

좌회전 감응제어를 통한 중앙버스전용차로 운영 효율 개선

Actuated Left-turn phase treatments improving operational efficiency of exclusive median bus lane

김 균 조
(서울시립대학교 대학원 박사과정)

김 진 태
(서울지방경찰청 교통개선기획실장)

김 영 찬
(서울시립대학교 교통공학과 교수)

마 국 준
(서울특별시 교통시설과장)

최 영 은
(서울시립대학교 대학원 석사과정)

김 범 용
(도로교통안전관리공단 신호운영실)

목 차

I. 서론

1. 연구 목적
2. 연구 범위

II. 연구배경

1. 버스우선신호
2. 해외사례
3. 중앙차로신호

III. 좌회전 감응제어기반 버스신호제어

1. 검지체계 구축
2. 적용조건

IV. 검증 평가

1. 모의실험 기반 검증 평가
2. 현장실험 검증 평가

V. 결론 및 향후 연구과제

참고문헌

I. 서론

서울시 주요 간선도로에 중앙버스전용차로가 2004년 설치 및 운영된 이후 2007년 4월 현재 9개축으로 확대 운영되고 있다. 중앙버스전용차로 구간 중 실시간신호제어시스템이 적용되고 있던 구간에서는 검지체계 손실, 버스 전용신호 미설치, 신호운영알고리즘 미개선 등으로 인해 신호운영은 정주기방식으로 제한되어 운영되고 있다. 중앙버스전용차로가 점진적으로 늘어나 대중교통 이용자의 편익이 증가되는 반면, 현재 해당분야의 개선이 없어 신호운영 탄력성은 지속적으로 제약되고 있다.

근본적인 신호운영의 제약은 중앙버스차로가 좌회전차로 좌측에 위치하는 기하구조 특성에 기인한다. 해당 기하구조 특성 상 현시조합 측면에서 직진과 좌회전 신호를 동시에 표출할 수 없는 제약이 존재한다. 따라서 중앙버스전용차로 구간의 현재 교통신호체계는 일반차량 직진과 좌회전 진행 신호를 항상 분리하여 운영할 수 밖에 없다. 이러한 제약을 해결하기 위하여 최근 중앙차로에 별도의 신호를 부여하는

“중앙차로신호”에 대한 연구가 수행되었다.

중앙차로신호 적용사례로 신촌세브란스 병원 앞 신호교차로(2006년 5월 신설)가 있다. 기존에 중앙차로신호가 없을 시 불합리한 신호운영(추후 논의됨)으로 운전자들의 혼란을 초래하여 그 충격파가 연대방향 접근로까지 영향을 미쳤다. 해당 지점에 중앙차로신호를 설치(2006년 10월)하여 운전자들의 혼란을 소거하였다. 이처럼 서울시 중앙버스전용차로 구간 내 중앙차로신호 등 설치를 통해 소통 개선을 기대할 수 있는 지점은 약 30여개 교차로에 달한다.

또한 중앙버스전용차로를 이용하는 버스 교통류의 서비스 환경을 증진하기 위하여 버스우선신호 적용에 대해 논의되고 있다. 서울시의 경우 차로용량에 가까운 버스 교통량을 배차하며 운영하고 있다. 따라서 버스현시걸이를 직접 조절하는 일반적 버스우선신호 운영의 도입은 서울시 교통조건에서 현실적이지 않다.

중앙차로신호를 활용하여 일반차량 소통증진과 중앙차로 버스 흐름 수준을 동시에 개선하는 근본적이고 체계적인 교통신호부문 개선노력이 요구된다.

1. 연구 목적

본 연구에서는 중앙버스전용차로 구간 일반 차량의 소통 상태를 개선하는 “중앙차로신호”를 적극 활용함과 동시에 중앙버스전용차로 이용 버스 소통 상태를 동시에 개선하는 방안을 제안 및 검토한다. 본 연구에서는 좌회전 진행이 허용되는 신호교차로에서 좌회전 신호를 감용제어하여 버스 현시의 유효녹색시간을 증가하며 중앙버스전용차로의 교통흐름을 증진시키는 방안을 모색한다.

2. 연구 범위

본 연구에서 제안하는 방안은 비침두시간대 좌회전 수요가 없거나 적은 경우로 그 적용범위를 제한한다. 좌회전 교통 수요가 많을 경우 좌회전 현시길이가 최대녹색시간까지 증가하여 그 효율이 정주기식과 동일한 조건에서 운영되기 때문에 제안된 방법으로 개선을 기대할 수 없다.

II. 연구배경

중앙버스전용차로 구간 버스 및 일반차량 소통흐름 상태 개선을 위한 버스우선신호, 해외적용사례, 중앙차로신호 등에 대한 기존 연구를 검토한다.

