는 구역이다.



<그림 3-16> 위치에 따른 적용식

8) 보행신호시간 산출

- 각 구간 내에 존재하는 독립횡단보도의 보행자 신호시간은 주도로의 한 방향 또는 양방향 차량군이 통과하기 전/후에 보행이 시작되어 다음 차량군이 진행하기 전에 종료되도록 설정해야 주 차량군이 정지하지 않고 횡단보도를 통과할 수 있으며 보행자 또한 차량군과 상충되지 않고 안전하게 보행할 수 있다. 본 제어방법에서의 보행시간은 차량군이 통과한 후 현시되므로 충분한 보행시간과 상충요소를 제거하여 안전한 보행권을 확보할 수 있다.

9)주도로의 각 교차로별 좌회전 분할값(Allotment -Left Turn) 및 신호시간을 산출한다.

- 좌회전 분할값 (A_{LT})이란 진행방향이나 대향 직진차량을 정지시키지 않고 좌회전차량을 통과시킬 수 있는 시간을 배정한 값이다. 직진주행 차량을 정지시키지 않고 좌회전 차량을 통과시키는 방법은 각 방향의 GB내에 진입한 대향차량군간의 차두거리를 이용하여 이루어지게 된다.
 - 본 시스템에서의 차량군은 각 방향이 서로 분리된 신호를 적용하므로 대향차량군간의 차두거리가 형성되어 교차로의 위치별로 항상 일정한 거리공백을 가지게 되며 그 공백의 시간만큼 양방향 서로 같은 값의 좌회전시간이 분할된다. 이러한 좌회전 분할값은 교차로 위치별로 그 거리를 산출하여 시간으로 환산한 값을 구하며, 교차로의 위치에 따라 <그림 3-16>과 같이 4가지로 분류되어 해당 식을 각각 적용하여 산출하게 된다.
 - 이중 교차로의 위치가 각 구간의 1/4지점에 위치하는 경우가 있다면, 최대한 이 지점을 피하도록 구간점을 좌우로 조절하거나, 1/4지점을 횡단보도나 지하차로 또는 고가차로가 있는 교차로에 위치하도록 조절한다. 이 1/4지점은 본 시스템의 주요 요소인 대향차량군간의 거리공백이 가장 짧은 지점이기 때문에 이 위치를 지나는 교차도로의 통과시간 값이 최소값이 산출되므로 구간점(CP)을 조절하여 이를 피할 수 있다.

□ 좌회전 분할 값 산출 식 ----- (식 3)

- 1구간의 1/4구간 내에 위치한 교차로에 적용

$$\textcircled{1} A_{LT} = \frac{2L}{v} - y$$

- 1구간의 2/4구간 내에 위치한 교차로에 적용

$$\textcircled{1} A_{LT} = \frac{\overline{C} - 2L}{v} - y$$

- 1구간의 3/4구간 내에 위치한 교차로에 적용

$$\ominus A_{LT} = \frac{\overline{C} - 2(\overline{C} - L)}{v} - y$$

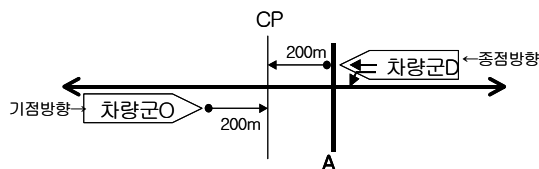
- 1구간의 4/4구간 내에 위치한 교차로에 적용

$$\ominus A_{LT} = \frac{2(\overline{C} - L)}{v} - y$$

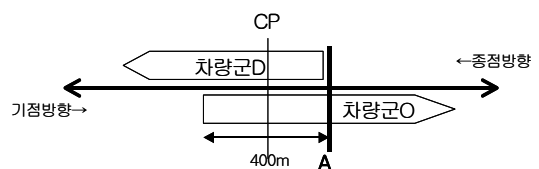
여기서, A_{LT} = 좌회전분할값
 L = 링크거리
 C = 신호주기거리(2667m)
 v = 설정속도(60kph)
 y = 황색시간(3초)
 2 = 양방향

□ (식3-㉑)의 적용 예제(기점 CP 200m 교차로)

- 기점 CP에서 1/4구간인 200m지점에 교차로가 있다고 할 때 기, 종점 양방향 CP를 동일한 시간(예 00:00초)에 통과한 기점방향 차량군과 종점방향 차량군중 기점방향을 차량군은 00:12초에 200m에 있는 교차로에 먼저 도착하고 종점방향을 차량군은 02:28에 도착하나 위의 주도로에서 설명하였듯이 종점방향을 이전주기 차량군이 57:20초에 출발하여 200m지점에 도착하는 시간은 59:48초에 <그림 3-17>과 같이 도착하여 진행 중이다.
- 이때 기점방향을 차량군은 기점 CP 후방 200m 위치한 곳에 있으므로 종점방향을 좌회전 차량들은 식㉑을 적용하여 $2(200)/16.66 - 3 = 21$ 즉, 기점방향을 차량들이 오기까지의 거리 400m를 60km/h로 계산한 24초를 좌회전을 할 수 있으나 황색시간 3초를 빼면 21초를 종점방향 직진차량군과 동시에 좌회전을 하다가 기점방향 직진차량군이 도착하면 좌회전은 종료하고 직진차량은 55초간 진행 시킨다. 반대로 기점방향 좌회전 차량들은 <그림 3-18>의 직진차량들과 같이 도착하여 직진차량들은 진행을 하고 대향방향을 종점방향을 직진차량이 전부 교차로를 통과한 후 3초(황색시간)후에 좌회전을 기점방향 직진방향차량들이 끝나는 시간까지인 21초를 좌회전을 시킬 수 있다



<그림 3-17> 예제 9



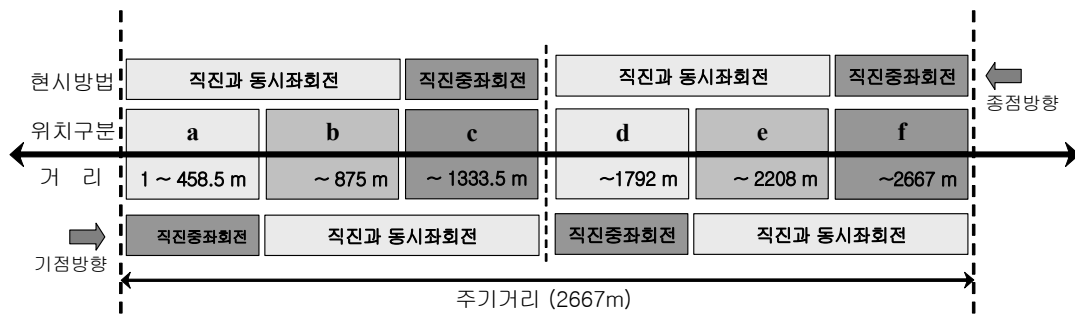
<그림 3-18> 예제 10

- 이렇게 <그림 3-17,18>에서와 같이 1/4구간 내에 위치한 기점방향 좌회전 차량들은 직진차량들과 '직진중 좌회전'을 하고 반대로 종점방향 좌회전 차량들은 직진차량들과 동시에 좌회

전을 하다 종료시키는 '동시좌회전'을 한다. 또한 양방향의 좌회전 시간은 동일하다.

□ (식3-㉔)의 적용 예제(기점 CP 1100m 교차로)

- 기점 CP에서 2/4 구간인 1100m지점에 교차로가 있다고 할 때 기, 종점 양방향 CP를 동일한 시간(예00:00초)에 통과한 차량군은 주도로의 기점방향의 차량군이 먼저 도착한다. 이때 대향방향인 종점방향 차량들은 기점 CP에서 1567m에 위치한 곳에 도착하여 식㉔을 적용하여 $2667 - 2(1100) = 467\text{m}$ 이를 시간으로 환산하면 $467 / 16.66 = 28\text{초}$, 기점방향이 먼저 도착하므로 28초에서 황색신호 3초를 제한 25초를 종점방향의 차량들이 오기까지 직진과 동시에 좌회전을 하다가 종점방향의 직진차량이 도착하면 종료시킨다.
- 반대로 종점방향 차량들은 기점방향의 좌회전 차량이 전부 소거되는 시간에 도착하여 직진차량은 교차로를 통과하다 기점방향의 직진차량이 전부 통과한 3초 후부터 종점방향 직진이 끝나는 시간까지인 25초를 좌회전을 줄 수 있다.



<그림 3-19> 위치별 방향별 좌회전 현시방법

- 본 제어방법에서는 좌회전 현시방법이 <그림 3-19>와 같이 ㉔구간은 기점방향은 200m의 예에서 보듯이 직진중좌회전을 하고 종점방향은 직진과 동시좌회전을 시키는 over-lap을 사용하고 ㉕구간과 ㉖구간에서는 반대로 기점방향이 직진과 동시좌회전을 하고 종점방향의 좌회전은 직진중좌회전을 시킨다. 그리고 1/2 CP를 지나고 나면 다시 원래의 현시방법으로 돌아간다.
- 또한 기점과 종점의 두 방향의 좌회전시간은 항상 일정하게 나타나지만 교차로특성이나 교통량에 따라 좌회전시간을 차이를 두고 현시할 수도 있다.
- 구간점이나 반구간점에 위치한 교차로는 양방향의 차량군이 서로 만나는 지점으로 대향차량 간 차두거리가 없으므로 좌회전 분할값이 '0'이 산출되는 지점으로 기, 종점 차량군 선두가 동시에 마주치는 지점이다. 따라서 이 지점의 좌회전 현시방법은 도착한 양방향의 차량군을 모두 통과시키고 소거시간 이후부터 부도로(하위도로)의 주행이 시작되는데 부도로의 분할값

은 상대적으로 최대값이 산출되어 시간이 남게 되므로 부도로가 필요로 하는 녹색시간과 좌회전 황색시간 등을 부도로의 분할값에서 뺀 나머지 시간을 재분할 받아 좌회전 값으로 사용하게 되는데 지금 우리나라에서 사용하는 분리좌회전 현시방법을 사용한다.

