

■ 論 文 ■

실시간신호제어시스템에서의 버스우선신호 알고리즘 정립 (중앙버스 전용차로를 대상으로)

Establishment of Bus Priority Signal in Real-Time Traffic Signal Control

한 명 주

(서울대학교 환경대학원 박사과정)

이 영 인

(서울대학교 환경대학원 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 방법 및 구성
- II. 기존신호운영 현황 및 선행연구 고찰
 - 1. 실시간신호제어시스템
 - 2. 버스우선신호
 - 3. 선행연구 고찰
- III. 알고리즘의 정립
 - 1. 주기결정
 - 2. 녹색시간 분할
 - 3. 실시간신호제어시스템에서의 버스우선신호 알고리즘
- IV. 알고리즘의 효과분석
 - 1. 시뮬레이션 모형선택
 - 2. 모의실험
 - 3. 효과측도
 - 4. 시나리오 설정
- V. 결과 및 해석
 - 1. 신호변수의 설정
 - 2. 결과분석
- VI. 결론 및 향후 연구과제
참고문헌

Key words : 버스우선신호, 실시간신호제어시스템, 중앙버스전용차로, 신호모형 개발, 대중교통우선정책
bus priority signal, real-time traffic signal control, median bus lane system, signal algorithm, transit priority policy

요 약

버스는 대중교통의 대표적인 수단으로 지하철보다 운영이 저렴하고 접근성이 뛰어나다는 장점을 가지고 있음에도 불구하고 일반차량과 도로를 공유하여 사용하기 때문에 도로혼잡의 직접적인 영향을 받고 있다. 이러한 버스의 정시성, 신속성, 쾌적성 등 버스서비스의 개선을 위해 버스우선신호의 도입이 요구되고 있다. 버스우선신호의 필요성 증대와 관련하여 서울시에서 운영되고 있는 실시간신호제어시스템(COSMOS)은 버스우선신호에 대한 제어전략이 구축되어 있지 않은 실정이다. 이에 본 연구에서는 교통상황에 대응하여 신호시간을 결정하는 실시간신호제어시스템에서 대중교통, 특히 버스의 효율성을 높이는 버스우선신호 알고리즘을 정립하여 그것의 효과를 평가하였다.

본 연구에서 제안한 알고리즘은 실시간 교통대응제어를 기반으로 버스우선신호를 제공하기 때문에 기존 버스우선신호에 비해 부도로의 교통상황을 고려할 수 있다는 장점이 있다. 도심의 신호운영에서 중요시되는 연동을 유지하면서 우선신호를 제공하기 위해 수정주기 개념을 도입하였다. 모의실험 결과 실시간신호제어시스템하의 버스우선신호를 실행한 경우 그렇지 않은 경우와 비교하여 총지체는 증가하나 이는 기존 버스우선신호보다는 비교적 총지체를 감소시킨 것으로 나타났다. 버스통행시간의 감소로 버스서비스의 개선이 예상된다. 또한 버스의 재차인원을 고려할 경우, 차량이 아닌 사람을 기준으로 지체를 계산하기 때문에 본 알고리즘의 효율성을 인정받을 수 있다.

Recently due to the increase of cars and city life, the traffic congestion has worsened. It is particularly worse in the center of the metropolis. Within the general public means, the public transport buses have the advantage of being more cheap, accessible and mobile. But as there is no separate lane for buses, the collision of cars and buses are creating damage to public service. In order to solve this situation, the bus priority signal system has been introduced to reduce the bus travel time and improve its services. The purpose of this study is to establish bus priority signal algorithm which builds bus efficiency under the real-time traffic signal control system and to analyze the effect of it. As the green time was calculated against real time (under the real-time traffic signal control system), compared to existing bus priority signal there was a reduction in cross street loss. The modified cycle was used to maintain signal progression. A case study was carried out using VISSIM simulation model. In result of this study, we found that there was a decrease in bus travel time despite some evidence of car delays and compared to existing bus priority signal the delay of dishonor could be reduced dramatically. The analysed result of person delay using MOE, is that there is evidence that when bus priority signal is in effect, the person delay is reduced.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

산업발달로 인한 소득수준의 향상은 자가용 승용차의 보급 및 도시생활권을 거대하게 확장시켰다. 이로 인한 교통량, 통행거리의 증가는 특히, 도심의 업무·상업 지역에서 극심한 교통난을 초래하여 도심 혼란은 물론, 그에 따른 경제적 생산성 또한 저하시키고 있다. 도심 혼잡 문제를 해결하기 위해 도로시설 등의 공급을 늘릴 수도 있으나, 대부분의 선진 대도시에서는 교통운영방식을 개선하거나 대중교통 중심의 교통정책 실현을 목표로 하고 있다.

대도시에서는 교차로 전반의 지체를 줄이고 효율성을 높이기 위해 기존의 정주기식, 패턴식 신호운영방법이 교통량변화에 대응할 수 있는 실시간 신호제어로 개선되고 있다. '실시간신호제어시스템(COSMOS)'이 1991년 개발이 시작되어 강남구를 대상으로 시범적으로 설치·운영하였으며, 최근 몇 년간 알고리즘 기능개선 및 시스템 확장으로 2005년 현재 강남구 전역을 비롯해 제물포로, 월드컵 경기장, 성산·수색로, 도봉로 등 서울시에서 총 400여 곳에 운영 중이다. 이러한 신호운영방식의 개선과 더불어, 대중교통의 서비스수준 향상을 위하여 지하철, 버스이용을 적극 장려하고 유도하기 위하여 여러 가지 정책을 시행하고 있다. 버스는 대중교통의 대표적 수단으로 지하철보다 운영이 저렴하고 접근성이 뛰어나다는 장점을 가지고 있다. 그럼에도 불구하고, 버스는 일반차량과 도로를 공유하여 사용하기 때문에 혼잡의 직접적인 영향을 받는다. 그로 인한 통행속도 저하 등의 서비스 질 저하로 인하여 버스가 대량수송수단으로써의 제 역할을 못하고 있는 실정이다. 이러한 버스의 정시성, 신속성, 쾌적성 등 버스서비스의 개선을 도모하기 위한 방법으로 버스전용차로설치, 버스정보시스템, BMS(Bus Management System), BRT(Bus Rapid Transit), 버스 서비스 평가제, 버스우선신호(Bus Signal Priority)기법 등이 있다. 이들 중 버스우선신호는 교차로 신호 현시체계를 일시적 제어를 통해 버스가 우선 통과 할 수 있도록 우선권을 부여하는 기법이다. 대중교통우선정책의 일환으로 이러한 버스우선신호의 필요성이 대두되었다.

본 연구의 주요 목적은 교통상황에 대응하여 신호시

간을 결정하는 실시간신호제어시스템에서 대중교통, 특히 버스의 이동성을 높이는 버스우선신호 알고리즘을 정립하여 그것의 효과를 평가하는 것에 있다. 또한 도심 신호교차로의 주요 변수인 읍셋 유지를 위해 연동을 고려한 버스우선신호 알고리즘을 제안하고, 실시간 신호제어를 통해 버스우선신호제공으로 인해 지체가 증가할 수 있는 부도로의 교통상황을 고려하여 신호시간을 계산하는 알고리즘을 정립하여 그 효과를 분석하는 것이다.

2. 연구의 방법 및 구성

본 연구에서는 버스우선신호제공을 통해 대중교통의 효율성을 증진함과 동시에 일반차량의 손실, 특히, 부도로지체를 최소화 할 수 있는 버스우선신호 알고리즘을 개발하여 효과분석을 수행하고자 한다. 중앙버스전용차로가 설치되어있고, 실시간신호제어시스템으로 신호가 운영되고 있는 강남대로를 대상지역으로 선택하여 교차로측의 주기를 고정시키면서 버스우선신호를 제공하였고 실시간 신호제어를 통해 일반차량의 손실을 줄이도록 알고리즘을 정립하였다. 알고리즘 타당성 검증을 위해 여러 상황의 교통량을 대상으로 알고리즘 운영 및 평가가 가능한 미시적 시뮬레이터 VISSIM을 통해 효과분석을 실시하였다.

