

버스우선신호시스템 해외 운영사례 및 국내 도입방안

이 용 택 감사원 자치행정감사국 감사관
김 균 조 서울지방경찰청 교통개선기획실 주임
이 태 경 서울지방경찰청 교통개선기획실 팀장

1. 머리말

21세기 세계 교통정책의 패러다임이 승용차에서 보행자와 대중교통을 고려하는 방향으로 변화하고 있으며, 국내에서도 이러한 추세에 발맞추어 서울특별시(교통국)가 2004년 7월1일 버스의 요금체계, 노선체계, 운영체계를 골자로 하는 대규모 대중교통체계 개편을 시행하였다. 이러한 정책의 일환으로 도입된 중앙버스전용차로는 도봉·미아로(15.8km), 수색·성산로(6.8km), 강남대로(5.9km), 삼일로(1.0km), 하정로(1.8km), 창경궁로(1.3km)에 설치·운영되고 있으며 2005년도에는 망우·왕산로(8.2km), 경인·마포로(13.7km), 시흥·한강로(14.9km)에 도입되어, 향후 서울시 전역의 주요 간선도로 축에 확대 보급될 계획이다. 중앙버스전용차로제의 확대로 도로·교통시설 및 도로운영조건이 크게 변화하였으며, 이로 인해 중앙버스전용차로 구간은 2차로 상에서 회전교통처리방안과 신신

호(COSMOS)제어 활용방안, 보행자 환경개선방안 등 합리적인 신호제어운영이 시급히 마련되어야 한다.

이러한 국내·외적인 교통환경 변화에 발맞추어 신호운영정책방향도 과거 차량 지체(Vehicle Delay)를 최소화하는 승용차중심의 제어전략에서 사람 지체(Person Delay)를 최소화하고 대중교통의 정시성을 높이는 대중교통과 보행자를 고려한 제어전략으로의 전환이 필요하다. 이 일환으로 유럽 및 북미 등 대중교통 선진국에서는 이미 30년 전부터 버스우선신호시스템을 연구개발·구축·운영함으로써, 대중교통으로의 수단 전환, 승용차 수요증가 억제를 피하여 대중교통 서비스 향상과 도로 네트워크의 효율성을 극대화하고 있다. 따라서 본고에서는 서울특별시의 대중교통체계개편이후, 필요성이 더욱 부각되고 있는 대중교통중심 신호운영 대안으로 버스우선신호시스템(Bus Signal Priority System)을 검토하고자 한다. 이를 위해 해외 운영사례 및 사

업효과를 고찰하고, 국내 도입의 타당성과 향후 도입 시 주요 고려사항을 검토한다.

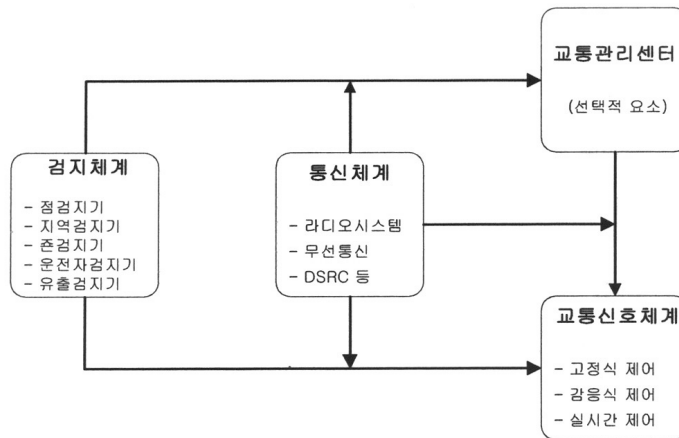
II. 버스우선신호시스템 소개

1. 버스우선신호시스템 정의

버스에 대한 우선신호(Signal Priority)란 교차로 신호 현시체계를 일시적 제어를 통해 노면전차, 버스와 같은 대중교통들이 우선 통과할 수 있도록 우선권을 부여하여 현재보다 높은 수준의 대중교통 서비스를 제공, 대중교통 이용을 활성화하고자 하는 신호체계를 말한다. 따라서 버스우선신호시스템은 버스에 우선신호를 제공

하는 일종의 시스템으로 해석된다. 우선신호는 크게 『Priority』와 『Pre-emption』¹⁾으로 구분되며 시스템 및 운영방법이 비슷하지만, 진행 방법 및 적용 범위에 있어 차이가 있다.

『Priority』란 차량의 연동진행이라는 정상신호운영의 기본이 유지되는 상태로 버스의 우선신호제공을 위해 신호시간을 조정하는 방법이다. 이는 신호운영시간의 변화를 통하여 일반차량 이동류의 방해를 최소화하면서 버스의 정시성을 개선시킴으로써, 버스의 효율성뿐만 아니라 도로전체 네트워크의 효율성을 향상시킬 수 있는 방법으로서 본고에서는 이를 기본으로 기술하고자한다.



〈그림 1〉 버스우선신호시스템 구성요소

1) pre-emption 우선신호는 요청되면 무조건 정상신호운영이 일시적으로 중단되고 즉시 우선신호가 제공된다. 기차가 철도건설 목에 접근할 때, 응급차량이 응급 요청을 할 때 등 긴급상황 발생시 제공되는 방법으로 응급차량의 출동시간을 최소화하고 안전성을 향상시킬 수 있다. 그러나 제약 조건이 없이 우선신호가 제공되어 버스 외 이동류 흐름을 방해하기 때문에 도로 전체의 효율성이 낮아지게 된다. 따라서 위급한 상황에서 주로 사용되는 방법으로 버스우선신호에는 잘 이용되지 않는다.



