

# 국내 간선도로 여건을 고려한 대중교통 우선신호 도입전략

Transit Signal Priority Strategy Considering Domestic Arterial Condition



정영계



김영찬

## 1. 서론

국제연합의 '기후변화에 관한 기본협약' 이후 저탄소와 녹색성장은 세계 각국의 정책기조가 되었으며, 국내에서는 2010년 1월 공포된 '저탄소 녹색성장 기본법'에서 자연과 환경의 지속 가능성을 유지함과 동시에 경제적 성장을 유지하기 위해 에너지와 자원의 효율적 사용을 강조하고 있다. 또한 본 기본법에서는 저탄소 녹색성장을 위한 산업분야로서 교통 및 물류 등을 지적하고 있으며, 도시와 건물, 교통 등의 사회 기반시설을 저탄소 녹색 성장에 부합하도록 재편할 것을 요구하고 있다.

국제에너지기구(IEA)의 보고에 따르면 세계 CO<sub>2</sub> 배출량의 22%가 교통부문에서 기인한다(1). 국내 여건도 비슷하여 교통부문 온실가스 배출량은 2004년을 기준으로 약 1억톤 정도로 추정되고 있으며, 이를 2008년 9월 국제 탄소거래가격 기준으로 환산할 경우 약 4조 5천억원에 달하는 경제적 가치를 지닌다.

교통부문은 2006년 국내 에너지 소비의 약 21%를 차지하여 37백만톤에 달하고 있으며, 이 중 도로부문이 전체 교통부문의 79%를 차지하여 도로교통에 집중된 에너지 소비경향을 보이고 있다(2). 국내에서 교통부문에 집중된 온실가스의 배출 및 에너지 사용량은 도로교통 중 승용차를 중심으로 하는 교통여건에서 부터 기인한다. 저탄소 녹색성장 기본법에서 제시하고 있는 환경의 지속 가능성을 유지하기 위한 교통부문의 산업 재편을 위해서는 도로부문에 대한 개선대책이 절실함을 알 수 있으며, 승용차 중심의 도로교통을 개선하기 위한 노력이 요구된다.

대중교통 활성화를 통한 승용차 수요억제 정책의 사례로 서울시는 2004년 대중교통체계 개편과 함께 다양한 형태의 버스전용차로제를 시행 중에 있으며, 대중교통의 통행시간 단축과 함께 서비스 수준개선을 위한 대중교통 우선정책들을 시행 중에 있다. 이 중 중앙버스전용차로는 1996년 천호대로를 시작으로 2008년 현재 8개 구간에 73.5km에

정영계 : 서울시립대학교 교통공학과, sleep108@hanmail.net, 직장전화:02-2210-2671, 직장팩스:02-2210-2653

김영찬 : 서울시립대학교 교통공학과, yckimm@uos.ac.kr, 직장전화:02-2210-2768, 직장팩스:02-2210-2653

이른다 (3, 4).

서울 뿐 아니라 수도권에서도 광역BRT사업이 활발히 추진되고 있으며, 천호-하남간, 청라-강서간 BRT가 개통을 준비 중에 있다. 또한 2010년부터 서울과 경기도를 연결하는 주요 광역노선 10개 축에 대해 BRT 구축이 예정되어 있다 (5). 대중교통에 대한 관심은 BRT 뿐 아니라 궤도교통에 해당하는 트램으로 확산되어 도시부 간선도로에 설치될 수 있는 무가선 저상트램 시스템이 개발 중에 있다 (6). 2000년대 이후 국내에서는 BRT, 중앙버스전용차로, 트램 등 대중교통 시설이 지속적으로 확대되어 왔다. 그러나 중앙버스전용차로와 같은 대표적인 대중교통 우선시설에서도 대중교통의 통행시간에 결정적 영향을 미치게 되는 신호운영 만은 전통적인 방식으로서 일반차량을 기준으로 적용되어 왔다. 버스, 트램 등 대중교통은 정류장 정차시간이 추가로 요구되어 신호교차로의 운영에서 버스를 고려하는 것은 쉽지 않으며, 국내에서는 BRT와 같은 대중교통 우선처리 시설에서도 신호운영은 일반차량의 관점에서 전통적인 방법의 신호시간 설계가 이루어져 왔다.

신호교차로에서 버스, 트램과 같은 대중교통을 고려하기 위한 방법으로는 우선신호 기법이 일반적으로 이용된다. 우선신호의 목표는 교차로에서 차량의 승객점유율이 높은 대중교통이 우선적인 처리가 이루어질 수 있도록 신호제어를 수행함으로써 사람당 지체(Person Delay)를 최소화하고, 교차로 통과인원수(Person Throughput)를 최대화하는데 있다 (7, 8).

본 연구에서는 대중교통을 위한 대표적인 신호운영 전략에 해당하는 우선신호 기법들을 제시하

고, 국내 간선도로의 여건을 고려한 대중교통 우선신호의 도입전략을 제시하고자 한다. 또한 본 연구에서는 <표 1>과 같이 우선신호에 대한 한글용어를 정립하였다.