II. 기존신호운영 현황 및 선행연구 고찰

1. 실시간신호제어시스템

실시간신호제어시스템은 도로에 설치된 차량검지기에 의해 수집된 자료를 가공하여 현장의 교통상황에 가장 적합한 신호주기 및 신호현시를 자동으로 조절 운영하는 교통신호 제어 시스템이다. 실시간 대응제어는 수집된 이동류별 포화도에 따라 현시를 배분하기 때문에 좌회전 포화도가 크면 좌회전 현시값이 크게 나오고 직진 포화도가 크면 직진 현시값이 크게 나온다. 즉, 실시간 교통상황에 맞는 최적의 주기와 현시가 결정되기 때문에 주어진 시간을 최대한 효율적으로 차량이 이용할 수 있게 된다. 교통상황에 대응하는 실시간 신호제어를 통한 운영의 고도화를 목표로 교차로 효율성 향상을 통한 교통처리능력을 향상시키는데 그 목적이 있다.

〈표 1〉 실시간신호제어시스템 알고리즘

알고리즘 구성도	
교통상황 변수의 산정	<ul style="list-style-type: none"> • 검지기 자료 1차 처리 알고리즘 • 검지기 자료 2차 처리 알고리즘 • 기초변수 산출 <ul style="list-style-type: none"> - 포화도 관련변수(ADS, MDS, CDS, FDS) - 대기행렬길이산정
신호제어 변수의 산정	<ul style="list-style-type: none"> • 주기길이산정 • 현시배분 • 옹셋결정 • 그룹결합분리 • 옹셋전이(필요시) • SCI, MI의 신호계획 선택
감응제어	<ul style="list-style-type: none"> • 좌회전 감응제어 • 앞막힘 예방제어
기타제어	<ul style="list-style-type: none"> • 진출램프제어

ADS : Average Degree of Saturation
 MDS : Mean Degree of Saturation
 CDS : Cycle Degree of Saturation
 FDS : Forecast Degree of Saturation
 CI : Critical Intersection
 SCI : Semi-Critical Intersection
 MI : Minor Intersection

서울시에서 운영 중인 실시간신호제어시스템은 교통 상황 및 교차로의 특성에 따라 다양한 알고리즘이 구축되어 적용되고 있다. 그중에서 포화도 등의 교통상황변수 산출알고리즘 및 주기산정, 현시분할, 옹셋결정 알고리즘은 가장 대표적인 신호제어 알고리즘이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 알고리즘을 중심으로 대중교통의 대표적 수단인 버스의 이동성 증진을 위한 버스우선신호를 구현하고자 한다.

2. 버스우선신호

버스우선신호(Bus Signal Priority)는 교차로 신호 현시체계를 일시적 제어를 통해 버스가 우선 통과 할 수 있도록 우선권을 부여하는 것이다. 제어를 통한 교차로에서의 버스지체 감소로 버스의 통행시간을 감소시켜 버스 운영비용을 감소시킬 뿐 아니라 신뢰성, 정시성, 쾌적성 등 버스의 서비스질을 향상시켜 대중교통 이용을 활성화시킨다. 우선신호 제어방식은 크게 세 개의 분류로 나뉜다. 수동적 우선신호는 버스의 검지 유무와 관계없이 운영되고 능동적 우선신호는 검지기를 이용하여 우선신호가 제공된다. 실시간 우선신호는 목적함수의 최적화되도록 신호시간을 설정함으로써 우선신호가 제공된다.

〈표 2〉 버스우선신호 분류별 정리

분류	개념	종류
수동형 제어 전략	<ul style="list-style-type: none"> • 버스검지체계 불필요, 과거 통행자료에 근거 • 버스통행이 많은 현시에 우선권 배정 • 버스통행량이 많은 지역에 적용 • 낮은 운영 비용 • 시행의 용이성 	<ul style="list-style-type: none"> • 신호주기단축 • 중복현시 • 버스 가중녹색시간 • 현시 디자인 • 버스연동
능동형 제어 전략	<ul style="list-style-type: none"> • 버스검지체계 필요 • 무조건적/조건부 구분 • 선택적 우선신호 제공으로 지체감소 • 다양한 버스우선신호 전략 	<ul style="list-style-type: none"> • Early Green • Green Extension • Phase Insertion • Phase Skipping
실시간 제어 전략	<ul style="list-style-type: none"> • 우선신호를 실시간 평가에 근거하여 시행 • 지체가 최소화되는 현시조합과 우선신호 전략을 선택 • 신호 파라미터가 실시간정보에 기초한 신호최적화방안에 • 버스검지체계, 차량검지체계 • 차량, 버스 도착예측 • 최적화 알고리즘 • 버스운영 정보 	<ul style="list-style-type: none"> • 단독교차로 대상 : 이론적인 모형들, 대표적으로 SPPOINT • 네트워크 대상 : 대부분의 Adaptive 신호 제어시스템은 버스우선신호 수행 가능함 (SCOOT, UTOPIA, PROLYN, SCATS)

3. 선행연구 고찰

1960년대 버스우선신호의 개념이 등장한 이래로 다양한 방법들의 버스우선신호연구가 수행되어 왔다. 일반적으로 버스우선신호를 적용하게 되면 교차로에서의 버스의 지체가 감소하며 이를 통한 버스의 통행속도 증가, 통행시간 감소로 인해 버스의 서비스 질을 향상시킨다. 이러한 개선효과를 통해 궁극적으로는 교통 혼잡 완화에 기여할 수 있으나 우선신호 제공에 따른 일반차량의 지체 증가 등 피해가 발생하는 경우도 있다. 최근에는 이러한 일반차량의 지체까지도 고려하는 버스우선신호가 연구되고 있다.

1) 국외문헌

Feng(2003)은 SCOOT에 버스우선신호를 적용하여 효과를 평가하였다. SCOOT version3.1에 버스우선신호기법이 포함되었으며 SVD(Selective Vehicle Detectors)와 AVL(Automatic Vehicle Location) 등을 이용하여 버스의 도착을 검지하여 Green extension, Early green기법으로 우선신호를 제공하였다. 또한 우선신호 제공 후에는 SCOOT 최적주기로

회복하는 과정을 거친다. 그 결과 일반차량의 지체를 최소화하면서 우선신호를 제공하였다. Mirchandani (2000)은 RHODES 신호제어시스템에 조건부 버스우선신호(BUSBAND)를 제공하여 효과를 분석하였다. RHODES가 차량에 동일한 가중치를 부여하여 계산한 것과는 달리 RHODES+BUSBAND는 재차인원과 스케줄을 고려하여 버스각각에 다른 가중치를 줌으로써 우선신호를 제공하는 것을 제안하였다. Angus(2001)는 스웨덴에서 개발된 PRIBUSS(Prioritization of Buses in a Coordinated Signal System) 버스우선신호기법을 stockholm을 대상으로 시뮬레이션을 통하여 평가하였으며 Davol(2001)은 수동적, 능동적 버스우선신호 제어전략을 미시적 시뮬레이터를 통해 분석하였다. Ova(2001)는 버스의 배차간격이 일반 대도시보다는 긴 중소도시를 대상으로 버스우선신호 제어전략을 설정하여 평가하였다. Dion(2000)의 연구에서는 대중교통을 고려한 실시간 신호제어시스템을 제안하였다. SPPORT (Signal Priority Procedure for Optimization in Real Time)는 우선순위 목록을 만들어 다양한 사건 중에서 상대적으로 중요한 것을 결정한다.