2. 버스우선신호시스템 구성

버스우선신호시스템은 검지체계, 통신체계, 교통신호제어체계, 교통관리센터, 대중교통관리체계의 상호작용을 통해 서비스가 제공된다. 여기서 상위 3개 요소는 필수요소이고 교통관리센터 및 대중교통관리체계는 선택요소이다. 선택 요소는 현재 중앙관제센터에서 신호제어를 하고 있거나, 버스운행을 통제하는 버스관리체계(BMS : Bus Management System)를 구현하고 있다면 버스우선신호시스템과 통합운영이 가능하도록 구축하는 것이 바람직하다.

1) 검지체계

버스우선신호시스템은 버스를 검지하여 버스 스케줄, 재차인원, 대기길이 등의 조건이 만족될

때 지역제어기 혹은 센터에 우선신호 요청이 이루어지고, 우선신호가 제공된다. 검지기분류는 검지범위에 따라 교차로 단위와 축별 단위로 구분되며, 차량검지방법에 따라 지점검지기(point detector), 지역검지기(area detector), 운전자 검지기(driver activated)로 구분된다. 이러한 검지기는 도로환경 및 검지범위, 적용기술에 따라 선택적으로 적용되고 있다. 검지기종류는 루프검지기(inductive loop), 라디오전파검지기(radio frequency:RF), 적외선검지기(infrared detection), 음향검지기(audio detection), 차량위치 추적시스템(global positioning system:GPS/AVL), 레이더검지기(radar detector), 비디오검지기(video detector), 광수신기(optical emitters)등이 있으며 주로 루프검지기와 적외선 검지기가 널리 사용된다.

〈표 1〉 검지기 분류방법

분류 체계	검지기 항목	내 용
검지범위	교차로단위 검지기 (Local Intersection Level)	<ul style="list-style-type: none"> · 버스 검지는 『check-in 검지기 ~ check-out 검지기』 사이 버스진출입에 따라, 우선신호를 요청 또는 철회하는 방식 · 신호교차로 상류부에서 차량이 검지되는 “check-in 검지기”와 차량이 교차로를 완전히 통과 한후 하류부에서 차량이 검지되는 “check-out 검지기” 두개의 검지기를 사용
	축단위 검지기 (Street Network Level)	<ul style="list-style-type: none"> · AVL을 통해 버스위치 확인, 정보전송이 이루어지며 우선신호 요청시 우선신호가 제공되는 방식 · AVL(Automatic Vehicle Location : 자동차량위치 확인)과 비매 설형 검지기로 축 단위로 대중교통 감지가 이루어짐



검지방법	지점검지기 (Point detector)	<ul style="list-style-type: none"> · 일반적인 방법으로 도로에 루프검지기를 설치하고, 각 버스는 ID 송출을 위한 RF 송수신기(transponder)를 설치하여, 우선 신호를 관리하는 제어기 혹은 교통관리센터에 버스 ID, 위치 및 우선 신호제공 여부가 전송되어 우선신호가 제공되는 방법 · 2개 이상 검지기(check-in 검지기와 check-out 검지기)가 이용됨
	지역검지기 (Area detector)	<ul style="list-style-type: none"> · 지역단위로 버스의 움직임이 검지되는 방법으로 지점검지기 보다 효율적임 · 차량위치검지가 빠르며, GPS, AVL과 함께 사용되어 노선과 스케줄에 대한 정보를 이용하여 우선신호가 제공됨
	운전자검지기 (Driver activated)	<ul style="list-style-type: none"> · 운전자에 의해 감지가 되는 것으로, 운전자가 우선 신호를 요청하는 방식 · 운전자들이 불필요한 우선신호를 요청하고, 운전자에게 운전을 하면서 과도한 업무가 될 수 있어 현재 거의 사용되지 않음

자료 : US, DOT(2002), An Overview of Transit Signal Priority

2) 통신체계

통신체계는 버스가 검지영역 안에서 검지되고 우선신호가 요청 되면, 이를 제어기나 교통관리센터에 전달토록 구성요소 간을 연계하는 시스템으로서 버스우선신호시스템의 신뢰성에 중요한 영향을 미친다.

무선통신(wireless technologies), 음향통신(sound communication), 단거리 전용통신망(DSRC), 라디오 시스템 등이 주로 사용된다.

3) 교통신호제어체계

교통신호제어체계는 우선신호요청에 따라 신호제어기를 통해 신호변경이 이루어지는 것을 말한다. 또한 한 교차로에서 여러 개의 우선신

호가 요청될 때 버스배차간격, 버스재차인원 등에 따라 우선순위가 높은 요청에 응답을 한다. 교통신호제어시스템에는 고정식 신호제어방식(fixed-time signal control)과 감응식 신호제어 방식(actuated signal control), 실시간신호제어방식(real time signal control)이 있으며 버스우선신호제어는 상기 신호제어방식 하에서 다음과 같은 4가지 제어전략들이 활용되고 있다.

- ① 고정시간 제어전략(Fixed Time Control strategy) : 과거 대중교통자료와 일반적인 교통패턴자료를 기반으로 하여 사전에 계획한 대중교통중심 신호운영에 따라 제공되는 전략이다. 현장의 교통상황, 버스감



응상태와 관계없이 제공되는 것으로 교통류 변화가 미미한 곳에 활용된다.

- ② 스케줄기반 제어전략(Schedule based Control strategy) : 버스스케줄을 기반으로 우선신호가 결정되는 것으로, 버스스케줄보다 늦게 운행될 때 우선신호를 제공하는 전략이다. 버스위치 정보가 불필요하며, 우선신호 요청시스템만 요구되는 것으로 저비용으로 효과적으로 우선신호를 제공해 줄 수 있는 전략이다.
- ③ 차두시간기반 제어전략(Headway based Control strategy) : 버스 차두시간을 기반으로 우선신호가 결정되는 것으로, 버스간 중복운행을 피할 수 있는 전략으로 버스 대기시간 감소에 효과적이다.
- ④ 실시간 제어전략(Real Time Control strategy) : 실시간 교통정보를 통해 우선신호 요청 시 상황에 따라 적절한 우선신호를 제공해 주는 전략으로 교통류 변화에 매우 민감하게 반응하는 장점으로 인해, 현재는 이 전략을 바탕으로 많은 우선신호 알고리즘이 활용되고 있다.