- 이렇게 본 제어방법에서는 좌회전 현시방법을 한 CP 구간에서 교차로 위치와 진행방향에 따라 중첩현시(over-lap)의 두 가지 방법과 분리좌회전방법 등 세 가지 현시방법을 사용하며 전체도로에서도 동일한 방법을 사용하며 위치와 방향별 좌회전현시방법을 정리하면 <그림 3-19>와 같다.
- 이러한 과정으로 산정한 1구간내의 위치별, 방향별 좌회전 분할값을 정리해 보면 산출된 값이 교차로의 위치에 따라 6가지로 분류되는 것을 알 수 있다. 산출된 좌회전 분할값이 없거나 짧은 경우 하위도로의 통과시간 분할값에서 남은 시간을 재분할 받아 적용하게 된다.
- 또한 산출된 좌회전 분할값이 해당도로의 직진녹색시간을 초과하는 경우는 직진녹색시간 까지만 각 방향의 녹색신호시간과 동일하게 적용하고 나머지 시간은 하위도로의 통과값으로 돌려준다.
- 이로서 본 제어방법에서 주도로 차량군은 교차로 및 횡단보도에 정지하지 않고 양방향 모두 연속주행이 이루어지므로 똑같은 주행시간으로도 차량이 정지했다 출발하는 경우보다 통과처리능력과 평균통행속도가 향상되어 기존의 통과폭(Band-Width) 모형보다 통과폭이 넓을 뿐만 아니라 교차로에 정지하지 않고 연속주행으로 정체와 지체가 해소돼 기존의 지체도 최소화 모형보다 우수하며 기존모형에서는 찾아볼 수 없는 연속진행 할 수 있는 진행대 길이를 최대화 한다.
- 따라서 한정된 기존 도로의 효율을 증대할 수 있으며 또한 좌회전 현시방법을 교차로 위치와 진행방향에 따라 정해주되 충분한 시간이 보장되고 기, 종점 방향의 차량들과 상충되지 않고 처리할 수 있다.

<표 3-1> 좌회전 분할값 환산표1

교차로 거리(m)	교차로폭 (m)	산 출 식			좌회전 분할값 (초)	현 시 방 법		적용식	비 고
		거 리(m)	교차로폭 (m)	속 도		기점 방향	종점 방향		
1	w	$(1+w) \times 2$	- w	\div 60km/h	0	양방향 동시		㉠	▲
50		$(50+w) \times 2$			6	직진중	동시	"	•
100		$(100+w) \times 2$			12	"	"	"	•
150		$(150+w) \times 2$			18	"	"	"	•
200		$(200+w) \times 2$			24	"	"	"	•
250		$(250+w) \times 2$			30	"	"	"	•
300		$(300+w) \times 2$			36	"	"	"	•
350		$(350+w) \times 2$			42	"	"	"	•
400		$(400+w) \times 2$			48	"	"	"	•
450		$(450+w) \times 2$			54	"	"	"	•
458.5		$(458.5+w) \times 2$			55	"	"	"	•
500		$(500+w) \times 2$			60	동시	"	㉡	○
550		$(550+w) \times 2$			66	"	"	"	○
600		$(600+w) \times 2$			72	"	"	"	○
650		$(650+w) \times 2$			78	"	"	"	○
667.5		$(667.5+w) \times 2$			80	"	"	"	○
700		$2667 - (700 \times 2)$			76	"	"	㉢	○
750		$2667 - (750 \times 2)$			70	"	"	"	○
800		$2667 - (800 \times 2)$			64	"	"	"	○
850		$2667 - (850 \times 2)$			58	"	"	"	○
875		$2667 - (875 \times 2)$			55	"	"	"	•
900		$2667 - (900 \times 2)$			52	"	직진중	㉢	•
950		$2667 - (950 \times 2)$			46	"	"	"	•
1000		$2667 - (1000 \times 2)$			40	"	"	"	•
1050		$2667 - (1050 \times 2)$			34	"	"	"	•
1100		$2667 - (1100 \times 2)$			28	"	"	"	•
1150		$2667 - (1150 \times 2)$			22	"	"	"	•
1200		$2667 - (1200 \times 2)$			16	"	"	"	•
1250		$2667 - (1250 \times 2)$			10	"	"	"	•
1300		$2667 - (1300 \times 2)$			4	"	"	"	▲
1333.5		$2667 - (1333 \times 2)$			0	양방향 동시		"	▲

<표 3-2> 좌회전 분할값 환산표2

1350	w	$2667-2\{2667-(1350+w)\}$	- w	\div 60km/h	2	직진중	동시	㊤	▲
1400		$2667-2\{2667-(1400+w)\}$			8	"	"	"	▲
1450		$2667-2\{2667-(1450+w)\}$			14	"	"	"	●
1500		$2667-2\{2667-(1500+w)\}$			20	"	"	"	●
1550		$2667-2\{2667-(1550+w)\}$			26	"	"	"	●
1600		$2667-2\{2667-(1600+w)\}$			32	"	"	"	●
1650		$2667-2\{2667-(1650+w)\}$			38	"	"	"	●
1700		$2667-2\{2667-(1700+w)\}$			44	"	"	"	●
1750		$2667-2\{2667-(1750+w)\}$			50	"	"	"	●
1792		$2667-2\{2667-(1792+w)\}$			55	"	"	"	●
1800		$2667-2\{2667-(1800+w)\}$			56	동시	"	㊤	○
1850		$2667-2\{2667-(1850+w)\}$			62	"	"	"	○
1900		$2667-2\{2667-(1900+w)\}$			68	"	"	"	○
1950		$2667-2\{2667-(1950+w)\}$			74	"	"	"	○
2000		$2667-2\{2667-(2000+w)\}$			80	"	"	"	○
2050		$2(2667-2050)$			74	"	"	㊤	○
2100		$2(2667-2100)$			68	"	"	"	○
2150		$2(2667-2150)$			62	"	"	"	○
2200		$2(2667-2200)$			56	"	"	"	○
2208		$2(2667-2208)$			55	"	"	"	○
2250		$2(2667-2250)$			50	"	직진중	㊤	●
2300		$2(2667-2300)$			44	"	"	"	●
2350		$2(2667-2350)$			38	"	"	"	●
2400		$2(2667-2400)$			32	"	"	"	●
2450		$2(2667-2450)$			26	"	"	"	●
2500		$2(2667-2500)$			20	"	"	"	●
2550		$2(2667-2550)$			14	"	"	"	●
2600		$2(2667-2600)$			8	"	"	"	▲
2650		$2(2667-2650)$			2	"	"	"	▲
2667		$2(2667-2667)$			0	양방향 동시		"	▲

<표 3-3>좌회전 분할값 산정 환산표

좌 회 전 분할값의 산출식과 적용위치	산 출 식		적 용 위 치
	• $\ominus A_{LT} = \frac{2(L+w)-w}{v}$		A
	• $\ominus A_{LT} = \frac{\overline{C} - 2L - w}{v}$		B
	• $\ominus A_{LT} = \frac{\overline{C} - 2\{\overline{C} - (L+w)\} - w}{v}$		C
	• $\ominus A_{LT} = \frac{2(\overline{C} - L) - w}{v}$		D
좌 회 전 신호시간 산출식과 적용위치	위 치	기점방향	종 점 방 향
	a	$\ominus T_{LTs} = Ot_d + g + \frac{w}{v} - c$ $T_{LTe} = Ot_o + g$	$\ominus T_{LTs} = Ot_d$ $T_{LTe} = Ot_o - \frac{w}{v}$
	b	$\ominus T_{LTs} = Ot_o$ $T_{LTe} = Ot_o + g$	$\ominus T_{LTs} = Ot_d$ $T_{LTe} = Ot_d + g$
	c	$\ominus T_{LTs} = Ot_o$ $T_{LTe} = Ot_d - \frac{w}{v}$	$\ominus T_{LTs} = Ot_o + g + \frac{w}{v}$ $T_{LTe} = Ot_d + g$
	d	$\ominus T_{LTs} = Ot_d + g + \frac{w}{v}$ $T_{LTe} = Ot_o + g$	$\ominus T_{LTs} = Ot_d$ $T_{LTe} = Ot_o - \frac{w}{v}$
	e	$\ominus T_{LTs} = Ot_o$ $T_{LTe} = Ot_o + g$	$\ominus T_{LTs} = Ot_d$ $T_{LTe} = Ot_d + g$
	f	$\ominus T_{LTs} = Ot_o$ $T_{LTe} = Ot_d - \frac{w}{v}$	$\ominus T_{LTs} = Ot_o + g + \frac{w}{v} - c$ $T_{LTe} = Ot_d + g$
분할값의 적용방법	<p>※ 분할값은 교차로폭에 따른 황색시간을 포함 함.</p> <p>▲ 분할값이 없거나 작은 지점은 하위도로에서 재분할 받은 시간을 적용함</p> <p>• 분할값이 직진녹색시간 이하인 지점은 산출값으로 적용함</p> <p>◦ 분할값이 직진녹색시간 이상인 지점은 직진녹색시간까지만 각 방향 직진녹색시간과 동시 신호로 적용함</p>		
제어조건	설정속도; 60km/h 신호주기; 160초(2667m) 녹색시간; 55초(917m)		

(2) 부도로에 대한 신호시간 산정 과정

□ 그 다음 단계로서, 부도로의 통과방법을 상세히 설명하면 다음과 같다.

1) 먼저 부도로의 분할값을 산출한다.

- 부도로의 분할값이란 주도로에서 파생되어 형성된 부도로축의 차량이 주도로와 교차하는 지점에서 부도로축의 주차량군과 주도로축의 주차량군이 서로 정지하지 않고 교차로를 통과하기 위해서 부도로에 분할되는 통과시간 값이다.
- 이 분할 값은 주도로의 양방향 또는 한 방향의 차량군이 해당교차로를 통과하고 난 후, 다음 차량군이 도달하기 전까지의 공백기간을 시간으로 환산하여 얻게 되는데, 주도로 상에서의 교차로의 위치에 따라 4가지로 분류되어 해당 식을 적용하여 부도로의 분할값을 산출해 준다.
- 이들 산출식은 다음과 같다.