2) 그 외의 버스우선신호 해외적용사례

SCOOT은 영국 여러 지역에 설치되어 있으며 우선신호제공 모드를 가지고 있다. 녹색현시를 연장하거나 버스우선신호 요청이 생기는 경우 버스현시를 삽입하는 방법 등의 제어방법을 사용한다. 비우선차량의 포화도를 조사하여 우선제어를 제한하는 기능을 포함하고 있다. UTOPIA(Urban Traffic Optimization by Integrated Automation)는 GPS를 이용하여 버스의 모니터링 과정을 통해 버스정보를 수집한다. 일반적인 전략으로 녹색현시 연장과 재현시 등이 있다. MOVA는 영국 런던과 맨체스터에서 적용된 사례로 우선제어 차량에 대해 녹색현시 연장을 통해 우선신호를 제공한다. 또한 이것은 긴급차량 최상위 우선제어시스템을 포함하고 있다. PRODYN은 각 교차로의 우선제어 차량을 종합하여 최적화시켜 운영한다. 이와 같은 해외 버스우선신호 적용사례의 대부분은 개별차량기반 검지기 체계를 가지고 운영되고 있다.

3) 국내문헌

구지선(2003)의 연구에서는 중앙버스전용차로, 가

로변버스전용차로에 대해 Green extension, Early green제어를 기본으로 우선신호알고리즘을 개발하여 효과를 분석을 시행하였다. 김수현(2003)의 연구에서는 버스정시성 향상을 위한 버스우선신호 제어기법을 개발하였다. 이 연구에서는 버스의 운행간격을 기준으로 간격이 벌어진 버스만을 대상으로 조건부 우선신호 제공을 제안하였다. 이 연구 역시 제어전략은 Green extension, Early green을 기본으로 하였고 조건부 우선신호 제공이 모든 버스에 대해 우선신호를 제공하는 방법보다 일반차량에 미치는 손실을 감소시킬 수 있었다. 버스우선신호에 대한 선행 연구는 주로 버스의 효율성 향상에 대한 적응성과 효과평가를 중심으로 진행되어 왔다. 이러한 연구는 도심지역에서 버스의 서비스개선을 통해 혼잡문제를 완화시킬 수 있다는 것을 제안하였다. 하지만 선행연구를 통해 살펴본 버스우선신호 연구는 대부분 독립교차로를 대상으로 한 것으로 도심의 교통효율을 높이는 연동을 고려하지 못하였다. 또한 대부분의 연구가 고정식 신호제어를 기반으로 한 것으로 교통상황 변화에 따라 신호시간을 계산하는 실시간 신호제어하의 버스우선신호 연구가 미비하였다.

III. 알고리즘의 정립

본 연구에서 제시하고자 하는 알고리즘은 실시간 신호제어방식의 장점을 극대화하는 동시에 버스우선신호를 제공함으로써 버스서비스향상을 최대화하는 것이다. 좀 더 구체적으로, 본 알고리즘은 기존의 버스우선신호 제공시 버스통행시간 감소로 인한 버스서비스질 개선의 장점을 유지하면서, 동시에 각 이동류별 교통상황에 대응하여 신호시간을 계산하는 과정을 통해 부도로의 교통상황을 고려하지 못한 기존의 알고리즘을 개선하였



<그림 1> 알고리즘의 구성

다. 본 장에서는 알고리즘을 주기, 녹색시간과 같은 신호제어변수와 관련지어 실시간신호제어시스템에 어떻게 적용하였는지를 살펴보고, 구체적인 상황별로 버스우선 신호 신호운영방안을 설정한다.

1. 주기결정

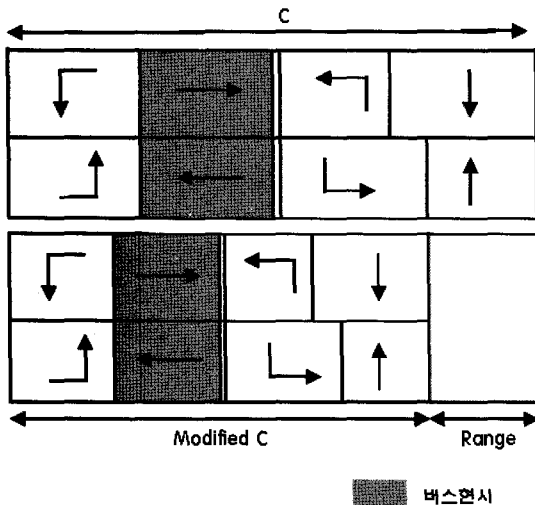
1) 수정주기의 개념

본 알고리즘에서는 교차로간 연동을 고려하기 위해 주기를 고정시키면서 버스우선신호를 제공하고 다른 이동류의 지체를 최소화하기 위하여 수정주기 개념을 도입하였다. 수정주기란, 적정주기에서 주기가 줄거나 늘어도 지체가 그다지 증가하지 않는 범위가 존재하는데 이 범위 내에서 버스우선신호 제공을 위해 줄인 주기를 뜻한다.

즉, 주기는 식(1)로 구성된다.

$$C = \text{modified } C + \text{Range} \tag{1}$$

여기서, C 는 교통상황에 의해 계산된 적정주기를 나타내고 $\text{modified } C$ 는 지체가 그다지 변하지 않는 범위 내에서 줄어든 수정주기를 의미한다. 여기서, 기존주기-수정주기='Range' 라고 정의하였고, Range는 버스가 검지되면 버스에게 우선신호를 제공하는 역할을 하고 그렇지 않을 경우에는 부도로의 손실을 보상해주는 신호시간을 제공하는 역할을 한다. 버스가 많을 경우, Range의 대부분



〈그림 2〉 수정주기

〈표 3〉 Range의 활용

버스우선신호제공으로 Range를 사용한 경우	버스우선신호 요청이 없을 경우 Range는 부도로의 손실을 보상
수정 Cycle	수정 Cycle
Range가 버스연시 연장에 사용됨	Range가 부도로 손실을 보쌈

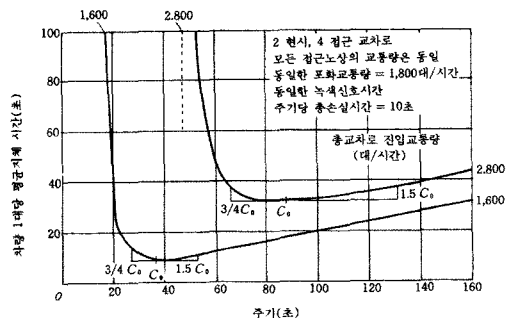
이 버사이동류가 포함된 현시내에 포함되게 되고 버스의 우선신호제공 요청이 없는 경우에는 부도로 현시 증가에 Range가 포함된다. Range의 활용은 〈표 3〉과 같다.

2) 수정주기의 근거

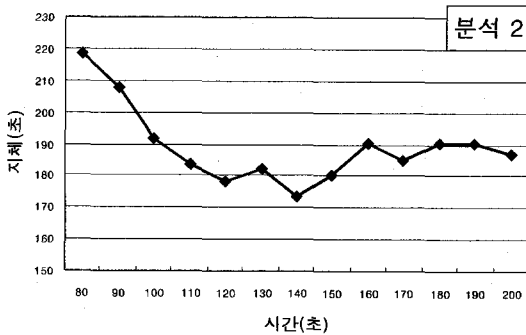
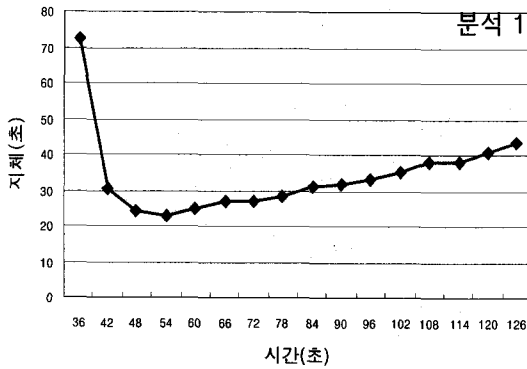
이러한 수정주기 도입의 근본적인 타당성이 되는 것은 Webster의 지체분석식이다(〈그림 3〉). 지체분석식을 통해 최적주기(C_0) 부근인 $0.75C_0 \sim 1.5C_0$ 정도의 범위에서 지체의 변동폭이 적음을 보여주었다.