1. 버스우선신호

버스우선신호는 크게 수동식(Passive priority)과 능동식(Active priority) 두 방식으로 구분된다. 수동식 버스우선신호는 고정시간 제어전략을 기반으로 하여 검지 유무와는 상관없이 미리 정해진 신호 계획에 따라 버스우선신호가 제공되는 방식이다. 미리 정해진 신호계획에 따라 우선신호를 제공하는 것으로, 도로 기하구조 및 교통 상황, 버스 운행 스케줄을 기반으로 기 설정된 현시 분할(Phase splitting) 및 주기 변화를 적용하여 버스에게 통행우선권을 유리하게 부여하는 방법이다. 승용차보다 버스에 더 많은 현시 시간을 부여하거나, 버스 중심의 교차로

간 연동이 이루어지는 방법으로 주기길이가 길수록 지체가 길어지기 때문에 주기길이를 가능한 짧게 하는 것을 기본으로 한다.

능동식 버스우선신호는 버스의 검지 유무에 따라 적절한 버스신호가 가·감되어 제공되는 방식이다. 이들 버스우선신호는 실시간 신호제어 여부에 따라 고정시간 신호제어 전략(Fixed time control strategy)과 실시간 신호제어 전략(Real time control strategy)으로 구분된다.

고정시간 제어전략은 과거 교통패턴을 통해 사전에 계획된 신호제어전략을 기반으로 버스우선신호를 제공하는 방식이다. 교통변화가 적으며 버스교통량이 많은 지점의 경우 유리하다. 이는 사전 계획된 교통신호시간을 활용하는 정적인 방법으로 수동식 버스우선신호가 주로 이에 속한다.

실시간신호제어 전략은 버스 검지상황을 토대로 상황에 따라 우선신호를 실시간으로 제공하는 방식이다. 버스는 검지거나 비콘 등 노변통신장치를 통해 우선신호를 요청하고 이에 버스현시를 실시간으로 응답/제공해 준다. 단시간 내 교통류 변화폭이 큰 지점에서 신호운영 효율을 극대화 할 필요가 있을 경우 유리하다. 이는 버스 검지여부에 따라 신호를 결정하는 방법으로 능동식 버스우선신호가 이에 속한다.

능동식 우선신호는 노선별 우선신호 서비스 제공 가능여부에 따라 제약(Conditional)우선신호와 무제약(Unconditional priority)우선신호로 구분된다. 제약 우선신호는 승객 수, 노선 스케줄 준수정도, 마지막 우선신호 제공된 후 시간 등의 일정조건이 만족할 때 해당노선에 우선신호를 제공하는 방식으로, 버스검지 시에 노선 및 차량의 구분이 필요한 것이 특징이라 할 수 있다. 무제약 우선신호는 검지되는 모든 버스에 우선 신호를 제공해 주는 방식으로 노선 및 차량의 개별 검지가 필요 없이 전용차로 내의 지점검지기만으로 운영하는 방식이다.

또한 능동적 우선신호는 “사전기반 우선신호(Preemption)”와 “시간기반 우선신호(Priority)”로 구분된다. 시간기반 우선신호는 우선신호 제공을 위해 대중교통현시가 정상 운영상태보다 일찍 시작되는 방식의 선녹색(Early green), 우선신호 제공을 위해 대중교통현시가 정상 운영상태보다 길게 연장하여 운영하는 방식의 녹색

연장(Green extension), 대중교통 좌회전 전용차로에서 검지가 이루어졌을 경우 정상 운영 상태에서 대중교통 현시가 삽입되는 방식의 감응 버스현시(Actuated transit phase) 기법이 있다.

사건기반 우선신호는 대중교통이 검지되고 우선신호가 요청될 경우 정상 운영 상태에 대중교통 현시가 삽입되는 방식(Phase insertion), 부도로 녹색시간동안 대중교통 우선신호 요청을 받게 되었을 경우 현시 순서를 바꾸어서 우선신호가 제공되는 방식(Phase rotation), 대중교통이 검지되고 우선신호가 요청될 때 수요가 적은 현시생략 방식(Phase suppression)이 있다.

2. 해외 사례

버스우선신호 알고리즘의 해외 적용 사례를 살펴본 결과 <표 1>에서 보는바와 같이 버스 운영 효율측면에서 효과가 있음을 보여주고 있다.