□ 부도로(하위도로)의 분할 값 산출 식 (식 5)

- 1구간의 1/4구간 내에 위치한 교차로에 적용

$$\textcircled{㉠} \text{한 주기1식}; A_{Sa} = \frac{C_{1GBI} - 2(L)}{v}$$

- 1구간의 2/4구간 내에 위치한 교차로에 적용

$$\textcircled{㉡} \text{두 주기1식}; A_{Sa} = \frac{C_{2GBI} - 2(\overline{C} - L)}{v}$$

- 1구간의 3/4구간 내에 위치한 교차로에 적용

$$\textcircled{㉢} \text{두 주기2식}; A_{sa} = \frac{C_{2GBI} - 2(L)}{v}$$

- 1구간의 4/4구간 내에 위치한 교차로에 적용

$$\textcircled{㉣} \text{한 주기2식}; A_{sa} = \frac{C_{1GBI} - 2(\overline{C} - L)}{v}$$

여기서, A_{Sa} = 부도로(하위)의 분할값
 C_{1GBI} = 한 신호주기 사이의 녹색시간대 간격
 C_{2GBI} = 두 신호주기 사이의 녹색시간대 간격
 \overline{L} = 링크거리
 C = 주기 거리
 v = 설정 속도

□ 식 5를 이용하여 부도로 분할값을 산출하는 과정을 설명하면 다음과 같다.

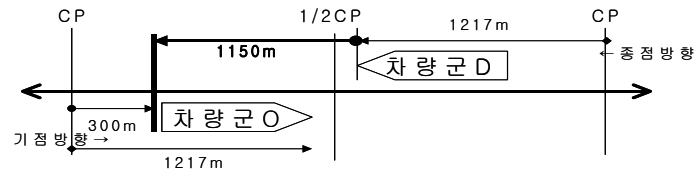
- 식 5-㉠의 한 주기식이란 동일주기 내에 진입한 양방향 차량군 중 교차로와 가까운 한 방향 차량군이 교차로를 통과한 다음부터 부도로의 차량이 주행을 시작하여 대향방향 차량군이 주

행하기 전까지 통과하는 방법이며, 주도로 상에서의 A나 D위치 내에서 파생된 부도로의 분할값을 산출하는 방식이다. 이는 한 구간 내의 C_{1GBI} 로 계산하게 되는데 <그림 3-2>를 참조하여, C_{1GBI} 란 한 신호주기 사이의 GB의 간격으로, 한 방향의 GB의 선두에서 대향 GB의 후미까지의 거리를 의미하며 구간거리(CP:2667m)에서 녹색시간거리(차량군길이 GB)를 뺀 $2667-917=1750m$ 를 말한다.

- 주도로의 한 구간에서 교차로와 가까운 한 방향의 차량군이 후미까지 교차로를 빠져 나오면 대향차량군도 그 거리만큼 주행하게 되고 대향차량군이 교차로에 도달하기 전까지 시간적 공백이 생성된다. 이 CGBI의 공백기간 동안 부도로의 차량을 통과시키면 주도로의 대향차량군이 교차로에 도달하기 전에 소거되므로 주도로와 부도로의 차량이 서로 정지하지 않고 교차로를 통과할 수 있게 된다.

□ (식 5-㉑)의 적용 예제로

- 주도로상의 기준 CP에서 300m지점에 교차로가 있다고 할 때, 한 구간의 GB내에 진입한 차량군 O와 D중 주도로 200m의 예제에서 보듯이 종점방향의 이전주기 차량군이 먼저 도착하여 교차로를 통과하고 기점방향 차량군이 나중에 교차로에 도달하여 후미까지 교차로를 통과한 후 아래 그림과 같이 종점방향 차량군 D도 같은 거리만큼 주행하여 해당 교차로에 도달하려면 1150m 거리의 CGBI가 생성된다. 이 거리공백을 시간으로 환산하여 부도로가 통과할 수 있는 분할값으로 산정된다.
- 이렇게 분할된 시간동안 부도로의 차량군이 통과하게 되므로 주도로의 종점방향 차량군 D가 해당 교차로에 도달하기 전에 소거시켜 서로 정지하지 않고 교차로를 통과할 수 있게 된다.
- 그러므로 한 주기의 C_{1GBI} 에서 링크거리와 교차로까지의 거리를 양방향에서 빼주면 이 위치에 분할되는 CGBI가 생성된다. A구간 내에 위치이므로 식 5-㉑을 적용하여 산출하면
$$\frac{1750-2(300)}{60km/h} = 69초$$
가 이 위치 부도로에 주어진 신호시간으로 69초를 부도로 녹색시간과 좌회전시간으로 적절하게 분할해주며 주도로상의 300m에 위치한 이 지점이 주도로와 같이 부도로의 구간점(Cycle Point : CP)이 되며 이 구간점을 기준으로 부도로측을 주도로와 마찬가지로 방법으로 구간점을 형성시킨다.
- 또한 부도로측의 신호시간과 현시방법, 연동값 산출방법은 주도로의 방법과 같으며 주도로처럼 연속진행 하도록 하여 차량이 주도로의 차량과 서로 상충하지 않고 연속진행 할 수 있는 분할값 된다. <그림 3-20>과 같은 상태에서 일정의 소거시간이 지난 후 부도로의 녹색시간이 시작되어 차량군 D가 도달하기 전에 종료하게 된다.



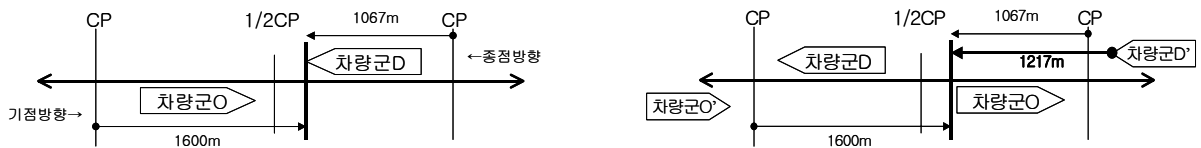
<그림 3-20> 예제 11

□ 식 5-㉑의 두 주기식이란 동일주기의 GB 내에 진입한 양방향 차량군이 모두 교차로를 통과한 다음부터 부도로의 차량이 주행을 시작하여 주도로의 다음주기 차량군이 주행하기 전까지 통과하는 방법이며, 주도로 상에서의 B나 C위치 내에서 파생된 부도로의 분할값을 산출하는 방식이다.

- 이는 두 구간의 C_{2GBI} 로 계산하게 되는데 <그림 3-2>를 참조하여, C_{2GBI} 란 두 신호주기 사이의 GB의 간격으로 前주기의 GB의 후미에서 다음주기 GB의 선두까지의 거리를 의미하며, 두 신호주기거리에서 녹색시간거리를 뺀 $2667 \times 2 - 917 = 4417m$ 를 말한다.
- 주도로의 한 구간에서 동일주기에 진입한 양방향의 차량군이 후미까지 교차점을 빠져 나오면 다음주기 차량군이 해당교차로에 도달하기 전까지 시간적 공백이 생성된다. 이 CGBI의 공백 기간동안 부도로의 차량을 통과시키면 주도로의 다음주기 차량군이 교차로에 도달하기 전에 소거되므로 주도로와 부도로의 차량이 서로 정지하지 않고 교차로를 통과할 수 있게 된다.

□ (식 5-㉒)의 적용 예제

- 주도로상의 기준 CP에서 1600m 지점에 부도로가 있다고 가정할 때, 한 주기의 GB내에 진입한 차량군 O, D중 종점방향 차량군 D가 교차로 정지선을 통과한 주행거리만큼 차량군 O도 그 거리만큼 주행하면 기점방향의 차량군 O는 교차로 정지선을 통과하지 못한 상태가 된다.
- 양방향의 모두 교차로 정지선을 통과해야만 부도로의 차량이 통과할 수 있으므로 차량군 O까지 통과시킨다. 이때 차량군 O가 정지선을 통과한 주행거리 1600m만큼 차량군 D도 같은 거리를 주행하게 되어 다음주기의 차량군 D와 차량군 O 사이의 CGBI가 생성된다. 그러므로 두 주기의 C_{2GBI} 에서 양방향의 주행한 거리를 빼주면 이 위치에 분할되는 CGBI가 생성된다.
- C 위치이므로 식 5-㉒을 적용하면 $\{4417 - 2(1600)\} / 60kph = 73$ 초가 이 위치 부도로의 차량이 서로 방해하지 않고 연속진행 할 수 있는 분할값이 된다.
- <그림 3-21>과 같은 상태에서 일정의 소거시간이 지난 후 부도로의 녹색시간이 시작되어 다음주기 차량군 D가 도달하기 전에 종료하게 되어 서로 정지하지 않고 통과할 수 있다.



<그림 3-21> 예제 12

- 이렇게 산출된 분할값 속에는 주도로의 차량군이 후미까지 교차로를 통과한 후 주도로의 교차로를 비우는 소거시간과, 주도로의 다음 차량군이 도달하기 전에 부도로의 차량을 소거시켜주는 황색시간이 포함되어 있는 값이므로 부도로의 실제적인 통과시간은 황색시간을 뺀 시간이 된다.
- 실제로 적용 시엔 산출된 분할값을 기초로 하여, 해당교차로의 교통류 특성에 따라 최적의 값으로 실제적인 적용 값을 조절하게 된다.
- 부도로와 종도로의 신호시간은 주도로 신호시간과 통행방법과 마찬가지로 방법으로 설계되며 본 기법의 연동값 계산은 주도로에서 부도로 분할값이 할당되어 통과하는 실제시간 (예: 00:00초)에 맞추어 부도로측 교통류가 연속진행 하도록 표준시간 연동값을 feed-back 해 계산하여 기존의 부도로 연동화에 어려움이 있는 상황과는 달리 연속진행에 필요한 연동값을 산출한다.
- 이와 같이 부도로의 통과시간은 주도로의 통과시간에 맞추어 계획되며 주도로의 주행을 방해하지 않으면서 부도로의 통과 또한 주도로와 상충되지 않으므로 서로 교차로에서 정차하지 않고 연속진행이 가능하며, 부도로 좌회전차량도 대향 직진차량과 서로 상충되지 않고 모든 교차로에 좌회전이 가능하게 되는 것이다.