Webster 지체분석식 〈그림 3〉과 같이 주기가 변해도 지체가 변하지 않는 구간이 존재하는지를 확인하기 위해 시뮬레이션을 통한 간단한 분석을 하였다. 분석은 독립교차로를 대상으로 하였고 차로수는 편도 4차로로 설정하였다. 교통량이 분석 1의 경우 1600대/시, 분석 2의 경우 2000대/시로 주기가 변함에 따라 지체가 어떻게 달라지는지를 살펴본 결과는 〈그림 4〉와 같다.

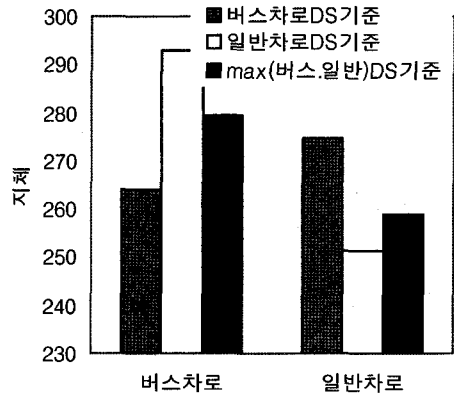
Webster 식과 마찬가지로 실제 시뮬레이션상에서도 최적주기 주위에서 지체가 변하지 않는 일정한 구간이 존재하는 것을 분석을 통해 확인하였다. 이 과정을 통해 적정주기를 줄인 수정주기를 이용하여도 지체가 유사하다는 것을 증명하였고, 수정주기 기반 버스우선신호를 제공함으로써 일반차량지체와 버스의 효율성을 둘 다 고려할 수 있었다.



〈그림 3〉 Webster 지체분석식



〈그림 4〉 주기변화에 따른 지체



〈그림 5〉 버스전용차로 고려한 지체비교(초/대)

- DS : 포화도
- EG : 유효 녹색시간(실제 운영된 녹색시간 + Yellow, sec)
- $\sum Space$: 비점유시간의 합(sec)
- N : 비점유시간의 수(veh)
- t' : 평균 포화비점유 시간(sec) : 버스의 포화차두시간을 고려하여 계산

2. 녹색시간 분할(Green Split)

1) 신호시간 계산과정

실시간신호제어시스템에서 각 이동류별 포화도를 이용하여 신호시간(C, g_1, g_2, g_3, g_4)을 계산한다. 주기가 줄어들어도 지체의 변동폭이 적은 수정주기(modified C)를 구한 후 수정주기 내에서 검지기 비점유시간 정보를 이용하여 차로별 포화도(DS)를 구하여 이동류별로 평균한 ADS, 녹색시간을 고려한 CDS, 추세값 FDS를 순차적으로 재계산하여 녹색시간(modified $C, g_1', g_2', g_3', g_4'$)을 재분할한다.

2) 버스이동류 고려한 신호제어

실시간신호제어시스템의 신호시간 계산과정은 일반차로를 대상으로 녹색시간을 결정한 것으로 버스전용차로의 특성, 대중교통수단으로의 버스중요성을 고려하지 못한 것이다. 따라서 본 연구에서는 버스전용차로의 특성을 고려하여 신호시간을 계산하고자 한다.

- 버스전용차로의 포화도 계산

$$DS = \frac{EG - (\sum Space - N \times t')}{EG} \quad (2)$$

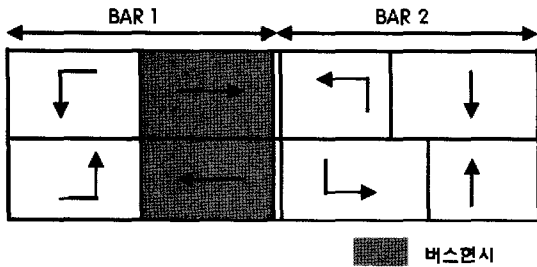
본 연구에서는 현장조사 결과 얻어진 버스의 포화차두시간(2.90초)을 바탕으로 시뮬레이션을 통해 산출된 버스의 초기 비점유시간(t')을 1.13초로 가정하여 분석하였다.

또한 버스차로의 특성을 고려하기 위하여 녹색시간 계산과정에서 기존의 ADS대신 MDS(Max Degree of Saturation)을 이용하였다. 이것은 일반차량과 버스를 동시에 고려하게 됨으로써 버스우선신호를 좀 더 효율적으로 운영할 수 있다. MDS를 기준으로 녹색시간을 계산한 결과 버스차로나 일반차로 각각의 ADS를 기준으로 한 경우에 비해 버스차로, 일반차로의 지체를 동시에 고려할 수 있었다(〈그림 5〉).

3) 버스전용차로의 신호운영제약

중앙버스전용차로 구간에서는 기본적으로 기존의 신호체계의 이동류와는 별도의 버스 이동류가 생성되게 된다. 이러한 이동류로 인해 '좌회전차로의 좌측에 버스전용차로'라는 새로운 상층 이동류가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 버스전용신호 등 다양한 신호기법의 적용이 가능하나 본 연구에서는 그러한 가능성을 배제하였다.

본 알고리즘의 신호운영은 dual-ring체계를 기본으



〈그림 6〉 신호운영제약

로 하였다. 단, 상충이동류가 발생하기 때문에 Barrier 좌측의 현시 1, 2와 현시 5, 6은 중첩현시를 허용하지 않았다.

3. 실시간신호제어시스템에서의 버스우선신호 알고리즘

수정주기를 이용한 주기계산과 버스전용차로의 특성을 이용한 녹색시간 계산을 바탕으로 여기에서는 구체적인 버스우선신호 운영방안을 설정하고자 한다.

1) 버스우선신호 제어전략

Early Green과 Green Extension은 현시의 순서 변경 없이 버스우선신호를 제공하기 때문에 운전자의 혼란을 줄여주고 안전과 대중교통의 소통 측면에서 효과가 높게 평가되고 있다. 따라서 본 연구에서는 Early Green과 Green Extension을 중심으로 버스우선신호를 제어하는 전략을 개발하였고 상황은 〈표 4〉와 같이 나눌 수 있고 구체적인 버스우선신호 제어전략을 설명하였다.

$$C = g1 + g2 + g3 + g4 \quad (3)$$

$$BAR1 = g1 + g2 \quad (4)$$

$$BAR2 = g3 + g4 \quad (5)$$

$$C = modified\ C + Range = g1' + g2' + g3' + g4' + Range \quad (6)$$

C : 적정주기

modified C : 수정주기

〈표 4〉 버스우선신호 CASE 분류

CASE 1	버스우선신호 요청이 없는 경우
CASE 2	Early Green
CASE 3	Green Extension
CASE 4	Early Green + Green Extension

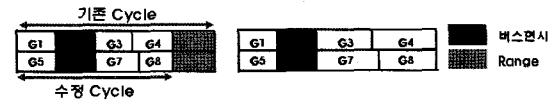
(1) CASE 1 (버스우선신호 요청이 없는 경우)

버스우선신호 요청이 없는 경우에는 Range 범위만큼을 부도로 현시($g3', g4'$)들이 포화도 비율대로 나누어 갖게 된다. 수정주기를 근거로 계산된 $g3', g4'$ 는 지체의 변화가 그다지 없는 신호시간으로 구성되어 있고, 버스우선신호 요청이 없는 경우 Range를 나누어 갖는 과정을 통해 버스우선신호제공으로 인해 생길 수 있는 부도로의 손실을 보상해준다.

〈표 5〉 CASE 1 신호시간 변화

우선신호제공 전	우선신호제공 후
$g1'$	$g1'$
$g2'$	$g2'$
$g3'$	$g3' \leftarrow g3' + Range \times \frac{CDS3}{CDS3 + CDS4}$
$g4'$	$g4' \leftarrow g4' + Range \times \frac{CDS4}{CDS3 + CDS4}$

주 : $g5', g6'$ 의 경우 $g3', g4'$ 와 동일한 방식으로 신호시간 계산



〈그림 7〉 CASE 1 : 버스우선신호요청이 없는 경우

(2) CASE 2 (Early Green)

버스현시($g2'$) 이전에 버스우선신호요청이 생긴 경우에는 해당 현시($g1'$)의 최소녹색시간을 확보한 후 버스현시의 녹색시간을 일찍 시작한다(Early Green). 이때, 이전현시($g1'$)의 손실을 보상하기 위해 Range내에서 그 손실만큼을 확보하여 다음 주기($g1_{n+1}' \leftarrow g1_{n+1}' + A$)에 보상한다. 그 후 남은 Range는 CASE 1과 마찬가지로 부도로 현시들이 포화도 비율대로 나누어 갖는다.