3. 버스우선신호시스템의 주요 신호제어 기법

1) 수동식 우선신호시스템

수동식 시스템은 버스 검지유무와는 상관없이 정해진 신호계획에 따라 우선신호를 제공하는 것으로, 고정시간 제어전략과 스케줄기반 제어전략을 기초로 운영한다.

도로기하구조 및 교통상황, 버스 운행스케줄

을 기반으로 현시분할(phase splitting) 및 주기변화를 통해 우선신호가 제공되는 방법이다. 일반차량보다 버스에 많은 현시시간을 부여하거나, 버스중심으로 교차로간 연동이 이루어지는 방법으로 주기 길이가 길수록 지체가 길어지기 때문에 주기길이를 가능한 짧게 하는 것을 기본으로 한다. 하루 종일 교통류 변화가 크지 않으며, 전반적으로 교통 상태가 양호한 비포화 상태와 버스 운영대수가 많은 곳에 주로 적용된다. 이는 적용방법이 용이하나, 버스 검지유무와 상관없이 과거 패턴자료를 통해 지속적으로 갱신되기 때문에 불규칙한 교통류 변화가 발생되면 불필요한 지체를 유발하게 된다. 또한 버스에 많은 현시시간을 배분하여 일반차량의 지체가 증가할 수도 있다.

2) 능동식 우선신호시스템

능동식 시스템은 버스 검지유무에 따라 적절한 우선신호가 제공되는 것으로, 실시간 신호제어와 스케줄기반 신호제어, 차두시간기반 신호제어를 기초로 운영한다.

즉 검지기를 통해 실시간으로 우선신호를 요청, 응답, 제공해 주는 효율적인 교통운영 전략으로서, 세부적으로 조건 우선신호(condition priority)와 비조건 우선신호(uncondition priority)로 구분한다. 조건 우선신호는 승객수, 노선 스케줄, 최종우선신호 제공시간 등 일정한 조건을 만족할 때 우선신호를 제공해 주는 방식이며 비조건 우선신호는 감지되는 버스 모두에게 우선신호를 제공해 주는 방식으로서 <표 2>와 같은 세부 알고리즘이 있다.



〈표 2〉 능동식 우선신호제어 알고리즘

종 류	특 징	비 고
Early green	<ul style="list-style-type: none"> · 우선신호제공을 위해 버스현시가 정상운영 상태보다 일찍 시작되는 방법으로 상충현시 동안 대중교통의 검지가 이루어지고, 우선신호 제공여부가 결정되는 알고리즘 · 버스현시의 조기 시작은 상충현시의 최소녹색시간 혹은 보행자 이동시간, 황색시간, 현시 전이 시간이 보장된 상태에서 제공됨 	<ul style="list-style-type: none"> · 교차로단위 · 감응식제어 · 실시간제어
Extend green	<ul style="list-style-type: none"> · 우선신호제공을 위해 버스 현시가 정상운영 상태보다 길게 운영되는 방법으로 버스가 녹색 시간동안 교차로를 통과하지 못할 경우에 교차로 통과를 위해 녹색시간을 연장시켜주는 방식 · 버스가 운영되고 있는 현시에서만 검지가 이루어지는 방법 	<ul style="list-style-type: none"> · 교차로단위 · 감응식제어 · 실시간제어
Actuated transit phase	<ul style="list-style-type: none"> · 버스전용 좌회전 차선이 존재하는 곳에서 운영되는 알고리즘으로, 버스 좌회전 전용차선에서 검지가 이루어 졌을 경우 정상 운영 상태에서 버스현시가 삽입되는 방식 · 버스전용 좌회전이 있는 곳에서는 효율적으로 사용되나, 교통흐름을 단절 시킬 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> · 교차로단위 · 감응식제어 · 실시간제어
Phase insert	<ul style="list-style-type: none"> · 버스가 검지되고 우선신호가 요청될 경우 정상 운영상태에 버스현시가 삽입됨 · 버스 보호좌회전 현시와 주기가 긴 경우에 주로 사용되는 방법으로 교통 흐름이 단절 될 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 교차로단위 · 감응식제어 · 실시간제어
Phase rotation	<ul style="list-style-type: none"> · 부도로 녹색시간동안 버스우선신호요청을 받게 되었을 경우 후행 좌회전일 때에는 선행좌회전으로, 선행좌회전일 경우는 후행 좌회전으로 현시 순서를 바꾸어서 우선신호가 제공되는 방법 · 이는 운전자들의 혼란과 교통 흐름의 단절이 예상된다 	<ul style="list-style-type: none"> · 교차로단위 · 감응식제어 · 실시간제어
Phase suppression	<ul style="list-style-type: none"> · 버스가 검지되고, 우선신호가 요청될 때 수요가 적은 현시를 생략하는 방식 · 주로 회전 교통량이 많은 곳에서 사용되는 방식 	<ul style="list-style-type: none"> · 교차로단위 · 감응식제어 · 실시간제어



III. 국외 개발 및 적용사례

버스우선 신호전략은 1962년 Washington D.C.에서 버스 통행속도 개선을 위해 처음으로 시행되어 졌으며, 1970년대 본격적으로 구축되기 시작하였다. 특히 1980년대 들어서는 대중교통 서비스, 효율성, 간선도로 또는 네트워크 전체의 이동성 향상이 입증되면서 최근 들어 세계적으로 확대되고 있다. 레를 고찰하여 버스우선 신호시스템의 구축효과를 검토하고 향후 국내 도입 시 유용성을 판단하고자 한다.