<표 3-4> 부도로(하위도로) 분할값 환산표1

교차로 거리(m)	교차로 폭(m)	산 출 식		분할값 (초)	적용식	위치 구분	유형
		거 리(m)	속 도				
1	w	1750-2(1+w)	÷ 60km/h	105	㉠식 적용	A	•
50		1750-2(50+w)		99	"		◆
100		1750-2(100+w)		93	"		◆
150		1750-2(150+w)		87	"		◆
200		1750-2(200+w)		81	"		◆
250		1750-2(250+w)		75	"		◆
300		1750-2(300+w)		69	"		◆
350		1750-2(350+w)		63	"		◆
400		1750-2(400+w)		57	"		◆
450		1750-2(450+w)		51	"		◦
458.5		1750-2(458.5+w)		50	"		◦
500		1750-2(500+w) 4417-2(2667-500)		45 5	㉠식 적용 시 ㉡식 적용 시		◦
550		1750-2(550+w) 4417-2(2667-550)		39 11	"		◦
600		1750-2(600+w) 4417-2(2667-600)		33 17	"		▲
650		1750-2(650+w) 4417-2(2667-650)		27 23	"		▲
667.5		1750-2(667.5+w) 4417-2(2667-667.5)		25 25	"		▲
700		1750-2(700+w) 4417-2(2667-700)		21 29	"	B	▲
750		1750-2(750+w) 4417-2(2667-750)		15 35	"		▲
800		1750-2(800+w) 4417-2(2667-800)		9 41	"		◦
850		1750-2(850+w) 4417-2(2667-850)		3 47	"		◦
875		4417-2(2667-875)		50	㉡식 적용		◦
900		4417-2(2667-900)		53	"		◆
950		4417-2(2667-950)		59	"		◆
1000		4417-2(2667-1000)		65	"		◆
1050		4417-2(2667-1050)		71	"		◆
1100		4417-2(2667-1100)		77	"		◆
1150		4417-2(2667-1150)		83	"		◆
1200		4417-2(2667-1200)		89	"		◆
1250		4417-2(2667-1250)		95	"		◆
1300		4417-2(2667-1300)		101	"		•
1333.5		4417-2(2667-1333.5)		105	"		•

<표 3-5> 부도로(하위도로) 분할값 환산표2

1350	w	4417-2(1350+w)	÷ 60km/h	103	㊸식 적용	C	•
1400		4417-2(1400+w)		97	"		◆
1450		4417-2(1450+w)		91	"		◆
1500		4417-2(1500+w)		85	"		◆
1550		4417-2(1550+w)		79	"		◆
1600		4417-2(1600+w)		73	"		◆
1650		4417-2(1650+w)		67	"		◆
1700		4417-2(1700+w)		59	"		◆
1750		4417-2(1750+w)		55	"		◆
1792		4417-2(1792+w)		50	"		◆
1800		4417-2(1800+w) 1750-2(2667-1800)		49 1	㊸식 적용 시 ㊸식 적용 시		◦
1850		4417-2(1850+w) 1750-2(2667-1850)		43 7	"		◦
1900		4417-2(1900+w) 1750-2(2667-1900)		37 13	"		▲
1950		4417-2(1950+w) 1750-2(2667-1950)		31 19	"		▲
2000		4417-2(2000+w) 1750-2(2667-2000)		25 25	"		▲
2050		4417-2(2050+w) 1750-2(2667-2050)		19 31	"	D	▲
2100		4417-2(2100+w) 1750-2(2667-2100)		13 37	"		▲
2150		4417-2(2150+w) 1750-2(2667-2150)		7 43	"		◦
2200		4417-2(2200+w) 1750-2(2667-2200)		1 49	"		◦
2208		1750-2(2667-2208)		50	"		◦
2250		1750-2(2667-2250)		55	㊸식 적용		◆
2300		1750-2(2667-2300)		61	"		◆
2350		1750-2(2667-2350)		67	"		◆
2400		1750-2(2667-2400)		73	"		◆
2450		1750-2(2667-2450)		79	"		◆
2500		1750-2(2667-2500)		85	"		◆
2550		1750-2(2667-2550)		91	"		◆
2600		1750-2(2667-2600)		97	"		◆
2650		1750-2(2667-2650)		103	"		•
2667		1750-2(2667-2667)		105	"		•

<표 3-6> 부도로(하위도로) 분할값 환산표

하위도로 분할값의 산출식과 적용위치	적용위치	산 출 식
	A	• ㉠ 한 주기1식; $A_{sa} = \frac{C_{1GBI} - 2(L + w)}{v}$
	B	• ㉡ 두 주기1식; $A_{sa} = \frac{C_{2GBI} - 2(\overline{C} - L)}{v}$
	C	• ㉢ 두 주기2식 ; $A_{sa} = \frac{C_{2GBI} - 2(L + w)}{v}$
	D	• ㉣ 한 주기2식 ; $A_{sa} = \frac{C_{1GBI} - 2(\overline{C} - L)}{v}$
분할값의 적용방법	<p>※분할값은 교차로 폭에 따른 황색시간을 포함함</p> <ul style="list-style-type: none"> • 최대값이 산출된 지점은 실 적용시간을 뺀 나머지 시간을 상위도로의 좌회전 값으로 다시 분할함 ◆녹색시간을 초과하는 지점의 남은 시간은 해당 교차로의 좌회전 값으로 분할함 ◦ 산출값이 녹색시간 이하인 지점은 산출값으로 녹색시간을 설정함 ▲산출값이 작은 지점은 주도로와 교차되는 지점에 한 주기에 2회로 현시됨 	
제어조건	신호주기; 160초 주행시간; 55초 주행속도; 60km/h	

제 4 장 모의실험 및 현장적용을 통한 검증

- 4.1 간선도로축을 대상으로 한 모의실험
- 4.2 광역지역 네트워크 모의실험 결과
- 4.3 현장실험을 통한 검증

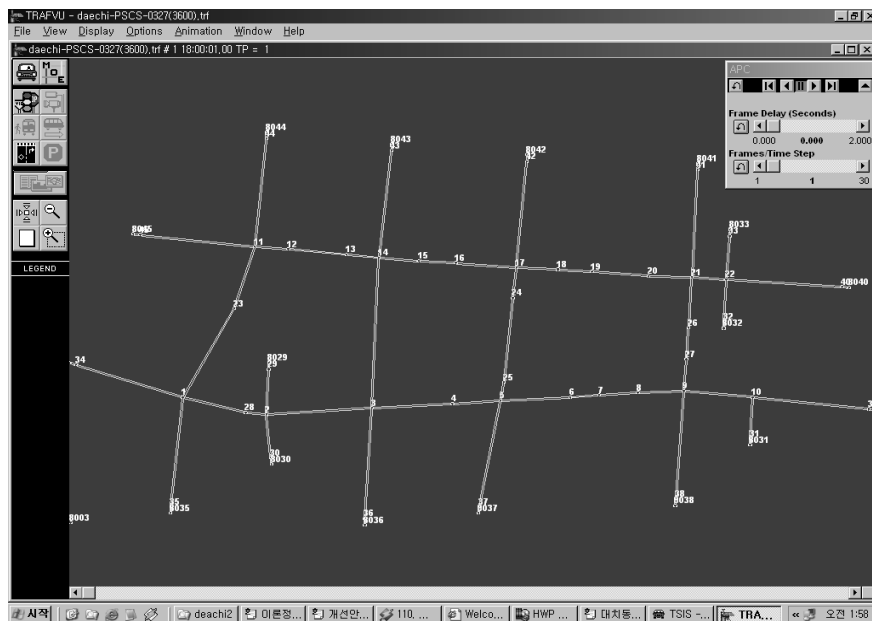
제4장 모의실험 및 현장적용을 통한 검증

- 지금까지 설명한 새로운 알고리즘의 평가를 위해서 모의실험과 현장실험을 병행하였다. 모의실험은 간선도로 축과 네트워크 축 두 가지에 대한 평가를 수행하였다. 현장실험은 경기도 일산시의 대화로 지역에 대한 수일간의 평가내용을 포함한다.

4.1 간선도로 축을 대상으로 한 모의실험

- 모의실험에서는 시뮬레이션 tool인 NETSIM을 사용하였으며 교통류, 운전자 등과 관련한 많은 매개변수는 실제와 가장 가깝게 묘사하기 위해 결정·채택되었다. 모의실험은 알고리즘이 일반 간선도로 축과 광범위한 특정 지역에서 각기 작동되는지를 판단하기 위해서 일반 간선도로 축은 강남구의 남부순환도로 일부 구간, 서울시 서초구 방배로축, 광역 지역은 경기도 일산구 신도시 일부구간을 채택하는 등 두 가지의 측면에서 수행되었다.

(1) 서울시 강남구 대치동 구간 모의실험 결과



<그림 4-1> 분석지역 NETSIM 코딩 NODE 표

- 대상구간은 남부순환도로 서울 강남구 대치동 일대로 1번 노드인 개포병원 입구에서 10번 노드인 미도아파트까지의 구간으로 매봉역(보), 현대체육관, 숙명여고(보), 도곡역, 우성아파트(보), 선경아파트(보), 한빛은행(보), 대치역이 그 사이에 위치하며 여기서 (보)는 보행자 신호기를 의미한다.
- 모의실험은 3600초 동안 수행되었는데 비교대상 제어 알고리즘은 다음의 세 가지로 제한하였다.

- 기 수행되고 있는 COSMOS의 TOD 제어방식
- T-7F의 최적화를 통해 산출된 제어방식
- 본 연구가 제안하는 고정식 신호기 제어방식

- 단 COSMOS는 감응식 제어를 채택하고 있으나 해당시간에 TOD 방식으로 일정한 현시순서와 신호주기로 운영되고 있었으므로 TOD 유사 방식이라고 판단하였고 T-7F의 최적화 결과는 NETSIM 환경에 맞도록 feedback 되었다는 점을 밝힌다.
- 개별 교차로 또는 도로축의 운영 효율을 비교하기 위한 기준 효과척도로는 지체, 정지율, 통행속도, 유출교통량 등이 사용되었으며 방향별로 구분하여 비교되었는데 모의실험 결과는 다음과 같다.

<표 4-1> 대상지역 구간별 지체 비교

구 분	T O D	T-7F	제안기법	개선율 (TOD대비)
서->동 평균	17.46	51.31	12.86	-26.3%
동->서 평균	46.18	37.73	15.39	-66.7%
전체평균	31.82	44.52	14.12	56.5%

□ 먼저 <표 4-1>은 신호교차로의 효과척도분석에 기본이 되는 지체에 대한 자료의 비교 결과이다.