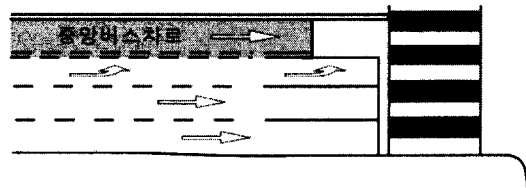
<표 1> 국외 버스우선신호 적용 사례

전략	지역	평가
Early green, Green Extension	Portland, OR Tualatin Valley, Hwy.	• 버스통행시간 1.4-6.4% 감소 • 버스지체 20% 감소
	Portland, OR Powell Blvd.	• 버스통행시간 5-8% 감소 • 버스승객지체 감소
	Seattle, WA Rainier Ave.	• 버스통행시간 8% 감소 • 버스지체 34% 감소 • 버스 정지수 24% 감소
	Seattle, WA Rainier at Genesee	• 버스 교차로통과시간 35% 감소 • 교차로에서의 사람당지체 13.5% 감소 • 버스 신호관련 정지수 50% 감소 • 버스 신호지체 57% 감소
	Washington, DC	• 버스통행시간 22-32% 감소 • far-side 부도로 통행시간 6-30% 증가 • near-side 부도로 통행시간 9-66% 증가
	Chicago, IL Cermak Rd.	• 버스통행시간 7-20% 감소 • 버스스케줄 신뢰도 향상 • 차량지체 1.5sec/veh 감소 • 부도로지체 8.2sec/veh 증가
Early green, Green extension	Minneapolis, MN Louisiana Ave.	• 버스통행시간 0-38% 감소 • 차량지체 4.4sec/veh 증가
Actuated transit phase	Los Angeles, CA Wilshire & Ventura Blvds.	• 버스주행시간 8% 감소 • 버스지체 35% 감소
Early green, Green extension Skip phase	Ann Arbor, MI	• 버스 통행시간 6% 감소 • 버스 배차간격이 15분미만시 효과적

우리나라 특히 서울과 비교할 때 이들 해외 도시들은 일반도로 교통상태가 비교적 양호하며 시간당 버스 교통량도 상대적으로 많지 않은 것으로 알려져 있다.

3. 중앙차로신호

중앙버스전용차로구간 중 좌회전 진행이 허용되는 신호교차로는 <그림 1>과 같이 좌회전 차로가 중앙버스차로와 일반 직진차로 사이에 위치한다.



<그림 1> 중앙버스전용차로 접근로별 이동류

현재 하나의 접근로에 위치하는 중앙차로 버스, 일반차량 직진, 일반차량 좌회전 이동류의 진행을 일반적인 형태의 신호등인 횡형사색등을 활용하여 신호운영하고 있다.

1) 횡형사색등의 제약

우리나라 교통신호등은 교통신호기설치·관리 매뉴얼(경찰청, 2006)이 규정하는 기준에 의거 설치 및 운영되고 있다. 신호교차로(좌회전 허용)에는 일반적으로 횡형사색신호등이 사용되고 있으며, 횡형사색등은 좌로부터 횡방향으로 적색, 황색, 녹색화살표시, 녹색 렌즈로 구성된다(경찰청, 2006).

버스 운전자는 횡형사색등 중 직진신호(녹색 렌즈)를 확인하며 좌회전 차로의 좌측으로 직진한다. 일반 직진차량 운전자들 역시 횡형사색등 직진신호(녹색 렌즈)를 확인하며 진행한다. 횡형사색등 녹색 렌즈는 일반차량 직진 및 중앙버스전용차로 버스 직진신호를 동시에 제어한다. 좌회전 차량은 횡형사색등 좌회전 신호를 확인하며 진행한다.

횡형사색등 녹색렌즈는 버스 직진 및 일반차량 직진 진행허용 신호를 동시에 표출한다. 횡형사색등에서 직진과 좌회전 신호가 동시에 표

출되는 경우(동시신호의 경우), <그림 2>와 같이 좌회전과 버스 직진 움직임은 서로 상충한다. 중앙버스전용차로가 좌회전차로의 좌측에 위치하는 도로 기하구조 특성상 발생하는 문제이다.



<그림 2> 횡형사색등 직·좌 동시등화 시 상충

이러한 문제로 현재 중앙버스전용차로구간 신호교차로에서는 직진과 좌회전 신호를 항상 분리하여 표출하고 있다. 확실적인 직·좌 분리 현시조합의 사용은 증첩현시의 적용을 근본적으로 배제한다. 직·좌 분리 신호운영만을 일률적으로 적용하게 되어 중앙버스전용차로구간 신호운영 효율성은 매우 낮다.

2) 중앙차로신호

중앙버스전용차로 구간의 효율적 신호운영을 위해 교통상황에 따라 유연하게 대체할 수 있는 신호운영체계가 마련되어야 한다. 우선적으로 확실적인 직·좌 분리 현시조합 제약에서 탈피하여야 하며, 이를 위하여 <그림 3>과 같은 별도의 중앙차로신호의 설치가 요구된다.



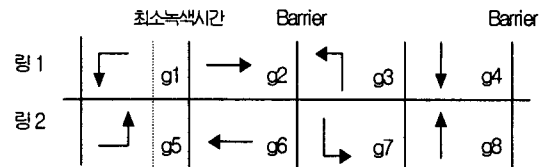
<그림 3> 중앙차로신호를 통한 직·좌 동시등화

중앙버스전용차로를 주행하는 차량만을 별도로 제어하기 위하여 "중앙차로신호"를 설치할 필요가 있다. 이를 통해 버스와 일반차량 직진 진행 교통신호를 구분한다. 중앙차로신호를 통해 버스 흐름만을 멈추게 하며 일반차량 직진 흐름이 일반차량 좌회전 흐름과 동시에 진행 허용될 수 있다. 즉 중앙차로신호등을 횡형4색등과 별도로 설치하여 일반차량 직진현시와 버스현시를 독립적으로 분리한 후 일반차량 직

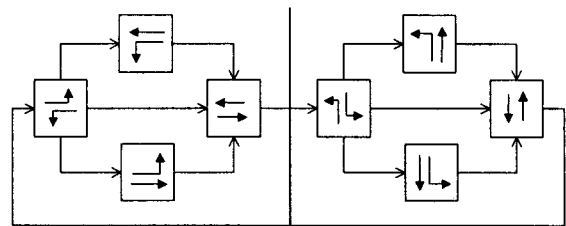
진·좌회전 증첩현시운영을 수행할 수 있다.