1. 국외 버스우선신호시스템 개발사례

1) SPOT(signal progression optimization technology)

UTOPIA(Urban Traffic Optimization of Integrated Automation) 신호제어²⁾와 비슷한 방법으로 루프 검지기와 TIRIS(Texas Instruments Radio Identification System) 태그를 사용하여 실시간 감응제어를 통해 우선신호가 제공된다. 동시에 평균속도와 포화교통유율을 고려하여 최적의 여행시간을 산출하여 우선신호제공에 도움을 준다.

2) Microprocessor Optimized Vehicle Actuation(MOVA)

루프검지기, 송수신기를 이용한 차량검지를 통해 실시간 신호제어로 이루어지는 우선신호를

제공하는 시스템이다.

검지된 입력자료에 따라 Green Extended, Skip Phase, Red Truncated 알고리즘을 사용하여 독립교차로 위주로 적용하는 시스템이다. 실시간제어하에서 다양한 우선신호제어전략을 구현할 수 있는 장점이 있지만, 시간당 우선신호 제공 차량수가 제한되고, 일반차량의 지체에 대해 검증되지 않은 등 단점을 가지고 있다.

3) SCOOT(split cycle offset optimization technique)

SCOOT는 실시간 최적화를 통해 우선신호를 제공해 주는 도시부 신호제어 시스템으로, 송수신기와 AVL, 차량 무게를 통해서 차량을 검지하며, 독립교차로 상에서 Green Extension, Green Recall 알고리즘이 인근 교차로 연동을 유지하면서 제공되는 시스템이다.

SCOOT은 시간대별 통행패턴에 대해 고려할 뿐만 아니라 단기교통상황에도 잘 적응하고 있으나, 일반차량을 위한 녹색연동이 주어지기 때문에 피크시, 비피크시에 따라 버스우선신호가 유용하게 변하지 못하는 단점이 있다.

4) SPNT(selective priority network technique)

루프검지기와 송수신기(transponders)를 이용하여 차량검지가 이루어지며 실시간으로 시스템이 운영된다. 주로 Green Extension, Green

2) 루프검지기와 송수신기(transponders)를 이용하여 차량검지가 이루어지며 교통대응식(TRC) 우선신호를 제공할 수 있는 기능을 가지고 있다.

Recall 알고리즘을 사용하여 버스가 다음 교차로를 통과 할 수 있는 신호시간을 제공하되, 승용차의 지체를 줄이기 위해서 녹색시간 연장을 제한하며, 한 주기에 한번의 우선신호요청을 허용함으로써, 일반차량에 대한 지체 보상을 허용하는 시스템이다.

5) SCATS(Sydney Coordinated Adaptive Traffic System)

루프검지기와 송수신기를 이용하여 차량검지

가 이루어지며 실시간으로 시스템이 운영된다. 주로 Green Extension, Phase Insert 알고리즘이 사용되며, 일반차량에 대한 보상이 허용되고 있는 시스템이다.

6) OPTICOM

신호발신기를 긴급차량에 탑재하고, 수신기를 신호등에 부착하며 신호분리기(phase selector)를 교통신호제어기에 설치하여 이동형 PC(Notebook PC)로 구동되는 소프트웨어를 통

〈표 3〉 국외 버스우선신호시스템 적용사례

지역	교차로수	전략	평가
Portland -Tualatin Valley	10	early green green extend	· 버스통행시간 1.4~6.4% 감소 · 버스지체 20%감소
Portland -Powell Blvd.	4	early green green extend	· 버스통행시간 5%감소 · 버스(person)지체 감소
Seattle -Rainer at Genesee	1	early green green extend	· 교차로(person)지체 13.5%감소 · 버스교차로통과시간 35%감소 · 개인교통통행시간 0.5%~3%증가
Chicago -Cermak Road	15	early green green extend	· 버스통행시간 7~20%감소 · 서비스만족도 개선 · 부도로 지체 : 8.2 초/대 증가
Los Angeles -Wilshire	211	early green green extend	· 통행시간 8%감소 · 버스지체 35%감소
Minneapolis -Louisiana Ave.	3	early green green extend skip phase	· 버스통행시간 0~38%감소 · 지체 23% 증가 · 생략현시로 인해 운전자 혼란
San Francisco, CA.	16	early green green extend	· 버스 지체 6~25% 감소
Toronto -Ontario	36	early green green extend	· 버스 지체 15~49% 감소
Seattle -WA, Rainier Ave.	3	early green green extend	· 버스 정지 지체 57%감소 · 버스 통행시간 35% 감소 · 사람 당 지체 13.5% 감소



해 운영상태를 제어하는 시스템이다. 긴급상황시 구조시간 단축가능(구급차, 소방차, 구조대, 경찰차), 버스 등 정기운행차량 및 특수차량이 시간표에 맞추어 운행할 수 있는 장점에 비해 일반승용차의 지체를 유발하는 단점을 가지고 있다.

2. 국외 버스우선신호시스템 적용사례 및 사업효과

국외 도시에서 운영한 버스우선신호시스템의 운영전략과 평가결과를 살펴보면 <표3>과 같다. 국외 버스우선신호 운영결과, 버스 통행시간·지체·정지수가 감소하고 버스의 정시성 향상과 혼잡완화로 대중교통 서비스가 향상되었다. 이로 인해 버스승객이 증가하는 효과가 있으며, 운송업자의 운영비 절약 및 연료소비 감소뿐만 아니라 전체시스템의 지체 감소로 사회적 후생이 상당히 증가하였다.