- 현재 TOD 상황은 서->동 방향은 흐름이 좋으나, 동->서의 지체는 크게 나타남으로써 서->동 방향을 주 방향으로 하여 연동값이 설정된 것으로 판단된다.
- T7F의 최적화 결과상 지체가 현재 TOD 결과보다 높게 나온 것은 대상구간의 네트워크에 대한 global optimum 자료가 사용되었기 때문이며, 1-10번 노드에 대한 관심지역의 local optimum 자료가 아니었기 때문인 것으로 판단된다.
- 최적운영(제안)의 결과치는 양방향의 양호한 결과치를 나타내었고, 지체 개선율은 양방향 가중평균으로 55.6%로 나타나 제안 알고리즘이 지체최소화에 매우 큰 효과를 나타내고 있다고 볼 수 있었다.

<표 4-2> 대상지역 구간별 정지율 비교

구 분	T O D	T-7F	제안기법	개선율 (TOD대비)
서->동 평균	30.1	33.6	19.3	-35.9
동->서 평균	48.6	44	18.7	-61.5
전체평균	39.35	38.80	19.00	51.71%

- 지체와 유사한 정지율 또한 주요 효과적도로서 매우 중요한 비교항목인데, 현재 TOD 운영아래에서는 정지율도 지체와 같이 서->동 방향은 적게 나타나지만 동->서 방향은 비교적 높게 나타나고 있다. T7F의 최적화 결과를 활용한 모의실험결과도 서->동, 동->서의 양방향의 유사 TOD 운영방식과 근사하게 나타났으며 개선효과는 보이지 않고 있다.
- 하지만 <표 4-2>의 결과치에서 보듯 최적운영(제안기법)은 양방향 모두 크게 개선되었음을 알 수 있다. 개선율이 양방향에서 교통량을 가중 평균한 결과 51.7%로 나타나 지체와 마찬가지로 크게 개선되었음을 알 수 있었다.

<표 4-3> 대상지역 구간별 통행속도 비교

구 분	T O D	T-7F	제안기법	개선율 (TOD대비)
서->동 평균	21.55	17.41	22.11	2.6%
동->서 평균	14.34	18.31	22.21	54.9%
전체평균	17.94	17.86	22.16	23.5%

- 그리고 도로 사용자들이 개선효과로서 가장 느끼기 쉬운 것이 통행속도의 증가인데, <표 4-3>과 같이 이 측면에서의 개선율도 비슷한 결과를 나타내고 있다.
- 현재의 유사 TOD 운영은 서->동, 동->서의 각 방향별 속도가 불균형을 이루고 있으며, T7F의 최적화 결과는 양방향의 속도편차가 크지 않은 균형 잡힌 속도 결과를 나타내고 있다.
- 그러나 제안된 운영방식은 양방향의 속도가 거의 비슷한 22kph를 넘어서고 있는데 통행속도에 대한 개선율은 양방향 평균 23.5%에 이른다.
- 지금까지 살펴본 지체, 정지율, 통행속도의 개선 결과가 상당한 것으로 나타났지만 제안된 알고리즘이 사뭇 통과교통량을 감소시키면서 성취된 것이라면 운영효율의 증대를 반감시키는 것이며 개선효과로서의 의미도 크게 축소되게 될 것이다. 따라서 지체, 정지율, 통행속도 등의 효과적도 이외에 구간별 축별 통과교통량을 추가로 분석해봄으로써 최적화 또는 운영 효율증대의 판단이 기준이 되는 양대 항목의 비교를 충족시키고자 한다.

<표 4-4> 대상지역 구간별 유출교통량 비교

구 분	T O D	T-7F	제안기법	개선율(TOD대비)
서->동 평균	2236	2147	2355	5.3
동->서 평균	2095	2173	2259	7.8
전체평균	2,166	2,160	2,307	6.5%

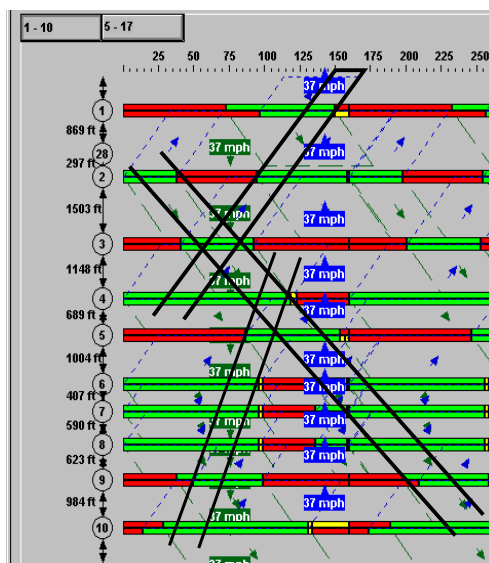
- <표 4-4>는 대상 구간별 통과(유출)교통량 비교자료인데, 제안된 알고리즘의 실행 결과가

유사 TOD 방식과 T-7F 최적화를 통한 결과보다 평균 6.5%의 통과교통량 증가를 보이고 있음을 알 수 있다.

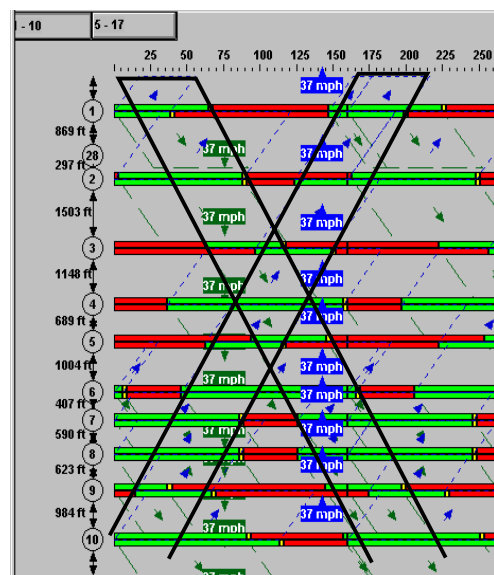
- 참고로 지금까지 모의실험 결과비교는 <그림 4-1>에서와 같이 총 27개의 노드로 된 지역 중에 소통문제가 심각한 1-10번까지의 노드를 중심으로 수행되었다. 따라서 분석의 관심대상 축(1-10번 노드)을 포함한 전체 네트워크의 효율증대 비교도 의미가 있겠는데 결과는 <표 4-5>와 같다.

<표 4-5> 대치동 분석 네트워크 전체의 MOE 비교

구 분	지체 (Min/Veh)	정지율 (%)	속도 (mph)	교통량 (vph)
T O D	6.36	316	9.4	18798
T7F 최적	4.54	273	11.4	21077
최적운영 (제안)	3.34	222	14.3	21620



<그림 4-2> 분석지역 TOD 시공도

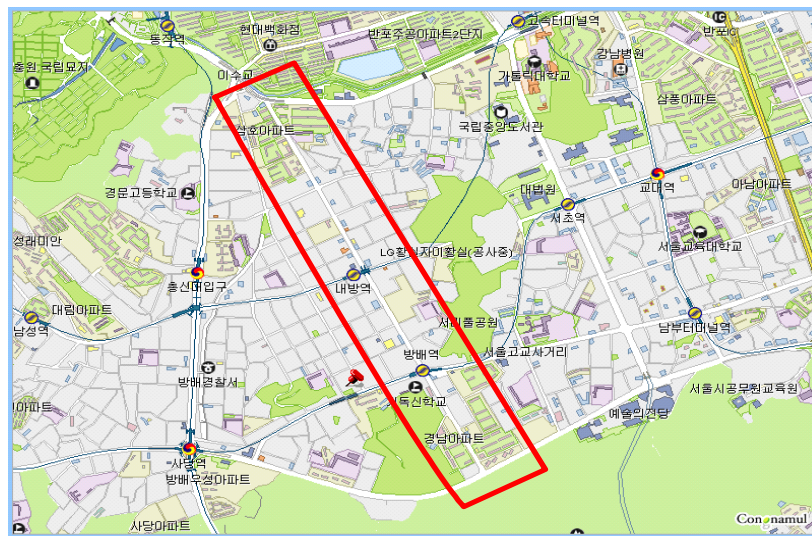


<그림 4-3> 분석지역 제안기법 시공도

(2) 서울시 서초구 방배로축 모의실험 결과

- 대상구간 <그림 4-4> 방배로축의 교통상황은 주거지와 인접한 편도 2차로의 도로로 북쪽으로는 도심 방향의 사평로의 이수교차로와 연결되었고 남쪽으로는 남부순환로와 연결된 도로로 대상구간을 통과하는 교통량은 많지 않은 편이나 인접한 단독 주택들과 아파트 단지 내에서 유입하는 교통량이 다소 많은 상황이다.

- 또한 편도 2차로의 도로에 많은 마을버스들이 경유하여 교통소통이 원활하지 못하며 인근 상가의 불법주차들이 많아 교통상황을 어렵게 하고 있다.
- 중요교차로는 함지박사거리, 내방역, 방배역 3개소이며 그 외에는 비중요교차로와 단독 횡단보도로 연동화는 이들 3개 교차로를 위주로 이루어 졌으나 현재와 같이 양방향 연동화를 실현할 수 없는 한계로 차량의 정지횟수가 발생하는 편이다.



<그림 4-4> 방배로 축

- 4지 교차로 7개소,
- 3지 교차로 3개소,
- 횡단보도 7개소
- 총연장 약 2.9km

<표 4-6> 모의 실험 결과 1

비첨두 시	DELAY TIME	QUEUE DELAY	STOP TIME	STOPS (%)	VOLUME VPH	SPEED MPH
TOD	22.36	16.76	15.99	33.09	41221	17.06
PSCS :60K	13.03	9.01	8.64	20.53	40610	19.32
개선율(%) TOD대비	42	46	46	38	-1	13
PSCS :40K	12.69	9.32	8.94	21.82	40597	15.83
개선율(%) TOD대비	43	44	44	34	-2	-7

- 비첨두시 교통량은 3월 평일 오후 3시경 교통량으로 조사하여 모의실험을 실행하였다.
- PSCS는 시속 60km/h로 설계하여 실행을 하였고 대상도로가 주거지와 인접한 도로로 사고의 위험성을 감안하여 시속 40km/h로 설계하여 두 가지를 기존의 TOD와 같이 비교하였다.
- 모의실험 결과 평가항목의 대부분은 기존보다 우수한 결과를 나타냈으나 교통량은 기존보다 다소 낮은 수치를 나타냈으나 이는 기존 신호주기를 짧은 130초로 운영하고 있으나 PSCS에서는 신호주기를 다소 늘려 160초로 운영하여 교차로 신호운영 주기의 차에 의한 것으로 판단된다.
- 또한 PSCS를 시속 40km/h 설계하여 모의 실험한 경우는 기존(TOD)의 시속 60km/h로 운영하는 것보다 속도는 다소 떨어지나 다른 평가 항목은 매우 우수한 것으로 나타났다.
- <표 4-6>의 결과를 살펴보면 대상구간인 방배로측 같이 주거지와 인접한 도로는 속도를 다소 낮게 설계하여 사고의 위험성을 방지하는 것이 필요하다고 판단된다.