그러나 중앙차로신호등 도입 시 신호교차로에 별도의 신호등(중앙차로신호)이 추가되어 기존의 횡형4색등과 함께 운영되기 때문에, 교통신호 제어단계에서 고려되어야 할 신호현시 수가 증가한다. 일반적으로 이중고리(듀얼링)신호현시표출체계는 8개 현시로 구성된다. 이러한 8개 신호현시에 각 접근로별 버스 직진현시(중앙차로신호)가 추가로 고려되어야 한다.

<그림 4>는 듀얼링 신호현시체계를 제시한다. 미국전기협회(National Electrical Manufacturing Association; NEMA)가 규정하는 듀얼링 신호현시 표출체계는 <그림 4(a)>과 같이 이중 링 형태로 현시가 구성되어 있으며 일반적으로 가장 많이 쓰이는 선행좌회전의 현시체계는 <그림 4(b)>로 도식화 될 수 있다.



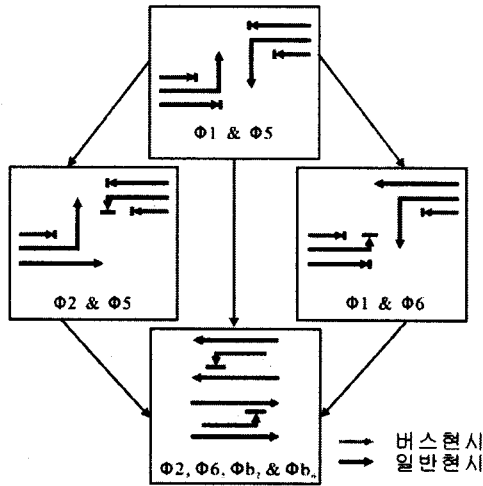
(a) 듀얼링 기본 현시표출체계



(b) 선행좌회전 듀얼링 현시조합

<그림 4> 듀얼링 현시체계

중앙차로 신호현시 운영을 위하여 듀얼링 8 현시체계와 더불어 버스현시를 별도로 조절하는 현시조합 방법이 개발되었으며 이를 활용하여 <그림 5>와 같은 중앙버스전용차로 구간 현시조합이 가능하다.



<그림 5> 중앙버스전용차로 구간 현시조합 설계 (동서방향 예)

III. 좌회전 감응제어 기반 버스신호제어

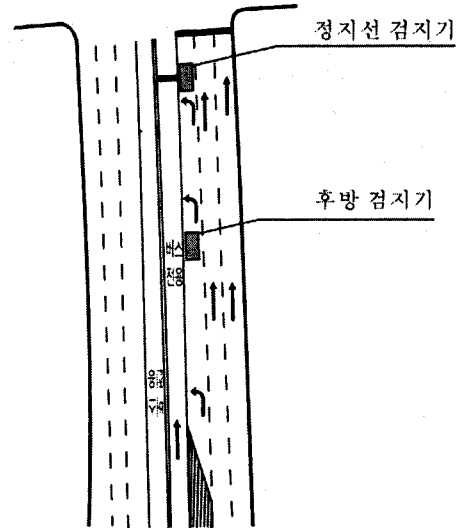
중앙버스전용차로를 이용하는 버스 교통류의 서비스 환경을 증진하기 위하여 버스우선신호 적용이 논의되고 있으나 서울시의 경우 버스 교통량이 이미 차로용량에 가까워 버스현시길을 직접 조절(버스우선신호 적용 및 회복)하는 일반적 버스우선신호 도입은 일반차량 연동 흐름에 큰 장애가 되어 현실적이지 않다.

이러한 기존 방법의 제약을 인식하고 기존에 버스 현시길을 직접 조절하는 방식에서 탈피하여 현재 필요 없이 소진되고 있는 일반차량 녹색시간을 버스 녹색시간으로 전환하여 버스 현시의 유효녹색시간을 증가하는 방안을 검토하고자 한다.

이러한 일반차량 녹색시간 중 필요 없이 소진되는 부분을 감지하여 버스 직진현시에 해당 시간을 전환시키는 방법으로 감응제어를 고려하며 좌회전만을 감응제어 한다.

일반차량 직진의 경우 중앙버스전용차로의 설치로 용량감소라는 물리적 불이익으로 인하여 감응제어 효과가 낮을 것으로 판단된다. 실제로도 서울의 중앙버스전용차로구간 일반차량 직진차로의 경우 대부분 구간에서 포화상태로 운영되고 있다. 그러나 좌회전 교통량의 경우 시간대별로 약간의 편차가 관측된다. 따라서 좌회전 차량을 감응제어 하며 직진 녹색시간(버스 및 일반차량)을 연장할 수 있어 버스현시의 유효

효율색시간이 늘어날 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 좌회전 현시만 감응제어 하는 방법을 적용하여 버스 유효녹색시간을 증가하는 방안을 본 연구에서 검토한다. <그림 6>은 제안된 방법을 구현하기 위하여 검지기를 좌회전 차로에 설치하는 상황을 도식화하는 개요도이다.