반면 일부시스템에서는 부도로 및 일반차로의 지체발생 및 현시변경으로 인한 운전자 혼돈 등의 문제점도 나타났다.

IV. 주요 검토사항 및 향후 도입방안

1. 버스우선신호시스템의 이상적 기능

이상적인 버스우선신호시스템을 구축하기 위해서는 5가지 이상적 기능이 필요하며 도로기하구조현황, 교통현황, 대중교통정책 및 신호운영현황을 고려하여 필요시 소요 기능을 구축한다. ① 버스가동을 정확히 추적하는 검지기능, ② 대중교통운영계획을 수립하기위해 버스노선에 대한 통계 데이터베이스 및 분석기능, ③ 다양한 도로·교통상황 하에서 다기능 버스우선신호제어 전략 제공기능, ④ 일반차량의 지체를 최소화하고 신호손실을 보상해주는 기능, ⑤ 기타 운송회사의 비용을 집계·추정하는 기능으로 구성된다.

2. 버스우선시스템의 기술적 고려사항

버스우선신호시스템을 도입하기 위해서는 도로기하구조, 교통량, 교통신호하드웨어·소프트웨어, 신호운영정책 및 현황 뿐만 아니라 버스

<표 4> 버스우선신호시스템 도입시 주요 고려사항 및 세부항목

고려 사항	주요 항목
도로기하구조	· 주변 토지이용현황, 교차로형태 (교차로수, 위치) · 버스전용차로 유무, 버스정류장 위치 (Far-side가 바람직) 등
교통량	· 차종별교통량, 시간대별, 방향별 교통량 · 보행자교통량 등
교통신호 하드웨어·소프트웨어	· 제어기와 소프트웨어 현황 및 버스우선신호시스템 활용 여부
신호운영정책 및 현황	· 대중교통정책, 신호운영정책 및 신호제어전략 · 인접 교차로/지구 신호운영 (연동화계획수립 시)

운행 대수 및 버스 정류장 위치, 도로의 물리적 형태에 따라 적용 방법 및 효과에 큰 영향을 받게 되므로 이를 고려하여 버스우선신호의 타당성을 검증, 확인한 후 적용하는 것이 바람직하다. 시스템도입 시 주요 기술적 검토사항에 대한 구체적인 세부 항목은 <표 4>와 같다.

1) 도로기하구조 측면의 고려사항

버스우선신호시스템은 주변 토지이용현황을 파악하여 토지이용이 밀집되어 교통이 혼잡한 지역과 그렇지 않은 지역을 구분하여 신호제어 전략을 달리 운영하는 것이 필요하며, 무엇보다 버스전용차로의 유무 및 형태에 따라 신호운영 전략이 달라지게 된다. 버스전용차로 설치 시 더욱 다양한 방법으로 비용-효과적인(Cost-Effective) 신호제어전략을 수립할 수 있는 장점이 있다. 버스전용차로의 형태는 운영측면에 따라 가로변 버스전용차로³⁾, 역류 버스전용차로⁴⁾,

중앙 버스전용차로⁵⁾로 구분된다. 현재 국내 대부분의 버스전용차로는 가로변 버스전용차로이나, 버스의 정시성 향상을 위해 중앙버스전용차로의 설치가 늘어나고 있는 추세에 있으며, 이로 인해 회전교통류처리, 신신호제어 활용방안 등 중앙 버스전용차로 도입에 따른 신호제어전략의 개선이 필요하게 되었다.

버스정류장의 위치와 형태에 따라 신호운영의 효율성이 상당히 달라진다. 정류장 형태는 교차로 사이에서의 위치에 따라 Near-Side 정류장, Mid-Block 정류장, Far-Side 정류장 3개로 나뉜다. Near-side 정류장은 교차로 바로 앞부분에 위치한 것으로 신호와 우회전 차량에 많은 영향을 받게 되며, Mid-block 정류장의 경우 교차로 사이 중간에 위치한 것으로 공간 이용의 효율성이 높은 특징을 가지고 있으며, Far-side 정류장은 교차로 통과 직전에 위치한 것으로 우회전 교통량 및 직진 교통량에 많은 영향을 주게

3) 가로변 전용차로는 가로변 차로를 버스에 제공해 주는 형태로 버스전용차로 중 가장 일반적이다. 우리나라는 대부분 가로변 전용차로 방식을 사용하고 있다. 시행과정이 비교적 간단하고 적은 비용으로 운영이 가능하고, 기존의 가로망 체계에 대한 영향을 최소화할 수 있으며, 시행 후 문제점이 발견되더라도 수정이나 원상복구가 용이하나, 가로변 상업 활동과의 마찰이 불가피하며, 교차로에서 우회전 차량과의 엇갈림으로 혼잡 및 사고발생 우려, 위반차량이 많이 발생하고 단속요원의 상시배치로 인력낭비를 초래하는 단점이 있다.

4) 역류 버스전용차로는 일반 교통류와 반대방향으로 1~2차로를 버스에 제공하는 형태로 일방통행도로에 적용하는 기법이다. 이 방안은 가로변 전용차로와 달리 내부 마찰이 없으므로 효과가 크고, 버스 서비스를 유지시키면서 가로망에 도입된 일방통행의 이점을 살릴 수 있으며, 버스의 정시성 확보에 용이하다. 그러나 보행자의 횡단보행 습관으로 인한 안전문제가 발생하며, 잘못된 진입한 일반차량에 의한 혼란 및 사고 우려가 발생하고, 시행준비가 어렵고 가로변 전용차로보다 비용이 과다하게 소요되며, 전용차로내의 승용차 및 화물차의 진·출입 제한으로 인한 문제가 발생하는 단점을 가지고 있다.