본 연구에서는 Early Green이 3번 연속 발생하지 않도록 설정하여 분석하였다.

〈표 6〉 CASE 2 신호시간 변화

우선신호제공 전	우선신호제공 후
$g1'$	$g1' \leftarrow g1' - A$
$g2'$	$g2' \leftarrow g2' + A$
$g3'$	$g3' \leftarrow g3' + (Range - A) \times \frac{CDS3}{CDS3 + CDS4}$
$g4'$	$g4' \leftarrow g4' + (Range - A) \times \frac{CDS4}{CDS3 + CDS4}$

다음주기 $g1_{n+1}' \leftarrow g1_{n+1}' + A$
 주 : A는 Early Green 된 녹색시간을 나타냄

$g5', g6'$ 의 경우 $g3', g4'$ 와 동일한 방식으로 신호시간 계산



〈그림 8〉 CASE 2 : Early Green

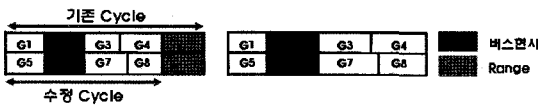
(3) CASE 3 (Green Extension)

버스현시(g_2')의 끝부분에 버스가 검지되어 그 현시 내에 버스가 교차로를 통과하지 못할 경우에는 최대연장시간, $Range$ 만큼 녹색시간을 연장할 수 있다. 수정주기를 사용하였기 때문에 다른 이동류의 지체를 고려하면서 버스우선신호를 효율적으로 제공할 수 있다. 또한 다음주기의 녹색시간 역시 이전주기의 이동류별 교통상황을 고려하여 계산하므로 나머지 이동류들의 손실을 줄여주게 된다. 이 경우 역시 녹색시간을 연장한 후에도 $Range$ 가 남았을 경우에는 부도로 현시들이 포화도비로 나누어 갖는다.

〈표 7〉 CASE 3 신호시간 변화

우선신호제공 전	우선신호제공 후
g_1'	g_1'
g_2'	$g_2' \Leftarrow g_2' + B$
g_3'	$g_3' \Leftarrow g_3' + (Range - B) \times \frac{CDS3}{CDS3 + CDS4}$
g_4'	$g_4' \Leftarrow g_4' + (Range - B) \times \frac{CDS4}{CDS3 + CDS4}$

주 : B는 Green Extension 된 녹색시간을 나타냄
 g_5', g_6' 의 경우 g_3', g_4' 와 동일한 방식으로 신호시간 계산



〈그림 9〉 CASE 3 : Green Extension

(4) CASE 4 (Early Green + Green Extension)

버스티전현시(g_1')에서 버스우선신호요청이 생겨서 Early Green을 실행한 후 버스현시(g_2') 녹색시간이 끝날 무렵 버스우선신호요청이 생기면 ($Range - A$)만큼 버스현시를 연장할 수 있다. 이 경우 역시 두 과정을 실행한 후 $Range$ 가 남는 경우에는 그 만큼 ($Range - A - B$)을 부도로 현시들이 배분하여 가진다.

이런 방식을 통해 주기를 고정한 상태에서, 다른 이동류의 교통상황을 고려하면서 버스우선신호를 제공한

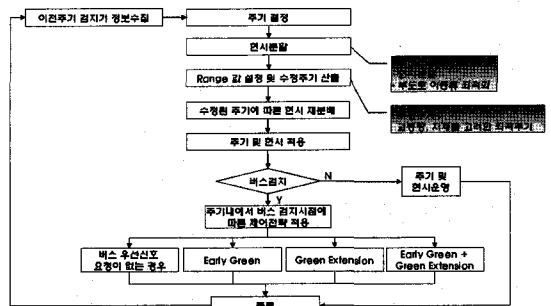
〈표 8〉 CASE 4 신호시간 변화

우선신호제공 전	우선신호 제공 후
g_1'	$g_1' \Leftarrow g_1' - A$
g_2'	$g_2' \Leftarrow g_2' + A + B$
g_3'	$g_3' \Leftarrow g_3' + (Range - A - B) \times \frac{CDS3}{CDS3 + CDS4}$
g_4'	$g_4' \Leftarrow g_4' + (Range - A - B) \times \frac{CDS4}{CDS3 + CDS4}$
다음주기 $g_{1_{n+1}}' \Leftarrow g_{1_{n+1}}' + A$	

주 : A는 Early Green 된 녹색시간을 나타냄
 B는 Green Extension 된 녹색시간을 나타냄
 g_5', g_6' 의 경우 g_3', g_4' 와 동일한 방식으로 신호시간 계산



〈그림 10〉 CASE 4 : Early Green + Green Extension



〈그림 11〉 실시간신호제어시스템에서의 버스우선신호 알고리즘 흐름도

다. 단기적으로 주기가 변동될 수 있으나 장기적으로는 주기길이의 N배가 되며, 읍셋 결정시 대기차량의 평균값을 이용하는 것¹⁾을 고려하면 이 정도의 변동은 큰 무리가 아닐 것이라 판단되었다.

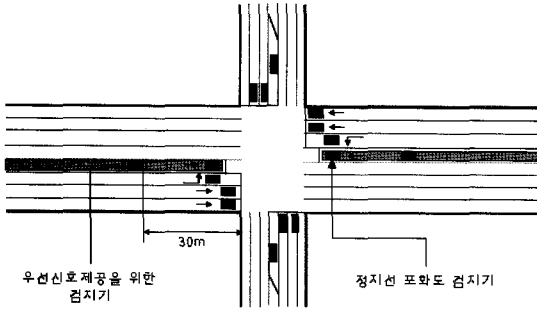
실시간신호제어시스템에서 버스우선신호 알고리즘을 정리하면 〈그림 11〉과 같다.

2) 검지기 체계

알고리즘을 위한 검지기 체계는 〈그림 12〉과 같이 구성된다.

실시간신호제어시스템의 각 이동류별 포화도를 계산하기 위해 각 차로별로 정보를 수집하는 정지선 검지기를 설

1) 실시간신호제어시스템의 읍셋결정과정 : 읍셋값을 대기행렬의 길이를 정확히 예측하여 산정하면 연동효과를 극대화시킬 수 있지만, 정확한 대기길이 예측이 매우 어렵고, 정확한 예측을 통해 대기차량의 길이가 파악되었다 하더라도 다음주기에서의 녹색신호 시작직전의 대기차량을 예측한다는 것은 역시 쉽지 않기 때문에 실시간신호제어시스템에서는 읍셋패턴을 선택하는 방식을 사용한다.



〈그림 12〉 검지기체계

치하였고 버스우선신호를 실행하기 위해 중앙버스전용차로의 버스검지기를 설치하였다. 버스검지기는 버스 정차시간 편차의 영향을 최소화하기 위해 버스가 버스정류장을 통과한 후 검지될 수 있도록 버스 정지선 상류부에 설치하였다.

IV. 알고리즘의 효과분석

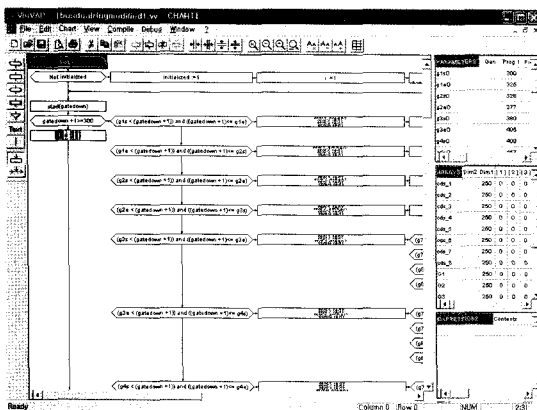
본 장에서는 앞장에서 정립한 알고리즘을 현장에 적용하기에 앞서 시뮬레이션을 통하여 그 효과를 평가하고 현장적용의 타당성을 검증하고자 한다.