<그림 6> 좌회전 검지기 설치 위치

1. 검지체계 구축

본 연구에서 제시한 좌회전 감응제어를 실행하기 위해 최소한의 검지기 설치를 통해 수행하고자 한다. 기존 COSMOS의 운영을 위해서는 좌회전 차로, 직진차로에 정지선 및 대기행렬 검지기 등 다량의 검지기 설치를 요하였으나 본 연구에서는 중앙버스전용차로의 특성상 좌회전 차로에만 검지기를 설치하여 연구를 진행한다.

검지기는 좌회전 차로 정지선 후방 5m 및 40m 후방에 2개를 설치한다.

2. 적용 조건

중앙버스전용차로 구간에서 감응제어를 구현하기 위해서는 일련의 전제조건이 충족되어야 한다. 그 중 중앙차로신호의 설치가 필수적이다. 중앙차로신호를 설치하여 동일 접근로 진행 방향 상충 이동류(버스 대 좌회전)를 분리 운영할 수 있어야 한다. 또한 설치지점을 선택함에

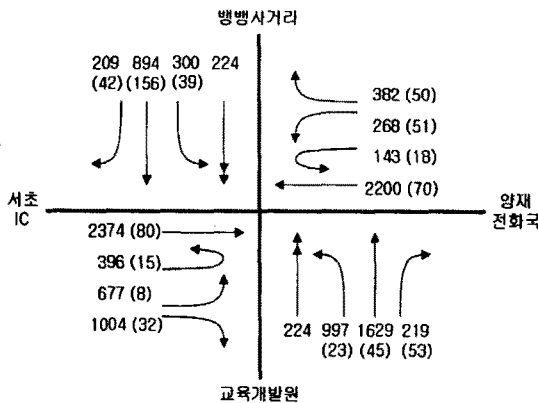
있어 교차로 교통량이 안정화된 곳보다는 시간 대별로 좌회전 교통량 편차가 있는 곳이 적합하다. 이는 좌회전 교통량비의 불균형 및 불안정을 의미하며 대향 좌회전 움직임 교통량 비 불균형을 포함한다.

IV. 검증평가

제안된 좌회전 감응제어기반 버스선호제어의 효용성을 평가하기 위하여 두 단계의 검증평가를 수행하였다. 첫째는 가상의 모의실험 환경에서 제안된 방법의 적용 가능성을 평가하였다. 둘째는 실제 현장에 제안된 방법을 적용한 후 현장에서 수집된 자료를 토대로 운영 효율성을 평가하였다.

1. 모의실험 기반 검증평가

양재역 사거리에서 수집된 현장 자료를 토대로 제안된 방법이 적용되었을 시의 가상 시나리오를 모의실험함으로써 제안된 방법의 적용 타당성을 분석하였다. <그림 7>은 양재역 사거리에서 관측된 방향별 교통량을 제시하였다. 양재역 사거리는 남북 접근로를 이용하는 좌회전 교통량의 차이가 커(북향좌회전이 남향좌회전에 비하여 약 3배 정도의 차이가 존재한다) 제안된 방법을 적용함에 적합하다.



<그림 7> 교차로 교통량(08:00~09:00)

모의실험 분석에 VISSIM 전산모형을 적용하여 두 개의 시나리오를 모의실험하였다.

첫 번째 시나리오는 제안된 방법(좌회전 감응

제어)이 적용되지 않았을 경우이다(중앙차로 신호 미설치, 검지기 미설치, TOD운영).

두 번째 시나리오는 제안된 방법(좌회전 감응 제어)이 적용된 경우이다(중앙차로 신호 설치, 좌회전 차로 검지기설치, 좌회전 감응제어, TRC운영).

<표 2>는 모의실험 결과를 요약 제시한다. 제안된 방법이 적용된 후, 적용되기 전 보다 총 지체도는 44.6 초/대 에서 29.1 초/대로 감소하는 것으로 분석되었다. 대기행렬길이도 전반적으로 감소하는 것으로 분석되었는데 특히 북향 접근로 일반차량 직진 및 좌회전 대기행렬길이 97~98m에서 47m로 감소되는 것으로 분석되었다.

<표 2> VISSIM 분석 결과

구분	기존의 방법							
	EB	WB	SB			NB		
			일반		버스	일반		버스
직	좌	직	좌	직	좌	직	좌	
지체도	70.6	34.5	34.1	37.5	34.4	36.8	46.9	35.0
대기행렬	184m	30m	54m	54m	27m	98m	97m	26m
구분	제안된 방법							
	EB	WB	SB			NB		
			일반		버스	일반		버스
직	좌	직	좌	직	좌	직	좌	
지체도	44.6	34.5	34.4	35.0	28.4	20.4	27.4	28.2
대기행렬	67m	19m	51m	50m	19m	47m	47m	18m

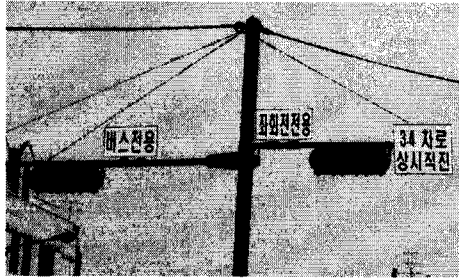
제안된 방법을 모의실험 환경에서 검증한 결과 해당 교차로 전체 지체도 수준 및 대기행렬 길이가 전체적으로 감소하는 효과가 관측되었다. 제안된 방법의 현장 적용 효용성이 있는 것으로 모의실험 결과가 도출되었다.