5) 중앙 버스전용차로는 편도 4차선이상의 기존 도로 중앙차로에 버스전용차로와 정류장을 제공하고 타 차량과의 마찰을 최소화한 것으로 타 기법에 비해 시행효과가 크다. 일반차량의 가로변 이용이 보장되며, 버스의 운행속도 제고 및 정시성의 확보가 가능하며, 일반차량의 마찰을 최소화할 수 있다. 그러나 도로중앙에 버스정류장을 설치함에 따라 보행자의 횡단 접근시 안전 문제가 대두되며, 타 기법에 비해 별도의 시설물 설치로 인한 비용이 추가 발생하며, 전용차로의 우회전 버스 및 일반차로의 좌회전 차량 처리의 어려움이 발생하고, 유출입부에서의 엇갈림현상 등의 단점이 있다.



된다. 버스우선신호 도입 시 버스정류장에서의 잦은 버스정차로 인한 손실을 줄이기 위해서 Far-side에 버스정류장을 설치하는 것이 바람직한 것으로 보고되고 있다. (US, DOT, 2003 ; TRB, 2003)

2) 교통량 측면의 고려사항

교통량이 많은 혼잡한 지역과 비혼잡한 지역에 따라 버스우선신호시스템의 적용이 달라져야 한다. 혼잡지역의 경우, 버스가 진행하는 노선의 교차로 하류부 교통을 우선적으로 소거시켜서 버스를 진행시키는 것이 중요하며, 이를 위해서는 수동식 우선신호제어전략을 적용하는 것이 바람직하다. 반대로 비교적 낮은 교통량으로 혼잡도가 낮은 지역에서는 능동식 우선신호를 통해 다양한 버스우선신호기법을 적용하는 것이 가능하다. 이러한 차로의 혼잡수준에 따라 우선신호전략을 달리 도입하는 것이 바람직하며, 이에 대한 미국 DOT의 관련준거는 참고할 사례라 판단된다. (참고자료1)

아울러 보행자교통량 역시 버스우선신호시스템의 탄력적 신호운영을 결정하는 중요한 인자다. 보행자의 최소녹색시간(MG : Minimum Green)값은 버스 신호시간을 제한하는 변수로 우선신호교차로의 주방향을 횡단하는 보행자는 MG값을 최대한 이용하는 경향이 있다. 따라서, 보행자 녹색시간을 효과적으로 운영하기 위해서 2단 횡단보도 도입이 바람직하다. 보행자들이 잠정적인 버스승객이므로 보행자에 대한 지체

및 보행연동도 동시에 고려하여 신호제어전략을 수립해야한다.

3) 교통신호 하드웨어·소프트웨어 측면의 고려사항

버스우선 신호제어전략이 현재의 교통신호 하드웨어·소프트웨어에서 구현가능 하는지를 판단하여 활용이 불가하면 운영기관이 요구하는 해당 기능을 가진 제어기를 별도로 구입하거나 제작해야 한다. 버스우선신호시스템의 표준제어기에 다양한 운영전략이 구현가능 하도록 소프트웨어와 하드웨어(펌웨어 : Firmware⁶⁾)를 개발하여야 한다. 이러한 펌웨어는 운영전략별 알고리즘 개발, 합리적인 현시순서 설계, 특정 차종별 해당 교통류의 녹색시간 증감기능, 신호시간 소거기능, 신호연동 등 버스우선신호제공을 위해 다양한 기능적 요구사항이 필요하리라 판단된다.

4) 신호운영정책 및 제어전략 측면의 고려사항

신호운영정책은 버스우선신호의 도입타당성 및 제어전략의 유형을 결정하는 가장 중요한 요인이다. 국내에서는 과거 차량소통중심의 차량지체를 최소화하는 신호운영 철학에서 대중교통과 보행자를 고려하는 정책방향으로 변화하고 있다. 따라서 통행시 사람 지체를 최소화하고 버스의 스케줄에 맞도록 정시성을 향상시켜 운영하는 버스우선신호시스템은 이러한 취지에 부합

6) 하드웨어 제어를 목적으로 하드웨어에 마련된 소량의 메모리를 통해 작동되는 소프트웨어를 펌웨어라 한다.

한다고 하겠다.

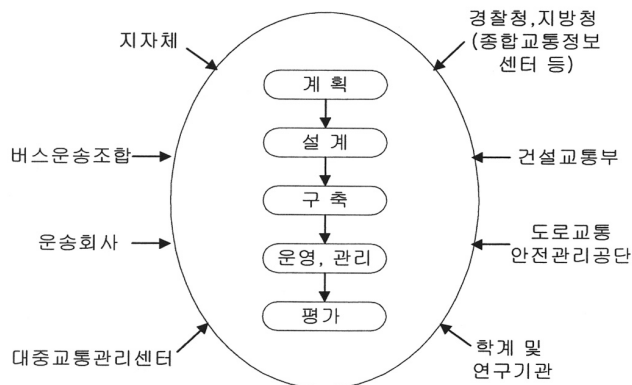
제어전략부분을 살펴보면 일반적으로 실시간 신호제어는 고정식 신호제어보다 버스운영에 유연하게 대응이 가능하며 현장 운영결과, 부도로를 동시에 고려할 경우 고정식보다 사업효과가 뛰어난 것으로 보고되고 있으나, 한 교차로에서 2개 이상 버스가 다른 방향에서 접근할 경우 우선신호 고려가 어렵고, 고성능 검지기, 대용량 컴퓨터와 고속통신장비를 필요로 하며, 교통 혼잡시에는 비용대비 효과가 떨어지는 문제점도 가지고 있다. 이외에도 시계·외 지역에서 버스의 정시성이 중요한 경우 스케줄기반 제어전략을 사용하는데, 버스는 초기 계획 스케줄까지 반드시 기다림으로써 버스의 정시성을 높일 수 있으며 버스위치정보가 불필요하여 적용이 용이하나 대도시에는 적용이 어렵다. 반면 차두시간 기반 제어전략은 버스는 초기 계획된 차두시간까지 기다릴 필요가 없고, 탄력적인 교통상황에서 적용이 용이하기 때문에 대도시에 적용이 비교적