1. 시뮬레이션 모형선택

본 연구에서는 모의실험 도구로 교통 프로그램인

모의실험 소프트웨어	기존 버스우선신호 TOD차선 버스우선 신호	7F 이상층 착륙부가 될 때의 시각 상황	VISSIM VAP용 버스우선신호 모듈 추가	외국 시나리오 설정	VISSIM 시뮬레이션 평가 MOE 실험
	실시간신호제어 차선 버스우선신호	실시간 신호제어 시스템 기반 화상도 기반, 녹색 시간 상황	VISSIM VAP용 실시간 신호제어 및 버스우선신호 모듈 추가		

〈그림 13〉 효과분석 흐름도



〈그림 14〉 VISSIM VAP 신호 및 버스우선신호 운영모듈

VISSIM과 VISSIM의 프로그래밍 언어인 VISVAP을 이용하여 버스우선신호 알고리즘의 효과를 분석하고 실제 적용가능성에 대하여 검증하기로 한다.

실시간신호제어시스템 및 버스우선신호는 VISVAP을 통하여 구현하였고 VISSIM 시뮬레이터의 지체 및 통행시간 등 객관적인 MOE를 통해 본 알고리즘을 평가하였다.

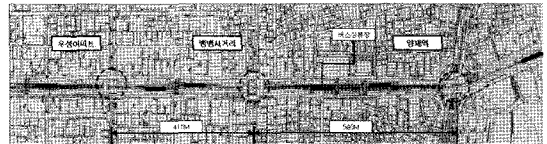
2. 모의실험

1) 대상지역 선정 및 현황

대상지역은 몇 가지 기준을 요구한다.

- 규칙적으로 버스가 다니는 노선이 존재
- 교차로가 실시간신호제어시스템으로 운영
- 도로혼잡으로 인해 버스의 서비스질이 저하되어 버스우선신호 제공이 필요한 도심지역

이러한 기준을 바탕으로 실시간신호제어시스템으로 운영되며 중앙버스전용차로가 있는 강남대로의 3개 교차로(양재역-뽕뽕사거리-우성아파트)를 대상으로 선정하였다. 대상지역의 기하구조 및 현황은 〈그림 15〉과 같다.



〈그림 15〉 대상지역 기하구조 및 현황

2) 네트워크 구성 및 기본가정

대상지역의 현황을 바탕으로 분석에 필요한 네트워크를 구성하였다. 각 교차로는 4지 모든 방향 좌회전이 가능하다고 가정하였고, 양재지하차도는 고려하지 않았다. 현재 좌회전을 하고자 하는 주도로(중앙버스전용차로) 버스 이동류는 중앙버스전용차로가 아닌 일반차로에서 좌회전을 하게 되어 있기 때문에 분석대상 버스교통류는 중앙버스전용차로를 통과하는 직진으로 한정하였다. 신호운영은 8개 현시의 선형좌회전 방식을 선택하였다. 중앙버스전용차로의 직진 버스 이동류와 일반차량 좌회전 이동류의 상충이 생기므로 버스 현시가 포함된 Barrier 좌측의 현시 1, 2와 현시 5, 6은 중첩 현시를 허용하지 않았다.

3. 효과척도

1) 버스통행시간

먼저, 버스통행시간은 버스우선신호 제공효과를 나타내는 일차적인 지표로 이를 통해 버스의 서비스질 향상 정도를 알 수 있는 지표이다. 버스우선신호 시행시 버스통행시간의 감소정도를 알아보았다.

2) 교차로 차량당 평균지체

일반차로, 특히 부도로의 교통상황을 고려하며 버스우선신호를 제공하는 본 알고리즘의 효율성을 측정하기 위해 교차로 총지체를 비교하였다. 또한 버스우선신호 실시로 인한 이동류별 영향을 알아보기 위해 각 이동류별 지체를 살펴보았다.

3) 사람 평균지체 (Person Delay)

사람 평균지체는 대중교통의 대량수송 특성을 반영한 지표로써 버스우선신호와 같은 대중교통우선정책 시행의 뒷받침이 되는 효과척도이다. 사람 평균지체는 버스의 재차인원을 고려하여 계산된다. 본 연구는 기존의 버스우선신호에 비해 부도로의 손실을 줄여주면서 동시에 우선신호의 장점은 유지하는데 목적이 있으므로, 사람 평균지체가 직접적인 효과척도는 아니나 대중교통으로써 버스의 중요성을 인지하여 효과척도로 포함시켜 분석하였다.

4. 시나리오 설정

시나리오 설정에 앞서 본 연구에서 정립한 실시간신호 제어시스템('신신호')하의 버스우선신호 알고리즘을 '신신호+버스우선신호'로 표현하고 이 알고리즘이 미치는 영향 및 효과를 잘 나타낼 수 있도록 시나리오를 설정하였다.

먼저 수정주기를 이용한 본 버스우선신호 알고리즘의 타당성을 검증하기 위해 다른 현시의 최소녹색시간을 보장한 상태에서 버스우선신호를 제공하는 기존의 버스우선신호('TOD+버스우선신호')와 비교 분석한다. 또한, 교통량수준에 따라 알고리즘의 효과를 알아보기 위해 일반교통량을 비포화/포화로 구분, 버스교통량을 대/소로 구분하여 시나리오를 설정하였다. 기존 버스우선신호와의 비교, 교통량 수준, 버스교통량 수준 등 여러 가지를 고려한 최종 시나리오는 <표 9>와 같다.

<표 9> 버스교통량

시나리오	교통량 (V/C)	버스교통량	신호운영	case
시나리오 1 (1900대/시) PHF=0.85		소 (120대/시)	신신호	case1
			신신호+버스우선신호	case2
			TOD+버스우선신호	case3
시나리오 2 (1900대/시) PHF=0.85		대 (240대/시)	신신호	case4
			신신호+버스우선신호	case5
			TOD+버스우선신호	case6
시나리오 3 (2400대/시) PHF=0.85		소 (120대/시)	신신호	case7
			신신호+버스우선신호	case8
			TOD+버스우선신호	case9
시나리오 4 (2400대/시) PHF=0.85		대 (240대/시)	신신호	case10
			신신호+버스우선신호	case11
			TOD+버스우선신호	case12

V. 결과 및 해석

1. 신호변수의 설정

결과 분석에 앞서 지체가 변하지 않는 범위 내에서 *Range*가 결정되고 수정주기가 산출되게 되는데 시나리오별로 산출된 *Range*를 간단하게 정리해 보았다.

주기는 T7F 적정주기를 사용하였다. 적절한 *Range*를 정하기 위해 적정주기에서 -10초씩 주기를 줄여 지체를 비교하였다. 주기가 변하여도 지체가 그다지 증가하지 않는 범위를 *Range*로 설정하여 교통량이 적은 시나리오 1, 시나리오 2의 경우 *modified C*는 80초로, 교통량이 포화상태인 시나리오 3, 시나리오 4의 경우는 *modified C*를 130초 설정하여 분석하였다.