2. 현장 사례 분석

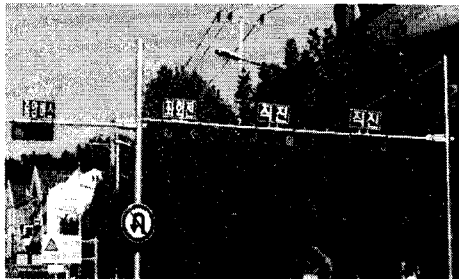
제안된 방법을 서울 신촌세브란스 병원 앞 신호교차로에 현장 적용하여 분석하였다. 실험을 위하여 중앙차로신호를 설치하였고, 좌회전 감응제어를 위하여 좌회전 차로에 검지기를 설치하였다. 중앙버스전용차로 구간에서의 버스운행평가 자료는 서울특별시 TOPIS에서 수집되는 버스관리체계(BMS: Bus Management Systems) 자료를 참조하며 분석하였다.

1) 현장실험 교차로

<그림 8>은 본 연구의 실험대상인 신촌세브란스병원앞 교차로 중앙차로신호 설치전후의 모습이다. 신촌세브란스병원 앞 교차로는 일반적인 신호교차로와 형태가 다르다. 좌회전과 중앙버스차로 주행 버스통행 제어를 위해 교통신호가 2006년 5월에 신설되었으며 동일방향 직진은 상충 이동류가 없어 상시직진이 가능하다.



(a) 중앙차로신호 설치 전



(b) 중앙차로신호 설치 후

<그림 8> 현장실험 교차로 신호기

해당 교차로는 기존에 <그림 8(a)>와 같이 보조표지로 적신호시 직진 진행을 유도하였으나 신호등에서 직진신호가 표출되지 않고 적색신호가 표출되어 운전자 혼돈으로 정체 요인이 존재하였다. 해당 지점에 중앙차로신호를 <그림 8(b)>와 같이 설치(2006년 10월 2일 운영시작)한 후 교차로 접근로 주행 직진차량 속도를 분석을 결과 기존에 비하여 평균 6~10 km/h 증가한 것으로 분석되었다(<표 3> 참조).

<표 3> 중앙차로신호 설치 전후 속도 비교

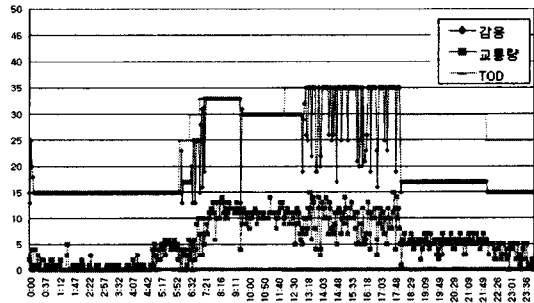
구 분	설치 전 (km/h)	설치 후 (km/h)	증 감 (km/h)
오 전(08:00~09:00)	21	31	+10 (48%)
오 후(12:00~13:00)	20	26	+ 6 (30%)
저 녁(17:00~18:00)	17	27	+10 (59%)

해당 지점 좌회전차로(베이) 길이는 약 80m로 약 15대 승용차 가 대기 할 수 있는 공간이

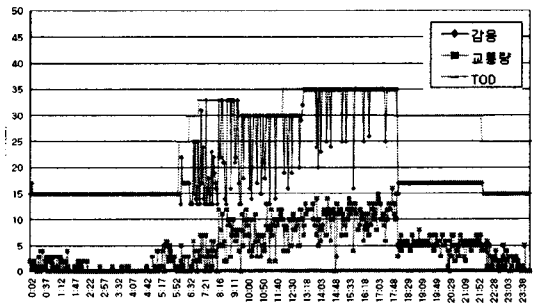
다. 정지선으로부터 5m 후방에 1개 검지기를 매설하고 정지선으로부터 40m 후방에 1개 검지기를 설치하였다. 본 연구에서는 후방검지기를 이용하여 좌회전 감응신호제어를 수행하였다. 최대녹색시간은 인근 횡단보도 녹색시간 등 인접 교통상황을 고려하여 35초로 설정하였다.