<표 4-7> 모의 실험결과 2

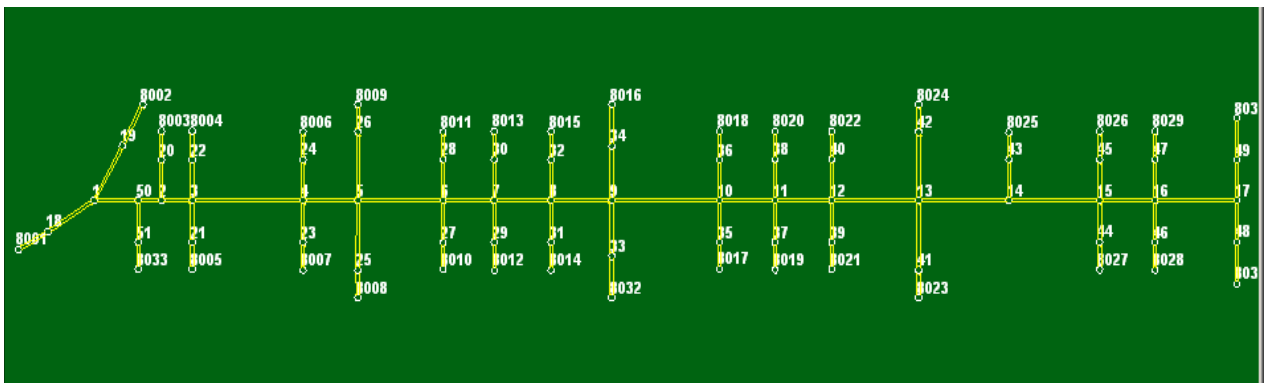
비첨두시 불법주차	DELAY TIME	QUEUE DELAY	STOP TIME	STOPS (%)	VOLUME VPH	SPEED MPH
TOD	22.08	16.50	15.74	34.65	41211	16.54
PSCS :40k	13.78	10.29	9.84	25.06	40302	15.40
개선율(%):TOD대비	38	38	37	28	-2	7
PSCS :60k	14.47	10.03	9.60	23.06	41272	18.51
개선율(%):TOD대비	34	39	39	33	0	12

- <표 4-7>모의실험 결과는 비첨두시 대상가로에 불법주차들이 많은 경우를 가상하여 실행하였다.
- 불법주차 설정은 대상구간 중 방배역과 내방역 중간지점과 함지박사거리와 내방역 중간지점 등 총 4개소에 주차시간 100초를 15회 실행하였다.
- 주차시간이 짧은 관계로 3가지 경우 모두 큰 폭의 평가항목 하락은 발견되지 않았으나 장기 주차는 교통소통에 많은 영향을 미칠 것으로 판단됨

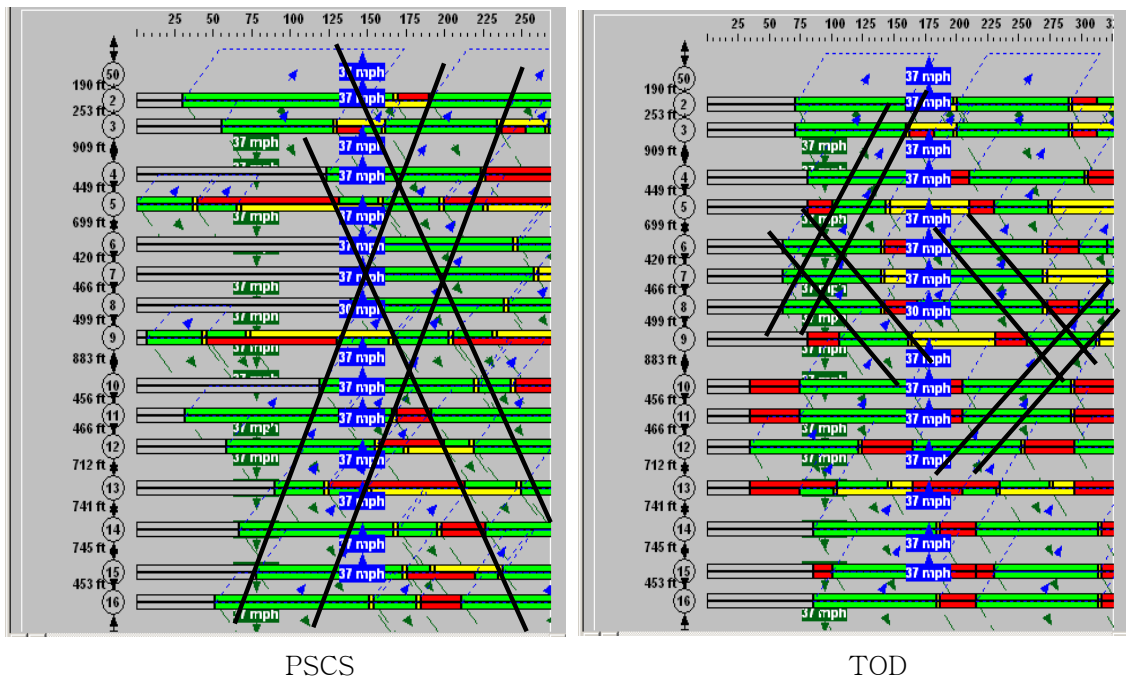
<표 4-8> 모의 실험결과 3

첨두시	DELAY TIME	QUEUE DELAY	STOP TIME	STOPS (%)	VOLUME VPH	SPEED MPH
TOD	32.38	24.88	23.59	40.91	43776	14.69
PSCS :60k	15.04	10.26	9.79	23.53	43913	18.46
개선율(%):TOD대비	54	59	59	42	0	26
PSCS :40k	14.58	10.74	10.22	25.03	43908	15.20
개선율(%):TOD대비	55	57	57	39	0	3

- <표 4-8>은 평일 비첨두시 교통량에 10%를 증가하여 모의실험을 실행하였다.
- 모의실험 결과 모든 평가항목에서 기존의 TOD방식의 운영보다 양방향 연속진행 교통신호제어시스템(PSCS)이 매우 뛰어난 결과를 도출하였다.
- 특히 시속 40km/h로 설계하여 모의실험을 하였어도 시속 60km/h로 설계한 것과 비슷한 결과를 도출함은 한번 눈여겨 볼만하다고 판단되는 것으로 이는 도로축 양방향 연동화를 이루면 정체와 지체, 정지율, 그리고 교통량, 속도 등에 그다지 커다란 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.



<그림 4-5> 방배로축 node



<그림 4-6> 시공도 비교

4.2 광역지역 네트워크 모의실험 결과

□ 앞 절과는 달리 제안하는 제어기법이 광범위한 특정지역에서 작동되는지를 판단하기 위해서 고양시 일산구 신도시의 남북의 주요간선도로인 중앙로축 11개, 호수로축 15개, 이 두 축을 지나는 부도로축 40개 등 총 66개소(횡단보도 포함)를 대상으로 NETSIM으로 60분간 모의실험을 추가로 수행하였다. 그 결과는 아래와 같다



<그림 4-7> 대상구간의 node

<표 4-9> DELAY TIME

MINUTES/VEHICLE

구 분	비첨두시	첨두시	10%증가 시	20%증가 시
T O D	3.54	5.94	7.33	8.52
제안기법	2.56	2.87	3.27	4.04
개선율	28%	52%	55%	53%

<표 4-10> QUEUE TIME

MINUTES/VEHICLE

구 분	비첨두시	첨두시	10%증가 시	20%증가 시
T O D	2.82	5.13	6.48	7.59
제안기법	1.84	2.05	2.37	3.02
개선율	35%	60%	63%	60%

<표 4-11> STOP TIME

MINUTES/VEHICLE

구 분	비첨두시	첨두시	10%증가 시	20%증가 시
T O D	2.75	5.02	6.34	7.42
제안기법	1.79	1.98	2.39	2.89
개선율	35%	61%	62%	61%

<표 4-12> SPEED

MINUTES/VEHICLE

구 분	비첨두시	첨두시	10%증가 시	20%증가 시
T O D	16.4	13.4	12.2	10.9
제안기법	17.9	16.9	15.6	13.7
개선율	9%	26%	28%	26%

<표 4-13> 여행시간 (태영사거리~백석주유소까지 왕복)

구 분	10분경과	20분경과	30분경과	40분경과	전체평균
T O D	12분15초	13분11초	14분00초	15분15초	13분40초
제안기법	8분03초	8분42초	8분51초	8분29초	8분31초
개선율	34%	34%	37%	44%	38%

□ NETSIM 실행결과 본 제어방법이 기존의 TOD 방법보다 지체, 정체, 속도 여행시간 등 여러 항목에서 30~60%의 높은 개선율을 나타냈으며 특히 교통량을 가중하였을 시는 기존은 모든 평가항목에서 급격히 악화되는 결과를 보였으나 제안기법은 큰 차이를 보이지 않았다.

- 또한 두 대상지역과 크기가 비슷한 지역을 선정하여 서울의 강남, 북 두 지역을 모의실험을 하였는바 위의 모의실험과 비슷한 개선율을 보여 제안기법의 견고성을 새삼 확인하였다. 그 밖에 제안하는 알고리즘의 견고성을 실험하기 위해 서울의 강남대로 축과 봉은사로 축에 20

분 동안 1개 차로를 차단하는 교통사고를 임의로 발생시켜 보았으며, 현 상황과 유사한 상태로 버스 노선 축을 정립, 버스의 투입에 의한 네트워크 효율의 변화를 추가로 비교·분석해 보았다.