용이하다. 버스우선신호시스템 도입으로 인해 일반차량의 지체가 증가할 수 있으며 이를 위해서는 버스우선 신호요청 시 최대녹색시간의 제약조건을 가지고 운영하거나, 심한 혼잡교차로에서 녹색시간 연장을 매 주기마다 사용하는 것은 제한하고, 버스우선신호가 불필요한 시간대에 승용차에 대한 보상으로 일반차량에 신호시간을 할당할 수 있다. 또한 교통상황에 따라 다른 버스우선신호의 가중치를 제공하여 높은 가중치에는 우선신호를 즉시 제공하고, 낮은 가중치에는 우선신호를 주지 않는 제어전략, 버스가 스케줄보다 늦게 주행할 때만 우선신호를 제공함으로써 일반차량의 지체를 최소화하는 제어전략을 활용할 수 있다.

3. 향후 도입방향

1) 시스템 공학적 접근방법 적극 도입

버스우선신호시스템은 교통관리체계, 신호운



[그림2] 버스우선신호시스템 시스템공학적 접근방법



영체계, 대중교통체계가 복잡하게 얽혀있고 기관간 또는 지역간 시스템적 통합운영이 필요하기 때문에 연계시스템을 고려하여 계획, 설계, 구축, 운영, 유지관리하는 일관된 시스템 공학적인 접근방법(System Engineering Approach)을 거쳐 추진하는 것이 바람직하다. 이때 관계기관의 계획 및 현존 시스템과의 통합 운영을 고려하여 추진되어야 하는 데 이를 위해서는 중앙정부차원의 국가 ITS 아키텍처(Architecture)를 작성, 활용하고 이에 근거하여 추진기관이 지역적 통합운영의 전제하에 개별 시스템을 도입하는 것이 바람직하다.

2) 다양한 신호운영전략 연구개발 및 적용

상기에서 제시한 고려사항을 종합적으로 검토하여 국내 도로환경에 적합한, 다양한 신호제어 전략을 수립하고, 해당 지역에 필요한 제어기법 및 하드웨어, 소프트웨어(펌웨어)를 개발·적용한다. 이때 다양한 도로교통환경에 적합한 다양한 신호제어전략을 적시적소에 적용할 수 있도록 연구개발, 설치, 운영, 유지관리, 평가 등 세부 업무별로 가이드라인을 명확히 제시하는 것도 필요하다. (참고자료2)

3) 철저한 사전 도입타당성 검토 및 사후관리

신호운영에 따른 사업목표와 성과지표를 정립하고 이를 통해 지속적으로 시스템을 모니터링해나가는 것이 필요하다. 주요 성과지표로는 대중교통 통행시간, 차량지체, 사람 지체, 교통량, 승객수 등을 활용하는 것이 바람직하다. 특히 일반차량의 경우 경로변경으로 인한 주간선도로의

차량통행거리 증가 또는 우선신호제공에 따른 교차로 부도로 접근로의 지체가 발생 할 수 있으며 이로 인해, 경로전환 및 피크시간대, 출발시간대를 변경하는 등 운전자의 통행패턴이 변화하게 된다. 또한 버스우선신호시스템은 사람 지체를 기반으로 신호시간을 분할하는 것이 합리적이나 사람 지체를 추정하는 방법은 상당한 연구와 개선 노력이 있어야할 것으로 판단된다.

버스우선시스템의 타당성분석 방법은 비용편익분석 등 체계적인 경제성분석 틀 뿐만 아니라 간략한 판단준거를 마련하여 실무자들이 해당 교차로(지점), 간선 축, 도로망상에 대해 실효성을 판단·손쉽게 적용하도록 개발·보급할 필요가 있다. 예를 들어 미국 DOT는 버스우선신호시스템의 도입효과를 평가하기 위한 사전타당성 체크리스트를 개발하였고, 우선신호의 도입타당성분석(비용편익분석 등)을 추정하는 다양한 판단준거(MOE)와 툴(SCRITS : SCReening for ITS)을 개발·활용하고 있는데 국내에도 좋은 벤치마킹사례로 판단된다.(참고자료3)

4) 일원화된 행정체계 구축 및 조직간 협의 강화

버스우선신호시스템의 도입을 위해서는 <그림 2>와 같이 경찰청, 건설교통부, 지자체, 버스운송조합, 운송회사 등 정책적, 지역적, 시스템적 통합운영을 위해서 관계기관들의 협의 및 의견 조정이 필수적이다. 특히 버스우선신호시스템은 교통정책변화의 필요성과 기술의 연계 및 복잡성으로 인해 기술 및 정책분야에서 관계기관의 폭넓은 이해와 협조가 필요하다. 따라서 권역별로 통합된 교통행정체계를 구축하고 일원화


된 조직을 확보하는 것이 바람직하다.

아울러 대중교통정책 및 규제·신호운영관련 위원회 또는 필요시 별도의 위원회를 통해서 관련 정책 조정, 재원조달방안 등 정책적인 사안뿐만 아니라, 신호제어전략, 운영매뉴얼, 기술표준 제정, 시스템 사양선정, 운영개선방안 등 기술적인 사안에 대해서도 관계기관의 체계적인 의견 수렴이 반드시 선행되어야한다.