2) 신호제어시스템 자료

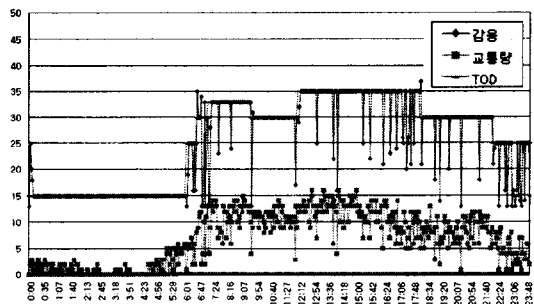
해당 지점에서 제안된 방법이 적용되지 않은 신호운영(TOD모드)과 제안된 방법이 적용된 신호운영을 각 동일한 3개요일 (A요일, B요일, C요일) 씩 수행하였다. 해당 일에 서울지방경찰청 신호운영실 센터 서버로 수집되는 자료를 수집하여 분석·정리하였다. <그림 9>는 좌회전 현시길이를 각 일(日)단위로 비교한 결과로 좌회전 현시길이가 일정시간대 범위로 TOD 값보다 적게 제공되고 있음을 확인하였다.



(a) A요일 기준 좌회전현시길이 비교



(b) B요일 기준 좌회전현시길이 비교



(c) C요일 기준 좌회전현시길이 비교

<그림 9> 좌회전 현시길이 비교

<표 4>는 좌회전 및 직진의 총 현시길이를 시간대별로 정리·비교하여 제시한다. 감소된 좌회전 녹색시간만큼의 시간이 버스 녹색시간에 부과됨을 볼 수 있다.

<표 4> 시간대별 누적 현시길이 (단위: 초)

구분			7시 ~ 9시	12시~14시	18시~20시
A 요일	적용전	좌회전	1,119	1,360	1,385
		직진	6,081	5,840	5,815
	적용후	좌회전	1,058	1,153	816
		직진	6,142	6,047	6,384
	증감	좌회전	-61	-207	-569
		직진	61	207	569
B 요일	적용전	좌회전	1,119	1,360	1,385
		직진	6,081	5,840	5,815
	적용후	좌회전	726	1,184	816
		직진	6,474	6,016	6,384
	증감	좌회전	-393	-176	-569
		직진	393	176	569
C 요일	적용전	좌회전	1,119	1,360	1,385
		직진	6,081	5,840	5,815
	적용후	좌회전	1,085	1,323	1,110
		직진	6,115	5,877	6,090
	증감	좌회전	-34	-37	-275
		직진	34	37	275

A요일의 경우 오전첨두, 비첨두, 오후첨두시간대에 좌회전 현시길이가 각각 61초, 207초 및 569초 누적시간만큼 줄어 해당시간이 버스 녹색시간에게 더 부여된 것으로 분석되었다.

<표 5> 버스노선별 총 통행시간 단축(단위: 초)

구분	시간대	TOD운영 (A'일)	TRC운영 (A'일)	증감	TOD운영 (B'일)	TRC운영 (B'일)	증감	TOD운영 (C'일)	TRC운영 (C'일)	증감	운행회수
노선A	07:00~09:00	2,046	1,944	-102	2,006	1,767	-238	2,190	1,985	-205	30
	12:00~14:00	1,511	1,428	-83	1,607	1,342	-265	1,717	1,519	-197	20
	18:00~20:00	1,477	1,457	-20	1,334	1,308	-26	1,394	1,355	-39	20
노선B	07:00~09:00	1,106	958	-148	1,103	871	-232	1,050	1,035	-15	15
	12:00~14:00	1,189	1,143	-46	1,126	1,015	-111	1,252	1,212	-40	15
	18:00~20:00	1,090	1,061	-29	1,028	976	-52	1,031	994	-37	15
노선C	07:00~09:00	1,355	1,331	-24	1,474	1,237	-238	1,569	1,024	-545	20
	12:00~14:00	1,565	1,550	-15	1,559	1,344	-215	1,800	1,652	-148	20
	18:00~20:00	975	941	-34	1,003	940	-63	954	922	-32	15
노선D	07:00~09:00	520	496	-24	453	425	-28	646	555	-91	20
	12:00~14:00	627	502	-125	651	443	-208	545	506	-39	20
	18:00~20:00	431	400	-32	472	419	-53	425	409	-16	15

B요일의 경우 오전첨두, 비첨두, 오후첨두시간대에 좌회전 현시길이가 각각 393초, 176초 및 569초 누적시간만큼 줄어 해당시간이 버스 녹색시간에게 더 부여된 것으로 분석되었다.

C요일의 경우 오전첨두, 비첨두, 오후첨두시간대에 좌회전 현시길이가 각각 34초, 37초 및 275초 누적시간만큼 줄어 해당시간이 버스 녹색시간에게 더 부여된 것으로 분석되었다.

3) 버스관리시스템 자료

해당 구간을 주행하는 버스 노선 중 4개 노선을 선택하여 해당 교차로 구간을 통과에 소요된 버스 통행시간 감소분을 분석하였다. 모든 노선에 대한 운행정보를 분석하기에는 현실적으로 불가능하여 비교적 운행횟수가 많은 간선버스 4개 노선에 대한 운행 자료를 선택적으로 분석하였다. BMS 자료는 신호제어시스템 자료 수집 날짜와 동일한 날짜의 자료를 수집하였다.