<표 10> *Range*정리

	T7F적정주기	<i>modified C</i>
시나리오 1, 시나리오 2 비포화	100	80
시나리오 3, 시나리오 4 포화	150	130

2. 결과분석

1) 차량당 지체 분석결과

시나리오 1은 일반교통량 비포화상태, 버스교통량은 적은 경우에 해당된다. 네트워크가 비포화 상태이고 버스교통량도 적은 수준이기 때문에 '신신호+버스우선신호'의 총지체가 45.8초/대로 44.1초/대인 '신신호'의

〈표 11〉 시나리오별 지체(초/대)분석

구분		주도로		부도로		총지체
		NB	SB	WB	EB	
시나리오 1	신신호	52.8	49.9	36.0	39.8	44.1
	신신호 + 버스우선신호	49.0	47.1	34.1	39.2	45.8
	TOD + 버스우선신호	47.1	49.0	37.3	47.6	49.1
시나리오 2	신신호	50.3	49.9	36.1	39.2	47.0
	신신호 + 버스우선신호	42.9	42.9	38.3	43.2	51.8
	TOD + 버스우선신호	46.5	44.3	38.9	51.5	52.2
시나리오 3	신신호	73.9	72.8	49.2	54.2	65.8
	신신호 + 버스우선신호	68.8	69.7	47.6	54.7	65.8
	TOD + 버스우선신호	68.6	65.3	79.3	83.2	79.2
시나리오 4	신신호	74.4	70.3	53.4	54.9	69.9
	신신호 + 버스우선신호	59.0	56.4	77.2	66.3	75.1
	TOD + 버스우선신호	67.9	58.7	74.9	90.4	84.1

경우보다 크게 발생하고 있다. 그러나 TOD 기반의 우선신호에 비해 비교적 낮은 지체를 나타내고 있다.

시나리오 2는 일반교통량 비포화상태, 버스교통량은 많은 경우이다. 버스교통량이 많기 때문에 3가지 신호 운영 case에 대해 시나리오 1과 비교하여 전반적으로 지체가 크게 발생한다. 이 시나리오에서도 '신신호+버스우선신호'가 51.8초/대로 47.0초/대인 '신신호'에 비해 지체가 크게 나타난다. 하지만 'TOD+버스우선신호'에 비해 부도로의 손실을 고려한 신호시간 계산을 통해 지체를 줄여나가는 것을 확인할 수 있다.

시나리오 3은 교통량 포화상태, 버스교통량 적은 경우이고 시나리오 4는 교통량 포화상태, 버스교통량은 많은 상태에 해당된다. 이 경우에서도 '신신호+버스우선신호'가 버스우선신호를 실시하지 않은 '신신호'와 비교했을 때에 차량당 제어지체는 늘어나는 것으로 나타났다. 종합적으로 볼 때, 교차로 총지체의 경우 '신신호+버스우선신호'는 '신신호'보다는 높게 나타났지만, 주어진 교통상황하에서 최대한 부도로의 지체증가를 억제하는 것으로 분석되었다.

2) 교차로별 버스지체 분석결과

버스우선신호를 실시하면서 주도로, 부도로의 미치는 영향을 각각 살펴보기 위해 각 교차로의 총지체와 버스 이동류의 지체값을 분석하였다. 결과는 〈표 12〉와 같다.

전반적으로 '신신호+버스우선신호' 경우 버스의 지체는 모든 대상 교차로에서 대부분 감소하는 것으로 나타났다으며 이를 통해 버스우선신호의 적용이 버스서비스 향상에 어느정도 효율성을 나타낸다고 판단할 수 있다. 교차로 총 지체는 차량당 제어지체를 통해 산출되는 것이므로 버스를 고려하지 않고 모든 차량을 동등하게 제어하는 신신호의 경우가 보다 효율적인 것으로 분석되었다. 그러나 신신호에 우선신호를 적용한 경우 그 차이를 가능한 한 최소화하는 것으로 분석되었다. 즉 비교적 일반차량의 교통상태가 비포화의 경우에는 거의 유사한 지체도를 산출하고 있는 것으로 확인되었다.

3) 버스통행시간 분석

버스통행시간은 버스우선신호를 실행하였을 경우에

〈표 12〉 교차로별 총지체(초/대) 및 버스지체 분석결과

구분	교차로 (이동류)	양재역사거리			뽕뽕사거리			우성아파트		
		bus (NB)	bus (SB)	교차로 총지체	bus (NB)	bus (SB)	교차로 총지체	bus (NB)	bus (SB)	교차로 총지체
시나리오 1	신신호	48.9	55.4	41.7	55.3	66.1	47.8	63.1	36.7	41.6
	신신호+버스우선신호	43.4	54.9	43.6	50.9	61.5	50.8	62.2	33.1	42.4
	증감률 (%)	-11.2	-0.9	4.6	-8.0	-7.0	6.3	-1.4	-9.8	1.9
시나리오 2	신신호	41.8	56.2	40.4	54.2	65.8	47	63.7	37.2	42.4
	신신호+버스우선신호	32.5	52.1	43.3	50.4	55.9	52.3	55	30.8	51.4
	증감률 (%)	-22.2	-7.3	7.2	-7.0	-15.0	11.3	-13.7	-17.2	21.2
시나리오 3	신신호	65.3	93	63.2	94	82.5	68.7	76.4	60.2	61.4
	신신호+버스우선신호	61.4	91.1	62.9	91	82.1	69.7	66.8	53.6	60.8
	증감률 (%)	-6.0	-2.0	-0.5	-3.2	-0.5	1.5	-12.6	-11.0	-1.0
시나리오 4	신신호	68.1	92.4	62.3	93.4	85	69	76.2	54.5	63.6
	신신호+버스우선신호	51.2	78.2	63.2	83	58.8	74.4	50.6	47.6	76.5
	증감률 (%)	-24.8	-15.4	1.4	-11.1	-30.8	7.8	-33.6	-12.7	20.3

〈표 13〉 시나리오 1 버스통행시간(초)

		신신호	신신호 + 버스우선신호
시나리오 1	NB	391.7	386.1
	SB	397.3	387.8
시나리오 2	NB	500.0	477.2
	SB	506.2	481.1
시나리오 3	NB	496.1	493.1
	SB	494.4	492.6
시나리오 4	NB	587.2	552.6
	SB	586.3	551.3

버스의 서비스개선이 어느 정도 되었는지를 알 수 있는 일차적인 효과적도이다. 버스통행시간은 NB(양재역→우성아파트), SB(우성아파트→양재역)로 나누어 수집하였다. 그 결과는 〈표 13〉에 나타나 있다.

시나리오 1의 경우 NB의 버스통행시간은 '신신호'는 391.7초, '신신호+버스우선신호'는 386.1초로 버스통행시간이 개선되었음을 알 수 있고 시나리오 3의 경우 버스통행시간은 NB(양재역→우성아파트)의 경우 496.1에서 493.1초로, SB(우성아파트→양재역)은 494.4초에서 492.6초로 개선되었다.

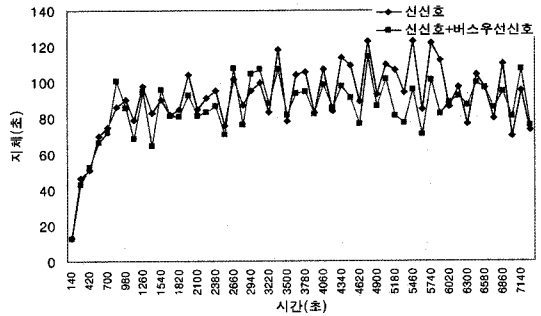
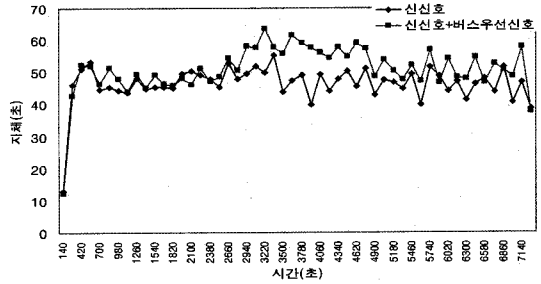
버스교통량이 많은 시나리오 2의 버스통행시간은 증가한 교통량으로 인해 시나리오 1, 2에 비해 증가하였다. 하지만 '신신호', '신신호+버스우선신호'를 비교했을 때 버스통행시간이 약 20초 정도 줄어든 것을 확인할 수 있다. 시나리오 2은 버스교통량이 많은 경우(200대/3600초)이기 때문에 버스통행시간의 감소폭 또한 크다. 마지막으로 시나리오 4의 경우는 NB(양재역→우성아파트)의 경우 587.2초에서 552.6초로 감소하였고, SB(우성아파트→양재역)의 경우 586.3초에서 551.3초로 버스통행시간이 감소하였다. 분석결과 전체적으로 버스 우선신호를 적용한 경우 버스의 통행시간이 감소되었음을 알 수 있다.