V. 맺음말

지금까지 버스우선신호시스템의 기본개념, 해외 구축사례, 사업효과를 고찰하고 국내 도입시 주요 검토사항 및 향후 도입방안을 살펴보았다. 우리나라에서도 서울시 대중교통체계 개편이 안정화되면서 교통정책의 패러다임이 승용차중심에서 대중교통과 보행자를 고려하는 방향으로 빠르게 자리 잡아가고 있다. 이러한 추세에 발맞추어 버스우선신호시스템은 버스의 정시성을 높여 대중교통이용을 증진시키고, 전체 도로네트워크를 효율적으로 운영할 수 있는 신호운영대안으로서 도입의 필요성이 점차 대두되고 있다.

버스우선신호시스템은 도시부 도로기하구조, 교통량, 교통신호정책 및 전략 등의 고려사항을 종합적으로 고려하여 일반차량의 지체를 최소화하면서 버스의 정시성을 향상하기 위한 다양한

우선신호제어전략을 개발하여 적시적소에 적용해나가는 것이 필요하다. 무엇보다도 버스우선시스템의 구축과정에는 '시스템 그 자체'가 목표가 아니라 '버스 우선'을 위한 '교통신호 운영효율화'가 목표가 되어야 할 것이다. 이를 위해서는 시스템 공학적 접근방법을 활용하고, 체계적인 연구개발과 철저한 사업평가를 포함하는 모니터링체계를 구축하는 한편, 통합운영을 위해 조직적, 기술적, 법제도적으로 합리적인 의사조정방안 마련도 필요한 것으로 판단된다. 

참고문헌

1. US.DOT(2002), Overview of Transit Signal Priority
2. US.DOT(2002), Effectiveness of Bus Signal Priority
3. TRB(2003), Transit Capacity and Quality of Service Manual 2nd Edition
4. 서울지방경찰청(2002), 실시간 신호제어시스템 실무해설집
5. 구지선(2003), 버스우선신호의 개발과 평가, 서울시립대학교 석사학위논문
6. 이용택(2004), 서울경찰의 ITS 추진현황과 향후 과제, 한국 ITS학회지 제2권 2호

〈참고자료 1〉 포화수준별 버스우선신호 제어전략

포화도 수준	전략
V/C < 0.25	무조건적 우선신호
0.25 < V/C < 0.8	조건적 우선신호
0.8 < V/C < 1	10초 우선신호
V/C > 1	우선신호 효과 크지 않음

자료 : US. DOT(2003) Effectiveness of Bus Signal Priority

〈참고자료 2〉 사전 타당성 체크리스트 (US.DOT, 2002)

체크 항목	예	아니오
급행버스 있는가?	1	0
Far-side 버스정류장인가?	1	0
비첨두시 급행서비스 있는가?	1	0
V/C 1.0이상 과포화 교차로인가?	0	1
네트워크상에 포화교통류율에 근접한 교차로가 있는가?	0	1
한교차로에서 버스들이 동시에 접근하는 사례가 많은가?	0	1
AVL기술이 도입되었나?	1	0

주 : 도입타당성 판단기준 (1-2 점 : 우선신호 도입을 위해 도로교통환경 개선 필요,
3점 : 도입고려, 4점 : 도입 추천, 5점 : 적극 도입)

〈참고자료 3〉 설치운영 가이드라인 (US.DOT, 2002)

항목	예	아니오
우선신호도입을 위해 운영조건을 변경가능?	능동식, 실시간 제어시스템 바람직	스케줄, 고정식 신호제어가 바람직 BSP효과가 감소하지만 현시스템의 개편이 불필요 간략히 도입
Far-side 정거장 도입, 변경 가능?	능동식 우선신호 바람직	능동식 우선신호도입시 제약이 큼
능동식 우선신호 도입하겠는가?	AVL을 도입한 실시간 제어가 최적고밀집 혼잡가로망에서 효과가 떨어짐	수동식 신호시스템 도입
비조건 우선신호제어를 도입하겠는가?	저혼잡 가로망에 적합 비조건우선신호는 비첨두시 급행버스와 같은 특정조건에 적합 비조건우선신호는 일반차량 지체가 증가	조건적 우선신호도입 가중치시스템을 활용
시스템 보상을 희망하는가?	BSP도입시 일반차량 지체를 줄일수 있음	일반차량의 지체가 낮아 중요하지 않을 경우
Green Recall을 제공할겠는가?	수동식 우선신호제어 도입 시 추천	능동식 실시간 신호제어 시 추천
연동화제공을 하겠는가?	간선축상에 버스 최소정지수를 제공하기 위한 신호조정	긴 연동이 실용적이지 않은 경우
현시(phase) 억제(Suppression)을 제공하는가?	교차로 포화도가 낮을 때	교차로 포화도가 높을 때
실시간 우선신호제어 희망하는가?	AVL과 능동식 우선신호 도입 바람직	고정식, 스케줄 기반 시스템 도입
차두시간 기반 시스템 희망하는가?	버스가 추월하는 것을 금지	승객과 버스대수가 많은 경우
특정 교통상황에서 다른 가중치 적용을 희망하는가?	실시간 능동식제어 적합 고혼잡지역 적용 가능	고정시간 스케줄적용 실시간 우선신호 불필요
실시간 신호제어사용시 루프검지기/차내탑재장치(Transponder) 기반 또는 AVL 기반 시스템사용을 희망하는가?	AVL 시스템은 대중교통이용자에게 온라인 정보를 제공할 때 선택 우선신호를 더욱 실용적으로 제공할 변수를 제공할 수있음	
스케줄보다 운행이 늦어질때 우선신호를 제공할겠는가?	통행시간감소 편익을 줄임	통행시간 개선기반하여 스케줄 갱신이나 변화를 필요치 않음