<표 4-14> 사고발생 및 버сту입 시 시뮬레이션 결과

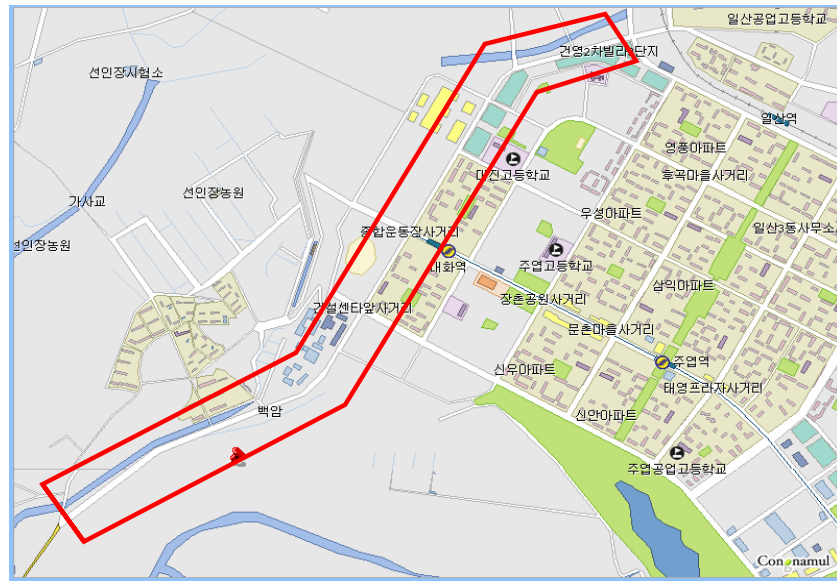
구 분	현재의 유사 TOD		제안 기법	
	사고	버스	사고	버스
Veh-miles	64630	66801	74972	69810
Delay/Trip (분)	8.63	8.37	4.87	6.07
Stops (%)	511.2	521.7	390.9	405.8
Speed (mph)	7.8	7.7	11.4	10.6

□ 그 결과는 앞의 표에서와 같이 정속(목표속도) 주행을 방해하는 많은 버스운행이라던가 트럭의 유입, 비정상인 이벤트 아래에서도 제안하고 있는 기법이 여전히 통과량을 포함한 전체 비교항목에서 현재 상황이나 기존 최적화 package의 사용을 통해 얻은 제어 값의 사용 때보다 보다 훨씬 우수한 소통상황을 낼 수 있음을 알 수 있었다.

- 특이한 것은 기존의 유사 TOD 방식이나 T-7F 최적화에서는 상기 상황에서 각종 비교항목이 악화된 반면 제안 알고리즘은 별 차이를 보이고 있지 않다는 점이다. 이는 제안하고 있는 알고리즘이 metering 기법을 유사하게 활용하여 link에 유입되는 교통량이 과포화 되는 것을 원천적으로 봉쇄하여 규모가 크지 않은 incident를 포용할 수 있기 때문인 것으로 판단되며 버스교통량이 많아질 경우는 영향을 다소 받는 것으로 나타났다.

4.3 현장실험을 통한 검증

- 경기도 고양시 일산구 신도시내 국지선도 98호선 대화로축에 대한 연속진행 교통신호제어 시스템 현장검증을 시행하였다. 이 구간 <그림 4-8>은 총 3.9Km로서 이산포IC의 횡단보도에서 덕이사거리까지의 동서축을 포함하고 있으며, 4지교차로 4개, 3지 교차로 3개, 횡단보도 4개로 구성되어 있다.



<그림 4-8> 현장실험지역

- 주요평가 항목은 각 교차로 통과 교통량, 평균주행시간, 평균주행속도, 정지수, 정지지체시간, 대기행렬길이를 시행전후와 비교하였다.

(1) 교차로 통과교통량

- 4개 교차로에 대한 통과교통량을 시행 전 1월24일 13:00~14:00과 15:30~16:30과 시행 후의 2월28일 같은 시간에 대하여 비교하였다. <표 4-15>에서 나타나듯이 통과교통량이 오전과 오후를 포함하여 6.2%개선된 것으로 평가되었다.

<표 4-15> 통과 교통량비교

구 분	13:00~14:00	15:30 ~16:30	합 계
실시 전(1월24일)	14,756 대	14,828 대	29,584
실시 후(2월28일)	15,214 대	16,201 대	31,415
개 선 율	3.1 % 증가	9.2 % 증가	6.2 %

(2) 평균주행시간

- 평균주행시간은 test-car 두 대를 이용하여 오전 낮, 오후시간대의 3차에 걸쳐서 방향별 구간과 왕복구간을 평균한 값이다. <표 4-16>에 나타난 바와 같이 각각 38.54%, 31.44% 통행시간 절감효과를 가져왔으며, 왕복으로는 35%의 절감효과가 있는 것으로 평가되었다.

<표 4-16> 평균주행시간

항 목	서-->동	동-->서	왕 복
실시 전	6분 37초	6분 47초	13분24초
실시 후(1차)	5분 23초	5분 25초	10분48초
실시 후(2차)	4분 04초	4분 39초	8분43초
개선율(2차)	38.54 %	31.44 %	35%단축

(3) 평균주행속도

-평균주행속도는 test-car 두 대를 이용한 오전, 낮, 오후시간대의 방향별 구간과 왕복구간을 평균하여 도출하였다. <표 4-17>에서 방향별로는 각각 63%, 46%, 평균적으로 54%의 개선 효과를 나타냈다.

<표 4-17> 평균주행속도

항 목	서-->동	동-->서	왕 복
실시 전	30 km/h	29 km/h	29 km/h
실시 후(1차)	37 km/h	36 km/h	36.5 km/h
실시 후(2차)	48 km/h	42 km/h	45 km/h
개선율(2차)	63 %	46 %	54 %

(4) 정지수, 정지시간, 대기행렬길이

- 정지수는 교차로에 정지하는 회수를 조사하여 전체 운행회수를 전체 정지한 회수로 나눈 평균값을 사용하였다. <표 4-18>에 나타난 2.72회는 실시 전 단일 방향의 정지수를 의미한다. 정지시간은 해당 교차로에 도착하여 정지선을 통과할 때까지의 시간을 측정하였으며 시험차량이 회차하는 두 장소의 시간은 제외하였다. 정지수는 78% 정지시간은 84%개선효과를 나타냈다. 이 결과는 도시교통망을 가정할 때 차량의 연속주행을 최대한 보장하여 추가적으로 발생할 교통정체를 미연에 방지한다는 측면에서 대단히 고무적인 결과이다.

<표 4-18> 정지수, 정지시간

항 목	정지수	정지시간	대기행렬
실시 전	2.72 회	1분 39초	그림자료
실시 후	0.6 회	16초	
개선율	78 %	84 %	

- 정지수와 정지시간의 감소는 대기행렬의 길이에서 반영되는데, <그림 4-9,11,13>에서 처럼 시행 전 차량 대기행렬이 다수로 형성되어 있으나, <그림4-10,12,14>의 동일지점에서 촬영한 대기행렬은 크게 개선된 것으로 파악되고 있다. 이는 앞에서 설명했듯이 정지를 최소화시킴으로서 정체의 확산을 미연에 방지하는 효과가 나타나고 있는 것을 다시 한번 표현한 것으로 가로를 주행하는 차량이 이미 교차로를 빠져나간 상황을 동영상 자료로서 나타낸 것이다



<그림 4-9> 시행전 동영상의 대기행렬길이(대화로)



<그림 4-10> 시행후 동영상의 대기행렬길이(대화로)



<그림 4-11> 시행전 동영상의 대기행렬길이(대화로)



<그림 4-12> 시행후 동영상의 대기행렬길이(대화로)



<그림 4-13> 시행전 대기행렬길이(농수산물센터)



<그림 4-14> 시행 후 대기행렬길이(농수산물센터)

(5) 주요항목별 시뮬레이션 결과비교

□ TOD 방식의 현행시스템과 T-7F를 이용한 최적화 방식과 제안된 연속진행형 제어방식의 시뮬레이션 결과를 정리한 것으로 다양한 상황에 대한 설명이 가능하도록 3가지 교통량 기준에 의하여 정리하였다.

- 조사교통량으로 적용
- 연속진행형 제어 실시 전 교통량의 적용
- T-7F최적화후 교통량으로 적용

- 결과는 <표 4-19,20,21>에서 나타나듯이 기존 TOD 방법에 의한 것뿐만 아니라 T-7F를 이용한 최적화와 비교하여도 지체시간, 대기시간, 정지시간, 정지수, 통과교통량, 속도의 측면에서 월등한 개선효과의 확인이 가능하다.

<표 4-19> 조사교통량으로 적용

항목 비교	DELAY TIME	QUEUE TIME	STOP* TIME	STOPS (%)	VOLUME VPH	SPEED KM/H
TOD (현행)	27.69	18.44	17.52	44.2	40,803	29.7
T-7F (최적화)	38.64	29.39	29.94	43.60	38,613	29.1
PSCS	19.93	12.81	12.20	26.25	42,904	35.3
개선율 (TOD대비)	28 %	31 %	30 %	41 %	5.1 %	19 %

<표 4-20> PSCS 실시전 교통량으로 적용

항목 비교	DELAY TIME	QUEUE TIME	STOP* TIME	STOPS (%)	VOLUME VPH	SPEED KM/H
TOD (현행)	27.69	18.44	17.52	44.2	40,803	29.7
T-7F (최적화)	38.64	29.37	29.94	43.60	38,613	29.1
PSCS	18.45	11.96	11.48	24.75	40,823	36.0
개선을 (TOD대비)	33 %	35 %	35 %	45 %	1.4 %	31 %

<표 4-21> T-7F최적화후 교통량으로 적용

항목 비교	DELAY TIME	QUEUE TIME	STOP* TIME	STOPS (%)	VOLUME VPH	SPEED KM/H
TOD (현행)	36.45	25.09	23.54	49.50	42,245	26.6
T-7F (최적화)	47.38	36.62	34.48	45.60	38,575	27.5
PSCS	19.93	12.81	12.20	26.25	42,904	35.3
개선을 (TOD대비)	45 %	49 %	48 %	47 %	1.5 %	33 %

(6) 시범실시 전후의 2차 실측 시뮬레이션 비교

- 2차 시뮬레이션을 현행대비 제안된 연속진행형 신호체계를 기반으로 실측치와 NETSIM 시뮬레이션 결과와 비교하여 시행하였다. 측정시간대들 2004년 1월 24일 15:30-16:30분으로 정하여 시행한 결과이다. <표 4-22,23>의 결과는 통과교통량과 속도에서 제안된 연속진행형 시스템이 매우 개선된 결과를 제시하고 있는 것으로 재확인되었다.