4) 사람지체(Person Delay) 분석

버스우선신호 등 버스의 효율성 증진을 위한 대부분의 연구에서는 대중교통 수단으로써의 버스의 서비스질 개선을 위해 사람지체(Person Delay)를 효과적으로 사용하기도 한다. 이렇게 할 경우 차량 당이 아닌 사람을 기준으로 지체를 계산하기 때문에 재차인원이 많은 버스의 지체가 줄어드는 것은 전체 신호제어의 효율성을 보다 향상시킬 수 있다. 버스우선신호기능이 포함된 교통대응제어는 버스를 고려하지 않은 제어방법보다 차

〈표 14〉 Person Delay 비교

	차량당지체(초/대)	인당 지체(초/인)
신신호	46.3	90.6
신신호+버스우선신호	50.8	85.4



〈그림 16〉 차량당 지체(위)/사람 지체(아래)비교

량당 지체는 높을 수 있지만 사람지체를 효과적으로 사용하는 경우 그 효율성을 인정받을 수 있다.

본 연구는 핵심은 교통대응제어에 버스우선신호를 도입하여 부도로의 지체를 줄이면서 버스우선신호를 제공한다는 관점에서 연구를 수행하였기 때문에 사람당 지체가 반드시 중요한 효과적도라고 할 수는 없지만, 차량당 지체와의 비교를 위해 〈표 14〉, 〈그림 16〉의 결과를 제시하였다. 이는 차량당 재차인원을 20명/대로 가정하여 분석한 결과로 재차인원이 증가할수록 버스우선신호는 더욱 효율성이 높은 신호운영방안이 될 것으로 판단된다.

VI. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 도심에서의 대중교통, 특히 버스의 효율성 향상을 위해 실시간신호제어시스템에서의 버스우선신호 알고리즘을 정립하고, 모의실험을 통해 그 효과를 평가하였다. '실시간신호제어시스템에서의 버스우선신호 알고리즘'은 포화도를 기반으로 교통량에 대응

하여 녹색시간을 산정하는 실시간 신호제어를 기반으로 인접교차로간 연동을 유지하면서 버스의 제약조건을 만족하여 우선신호를 제공하는 것이다. 주기결정과정에서 주기를 고정시키면서 버스우선신호를 제공하고 부도로의 손실을 보상하기 위해 지체가 그다지 변하지 않는 범위내에서 수정주기를 이용하였다. 녹색시간 계산과정에서는 버스전용차로의 특성 및 버스 이동류의 특성을 고려하여 포화도를 기반으로 교통량에 대응하여 녹색시간을 산정하도록 하였다. 버스가 검지되면 주거내에서 버스가 검지된 시점에 맞춰 Early Green, Green Extension의 버스우선제어전략을 실행하였다. 효과분석은 크게 교통량 수준이 포화·비포화일 경우, 버스교통량이 대·소일 경우로 나누어 시나리오를 구성하였고, 신호운영방안은 'TOD+버스우선신호'(기존의 버스우선신호), '신신호+버스우선신호'(본 연구의 알고리즘), '신신호'(버스우선신호 실행하지 않은 실시간신호 제어시스템)로 구분하여 시행하였다.

모의실험을 통해 얻을 수 있는 결론은 다음과 같다. 'TOD+버스우선신호'와 '신신호+버스우선신호'의 비교를 통해 수정주기를 이용하여 우선신호를 제공하고 부도로 손실을 줄이는 본 알고리즘이 기존의 버스우선신호에 비해 교차로 총지체를 줄여주는 것을 확인하였다. 또한 '신신호'와 '신신호+버스우선신호'의 비교를 통해 버스우선신호가 교통류에 미치는 영향을 알아보았는데, 버스가 포함된 이동류 및 버스차로 지체의 감소, 버스통행시간의 감소를 통해 버스서비스의 개선 효과가 확인되었다. 또한 사람지체를 효과적으로 분석한 결과 '신신호+버스우선신호'의 경우가 버스우선신호를 실시하지 않은 '신신호'에 비해 사람지체가 감소하였다. 이는 대량수송수단인 버스 한 대의 지체가 감소할 경우 그 지체를 재차인원으로 환산한 사람지체의 감소효과는 훨씬 더 커지는 것을 알 수 있다.

본 연구는 몇 가지 한계점을 가지고 있다. 그에 따른 향후 연구과제는 다음과 같다. 첫째, 수정주기 산출시 변동범위, *Range* 결정과정의 보완이 필요하다. 본 연구에서는 *Range* 범위를 단지 총지체만을 고려하여 지체가 변하지 않는 범위 내에서 적정 신호주기를 *modified C*로 설정하여 분석하였다. 향후 버스교통량이나 부도로의 교통상황을 더 민감하게 고려하는 *Range*를 산출하여야 할 것이다. 둘째, 버스우선신호가 적용된 신호제어의 주기산출과정 및 교차로간 연동방안에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 T7F를 이용하여

각 교통량에 적절한 주기를 산정하여 결과를 분석한 것으로 주기결정과정 및 옵션방향이 변하는 신호제어과정에서의 버스우선신호 적용이 미흡하다. 향후 이러한 부분의 연구가 필요하다. 마지막으로, 버스의 배차간격 및 버스정차패턴을 고려한 버스우선신호에 대하여도 연구될 필요가 있다.

참고문헌

1. 원제무(2001), "교통공학원론", 청문각.
2. 구지선(2003), "버스우선신호 개발 및 평가", 서울시립대학교 석사학위논문.
3. 김수현(2003), "버스 정시성 향상을 위한 버스우선신호 제어기법", 서울대학교 대학원 석사학위논문.
4. 이성엽(2004), "중양버스전용차로 환경에서 교차로 버스우선처리(Bus Gate)에 관한 연구", 서울시립대학교 석사학위 논문.
5. 서울특별시(2003), "신신호시스템 검증·평가".
6. 서울지방경찰청 교통지도부(2002), "실시간신호제어시스템실무해설집".
7. Davol, A.P.(2001), "Modeling of Traffic Signal Control and Transit Signal Priority Strategies in a Microscopic Simulation Laboratory", MIT 석사학위 논문.
8. Mirchandani, P.(2001), L. Head, "An Approach towards the Integration of Bus Priority and Traffic Adaptive Signal Control, and Bus Information/Scheduling System", TRB 80th Annual Meeting.
9. Liu, H.(2003), "A Dynamic Model For Adaptive Bus Signal Priority", TRB 82th Annual Meeting.
10. Feng, Y.(2003), "Bus Priority of SCOOT Evaluated in a VISSIM Simulation Environment", TRB 82th Annual Meeting.
11. Dion, F., B. Hellings(2002), "A rule-based real-time traffic responsive signal control system with transit priority : application to an isolated intersection", TRB v.36 pp.325~343.
12. Ova, K., A. Smadi(2001), "Evaluation of

- Transit Signal Priority Strategies for Small-Medium Cities”, TRB 80th Annual Meeting.
13. Baker, R.J. et al.(2002.), “An Overview of Transit Signal Priority”, Intelligent Society of America.
14. Chada, S., Newland, R.(2002), “Effectiveness of Bus Signal Priority”, National Center for Transit Research, University of South Florida, Florida DOT and US DOT.

✉ 주 작 성 자 : 한명주

✉ 교 신 저 자 : 한명주

✉ 논문투고일 : 2006. 5. 16

✉ 논문심사일 : 2006. 7. 5 (1차)

2006. 9. 4 (2차)

2006. 10. 15 (3차)

2006. 10. 23 (4차)

✉ 심사판정일 : 2006. 10. 23

✉ 반론접수기한 : 2007. 4. 30