BMS 자료가 수집된 구간은 '세브란스병원 앞 정거장'에서 부터 '이대후문 정거장'까지로 총 566m 구간이다. <표 5>는 각 노선 별 버스운행시간 변화를 비교 제시하였다.

노선A의 통행시간은 오전(07:00~09:00) 102초~238초, 오후(12:00~14:00) 83~265초 및 저녁(18:00~20:00) 20~39초 감소하였다.

노선B의 통행시간은 오전(07:00~09:00) 15초~232초, 오후(12:00~14:00) 40~111초 및 저녁(18:00~20:00) 29~52초 감소하였다.

노선C의 통행시간은 오전(07:00~09:00) 24초~545초, 오후(12:00~14:00) 15~215초 및 저녁(18:00~20:00) 32~63초 감소하였다.

노선D의 통행시간은 오전(07:00~09:00) 24초~91초, 오후(12:00~14:00) 39~208초 및 저녁(18:00~20:00) 16~53초 감소하였다.

본 연구에서는 4개 노선에 대한 BMS 자료를 분석하였으며 기타 노선을 고려하면 버스전체의 총 통행시간 절감 편익은 더 클 것으로 예상된다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 중앙버스전용차로 구간에서 서울의 교통환경에 맞는 버스 우선 교통신호처리방안을 제안하고 검토하였다.

중앙버스전용차로구간에서의 좌회전 감응제어 구현, 적용성 및 효과분석을 모의실험 및 현장실험을 통하여 검증하였다. 신촌세브란스병원 앞 신호교차로를 대상으로 분석한 결과 중앙버스전용차로 구간에서도 좌회전 감응제어를 통한 신호운영의 탄력성을 확보할 수 있을 것으로 입증되었다.

해당 지점에서 신호운영 패턴을 바꾸어 가며 수집한 버스관리시스템(BMS) 자료를 분석한 결과 좌회전 감응현시각이 가변함에 따라 버스운행 속도의 변화가 관찰되었다. 제안된 연구는 좌회전 교통량의 변화가 심한 주간 시간대에 본 연구에서 제안하는 방안의 적용성이 높음을 발견하였다.

특히 경제적인면(설치 및 유지보수 측면)에서도 기존 COSMOS 검지체계(정지선검지기, 대기행렬검지기 등)보다 좌회전차로에만 검지기를 설치하여 운영 가능하기 때문에 효율적이라 할 수 있다.

본 연구는 1개 교차로의 좌회전 이동류만을 제어하여 감응제어를 구현한 것으로서 향후 중앙버스전용차로 축을 대상으로 분석하여 포화도, 대기행렬 등을 고려한 신호운영제어 알고리즘의 개발이 필요하다.

향후 중앙버스전용차로의 면밀한 교통환경조사 및 중앙차로신호 설치를 통하여 신호운영 효율 개선을 위한 노력이 필요한 것으로 판단

된다.

또한 서울시에 중앙버스전용차로가 확대 설치되고 있고 경기도 일부지역에도 설치 운영하고 있으며 다른 도시에도 도입을 위한 설계 등을 추진하고 있는 시점에서 중앙버스전용차로를 이용하는 이동류를 제어하기 위한 국가 표준 “중앙차로신호등”의 형태 및 규격 제정이 필요하다.

참고문헌

1. 강정규 외 3명(2005), “국내의 BRT동향 및 도입 방안”, JOURNAL OF THE KOREA ROAD & TRANSPORTATION ASSOCIATION, 「도로교통」 제98호
2. 경기도 광역교통기획단(2004), “BRT 구성요소와 국내동향” 발표자료
3. 경찰청(2003), “비엔나 협약과 우리나라 신호체계에 관한 연구”, 제3장제23조
4. 김근조(2004), “중앙버스전용차로제 실시에 따른 신호운영방안 연구”, 서울시립대학교 석사논문
5. 김대호(2004), “BRT구성요소와 국내동향”, 경기도 광역교통기획단 발표자료
6. 김진태, 장명순, 손봉수, 도철웅 (2002) Development of an Actuated Green Time Estimation Model for Proper Evaluation of Traffic Actuated Operation, 대한교통학회지, 제 20권 제3호, 통권61호, pp159~168
7. 도로교통안전관리공단(2005), “Uniform Vehicle Code and Model Traffic Ordinance(National Committee on Uniform traffic Laws & Ordinance, 미국, 1992) 및 이를 인용한 교통안전 설치 개선연구”
8. 도철웅(1999), “교통공학원론”, 청문각
9. 서울특별시·서울시정개발연구원(2003), “미래형 버스 BRT”
10. 서울지방경찰청(2006), “중앙버스전용차로 신호운영 제어전략 및 교통안전시설물 설치기준 수립”
11. 이영인, 전상명(2004), “중앙버스전용차로에서 신호제어전략에 관한 연구”, 환경논총 제42권, 서울대학교 환경대학원
12. 황호현(2005), “버스통행시간을 이용한 구간통행 시간 산출 방안”, 서울시립대학교
13. Kim J.T., and K.G. Courage, (2003) Evaluation and Design of Maximum Green Time Settings for Traffic Actuated Control, In Transportation Research Record No. 1852, pp 246~255