<표 4-22> 현행과 NETSIM시뮬레이션 비교

항목 비교	교 통 량	속 도
실측 TOD (현행시스템)	14,828대	29 km/h
NETSIM 시뮬레이션	14,960대	25.7 km/h

<표 4-23> 제안방안과 NETSIM 시뮬레이션 비교

항목 비교	교 통 량	속 도
실측 PSCS (제안시스템)	16,201대	36.5km/h
NETSIM 시뮬레이션	15,658대	35.3km/h

제 5 장 결론 및 건의

- 5.1 모의실험
- 5.2 현장실험
- 5.3 최종결론

제5장 결론 및 건의

- 본 연구는 제어대상 축에 대한 새로운 시공간 개념의 도입과 양방향 통과폭과 속도의 보장, metering과 유사한 기법이 잘 조화되고 구성되어 진행대의 길이를 최대화하는 새로운 고정식 제어기법에 대해 소개·기술하였으며, 기법의 효용을 분석·파악하기 위하여 두 개의 간선도로 축과 하나의 광역 네트워크를 대상으로 미시 교통류 분석프로그램을 이용하여 현장 조건을 그대로 묘사하고, T7F를 이용한 최적화 결과와 제안 기법의 실행 결과를 비교하여 보았다. 또한 제안된 연속진행형 시스템을 경기도 일산구 대화로 축에 대한 현장실험의 결과를 다양한 각도에서 평가하였다. 다음은 모의실험과 현장적용의 결과를 요약한 것이다.

5.1 모의실험

- 본 연구를 통해 제안된 고정식 제어기법은 다음과 같이 다양한 분야에서 장점이 있는 것으로 판단된다.
- 간선도로와 광역 네트워크를 대상으로 했을 때 기존의 신호최적화 기법을 통한 제어보다 통과교통량에서 2%~7%의 증가를 보였다.
 - 전체적으로 개별차량 지체, 정체, 정지율, 통행속도 측면에서 30%~60%의 높은 개선율을 보였다.
 - 또 돌발 상황이 발생했을 시에도 각종 효과척도의 부정적인 변화는 발견되지 않았다.
 - 따라서 기존 신호제어기를 그대로 활용한다는 측면(단 제어기의 시간동조는 필요)에서 추가적인 비용 없이 표준형, 출/퇴근형, 지역 특성형 등의 다양한 신호제어전략을 통해 도로 네트워크의 효율을 가시적으로 개선할 수 있다.
 - 제안 기법은 필요시에는 주방향이 아닌 방향의 녹색시간을 축소시켜 대향방향이나 교차하는 부도로에 대한 녹색시간을 확대할 수 있으며, 하나의 setting으로 적은 교통수요로부터 높은 교통수요까지를 처리할 수도 있다.

5.2 현장실험

- 본 시범실시로 평가대상 구간에서 기존의 제어방식과 제안하는 제어기법의 결과분석은 앞서 나타난 것처럼 모든 평가항목에서 상당히 우수한 결과를 도출하였다. 현재 도시가로망 서비스수준을 나타내는 효과척도(Measure of Effectiveness : MOE)에서 제시하는 지체시간은 제어대상 축을 미시적 모의실험을 통해서 제안기법이 기존의 TOD방식이나 T-7F로 최적화한 방식보다 최고 48%의 높은 개선율을 나타냈다.
- 또한 잦은 교차로 정지로 인한 시민들의 불편사항인 정지율은 기존의 방식보다 본 제어기법이 약 50%정도 줄어드는 것으로 나타나 효율성을 입증하였다.

- 본 시범실시의 중요한 비교항목 중 교차로 교통처리능력인 교통량은 약 6.2%의 처리능력의 향상을 보였으나 이는 현장실험을 할 때 교통량이 기존의 교통량보다 6.2% 많은 교통량이 유입된 것을 수치로 나타낸 것의 결과를 측정한 것으로 제안기법에서 수용할 수 있는 교통처리 능력은 더 높은 수치를 나타낼 수 있을 것으로 보여 교차로의 효율적 운영측면에서 상당히 발전된 모델이라 할 수 있다.
- 본 시범실시 중 통행속도는 조사된 통행속도와 모의실험을 통한 통행속도로 구분지어 분석해 본 결과 조사된 통행속도는 1차 조사 시 제어기 입력상의 문제와 현시방법, 시간, 등 기존과 다른 급작스런 변화에 운전자들이 혼란을 일으켜 약 26%의 개선효과를 나타냈으나 2차 조사 시에는 운전자들이 바뀐 현시방법에 점차 적응하여 약 54%의 높은 개선수치를 나타냈다.
- 본 시범실시가 갖는 또 하나의 중요한 의미는 여행시간의 대폭적인 감소효과라 할 수 있는데 현재 도시교통에서 교통문제로 대두되는 교차로정체나, 지체, 주행속도 등을 개선시키는 최종적인 목적은 여행시간을 단축하는 것이다. 그런 점에서 본 제어기법은 기존의 여행시간을 시범실시 구간에서는 약 35%정도 단축시켰으나 시범실시 시 해당관청인 경찰서측의 요구로 최대한 현시방법을 변경하지 않는 방법으로 신호제어를 설계하여 본 제어기법 특성상 현시방법의 변경은 필수적이라 이를 그대로 수용하였다면 결과는 더욱 좋은 방향으로 나왔을 것이라 사료된다.

5.3 최종결론

- 위의 결과를 통하여 제안된 연속진행방법이 많은 지역에서 충분히 시행되어 효과를 볼 수 있다고 판단되며 기존의 수요에 의존한 신호시간계산방식에서 매우 대안적인 신호시스템으로 활용될 수 있음을 입증하였다.
- 그동안 국내외적으로 수많은 학자들이 교통신호최적화에 많은 연구와 결과를 보여 왔다. 그러나 지금까지의 최적화이론은 교통수요가 교차로에 접근하고 발생하여 처리 할 때 교통류이론에 의하여 정지한 교통류의 특성과 운전자들의 운전특성에 많은 연구를 하고 이를 신호최적화 이론에 입각하여 최적화기법들을 사용하였다. 그래서 지체를 최소화 하는 모형을 개발하고 통과폭을 최대화하는 모형을 개발하기도 하고 이들 두 모형을 결합하여 사용하는 등의 방법들을 선보이기도 하였다.
- 또한 최근에는 교통수요가 변화하는 것에 대응하여 전자, 정보통신 분야를 이용한 감응식 제어방법도 전 세계적으로 붐을 일으키고 있다. 그러나 기존의 최적화기법과 이론들은 교차로에 접근한 교통류를 정지한 상태로 보고 각 교통류를 최적화기법에 따라 현시방법, 현시분할, 현시길이, 신호주기 등의 제어변수를 정하고 연동값을 정하는 방법을 취하여왔으나 늘어난 교통량과 변화하는 교통량을 감당하기는 기존의 최적화이론은 많은 허점과 한계를 보였

던 것이다.

- 이는 기존의 최적화기법은 처음부터 교통류는 연속적으로 처리해야 하는데 이를 간과하고 단속류 이론에 의거 신호최적화를 하면서 기존의 단일교차로 위주의 최적화와 일방향 위주의 연동화, 통과대폭 최대화(녹색시간 확보)등으로 상행, 하행 양방향 교통류를 연속으로 처리하지 않은 결과로 해석된다. 즉 진행대의 길이를 최대화하는 가장 중요한 사실을 염두에 두지 않았기 때문이다.

- 본 연구에서는 이를 해결하고자 기존에 접근수용의 특성에 기반을 두어 차량의 정지와 지체가 발생한다는 고정개념을 과감히 탈피한 발상의 전환을 통하여 가능하게 되었다. 특히 기존의 교통류가 퍼지고 (Dispersed) 합쳐진다는 개념에 근거하지 않고 연속적으로 움직이는 교통류를 창조하여 신호운영의 효과를 극대화하는 방법을 모색한 것인데 이론적으로나 현실적으로 매우 의미 있는 시도였다.
- 이와 같이 새로운 시각으로 마련된 본 제어기법을 적용할 수 있는 도로 시스템은 사실상 무한하며 무엇보다도 기존의 전자신호운영방식을 그대로 적용이 가능한 저렴한 기법이라고 할 수 있다.
- 향후 보다 다양한 현장적용과 기법개발을 통하여 본 시스템이 도시의 복잡한 교통상황을 해결할 수 있는 개념으로 확대해 나갈 필요가 있다.

참고문헌

1. 박찬호·김영찬 (2000), "간선도로 연동화 신호최적화 모형의 수행속도향상을 위한 연구", 대교통학회지 제18권 제4호, 대한교통학회, pp. 8.
2. McShane, Roess and Prassas (1990), "Traffic Engineering: 2nd Edition", Prentice Hall, NY, P. 617-623
3. Choi, B.K. (1997), "Adaptive Signal Control in Oversaturated Arterials", Ph.D. Dissertation, Polytechnic University, NY
4. Internal Metering Policy for Oversaturated Networks: Volume 1&2 (1992), NCHRP Report 3-38(3), Washington D.C.
5. Robertson and Bretherton (1991), "Optimizing Networks of Traffic Signals in Real Time - The SCOOT Methods", IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol. 40 No. 1, p. 11-15
6. Wallace, Courage, Hadi and Gan (1998), "T-7F Users Guide Volume 4 : MOST", FHWA, USDOT, Washington D.C.
7. Lowrie (1992), "Sydney Coordinated Adaptive Traffic System - A Traffic Responsive Method of Controlling Urban Traffic", Roads and Traffic Authority, Sydney, Australia
8. Chang and Messer (1991), PASSER II-90 Users Guide Vol 4, Texas Transportation Institute, Texas A&M University

시정언
2004-PR-35

양방향연속진행 교통신호제어시스템

발 행 인 백 용 호

발 행 일 2005년 4월 2일

발 행 처 서울시정개발연구원

137-071 서울시 서초구 서초동 391번지

전화: (02)2149-1090 팩스: (02)2149-1120

본 출판물의 판권은 서울시정개발연구원에 속합니다.