## II. 대중교통 우선신호

대중교통 우선신호는 교차로에서 대중교통에 우선권을 부여하기 위한 신호운영전략에 해당한다 (8). 대중교통 우선신호는 1960년대 유럽에서 최초로 적용되기 시작했으며, 미국의 경우 LA에서 1970년대 초부터 적용되기 시작했다 (9, 10). 이때 적용된 대중교통의 우선처리를 위한 신호제어는 대중교통 우대신호가 일반적으로 사용되었다 (11, 12). 우선신호 시행 초기에는 대중교통의 우선처리에만 집중하는 형태의 우대신호가 일반적이었다. 80년대 이후부터 현재의 우선신호에 해당하는 방법들에 대한 연구가 활발히 진행되기 시작하였으며, 최근에는 대중교통 우선신호를 실시간 신호제어 알고리즘과 결합하기 위한 형태의 연구와 같이 우선신호로 인해 지체가 증가하게 되는 일반교통류의 용량개선 등 우선신호의 효율성 개선에 초점이 맞춰져있다.

대중교통 우선신호의 유형은 고정식, 능동식, 대응식 우선신호로 구분할 수 있다. 고정식 우선신호는 대중교통의 검지 여부에 관계없이 균일하게 우선신호를 적용하는 방식이며, 능동식 우선신호는 대중교통의 실시간 위치와 현재 현시의 운영조건에 따라 적용방식이 결정된다. 대응식 우선신호는 실시간 신호제어시스템과 결합된 우선신호를 의미한다 (8, 13-18). 일반적으로 우선신호는 능

<표 1> 대중교통 우선신호 관련 용어의 정립

우선신호 관련 용어	정의	연구의 용어정립
Signal Preemption	현시를 강제로 종료하여 대중교통 현시를 제공하는 방식	우대신호
Signal Priority	정상 현시의 운영상황을 고려하여 대중교통에 교차로 통행의 우선권을 주기 위한 대중교통 현시의 제공 방식	우선신호
Active Signal Priority	대중교통의 검지 시에만 우선신호를 요청하여 대중교통에 유리한 신호시간을 일시적으로 적용하는 방식	능동식 우선신호
Passive Signal Priority	대중교통의 운영패턴을 이용하여 대중교통에 유리한 신호시간을 고정적으로 적용하는 방식	고정식 우선신호

동식 기법에 해당하는 Early Green, Green Extension, Phase Insert가 세계적으로 가장 널리 쓰이는 기법에 해당한다. 본 연구에서는 고정식과 능동식 우선신호의 기법을 분류하고, 연구 및 실제 적용사례에 대한 검토를 통해 국내 간선도로에서의 우선신호 적용 가능성과 적용방법에 대해 논의하고자 한다.

### 1. 고정식 우선신호

고정식 우선신호 기법은 대중교통 통행패턴에 기반하여 대중교통에 유리한 신호시간을 고정적으로 운영하는 방식이며, 전통적인 방식들은 주기 길이, 현시 길이, 현시 서비스 빈도를 조정함으로써 교차로에서 승용차 대비 교통유율이 낮은 대중교통에 녹색시간의 제공빈도를 높이는 데 목적이 있다 (13-15, 18-19).

- ① 주기 단축
- ② 대중교통 현시 확대
- ③ 대중교통 현시 분할
- ④ 일반차량 미터링

고정식 우선신호는 개념적인 방법들 이외에 신호최적화 과정에서 대중교통에 가중치를 부여하는 방식, 대중교통을 연동 시키는 방식으로 구분이 가능하다.

첫째, 신호최적화 과정에서 사람당 지체(Person Delay) 및 통과 인원수(Person Throughput)를 고려하여 대중교통 현시에 가중치를 부여하는 방식이 있다. 지체와 정지수 최소화를 목표로 하는 신호최적화 도구인 T7F를 이용하여 버스의 주행 특성을 고려한 신호운영에 관한 연구가 제시된바 있다 (15). Transyt 모형의 목적함수는 식(1)과 같이 지체와 정지횟수를 기준으로 하며, 개별 링크에 대한 가중치를 고려하기 위한  $W$  및  $KW$ 를 적용할 수 있다. 이때 대중교통 현시에 대해 재차인원을 이용하여 가중치를 결정할 수 있으며, 신호시간

최적화 분석결과는 대중교통 지체는 감소하나 일반승용차의 지체는 증가시키게 된다. Transyt 모형을 이용하여 대중교통 현시에 가중치를 적용하는 유형의 고정식 우선신호는 실시간 신호제어시스템 SCOOT에서 동일한 방식으로 적용된 바 있다 (20).

$$PI = \sum_{i=1}^n (W_i \times Delay_i + KW_i \times Stops_i) \quad (1)$$

- $PI$  : Performance Index
- $n$  : 전체 링크 개수
- $Delay_i$  : 링크  $i$ 의 지체
- $W_i$  : 링크  $i$ 의 지체 가중치
- $Stops_i$  : 링크  $i$ 의 정지회수
- $KW_i$  : 링크  $i$ 의 정지회수 가중치

둘째, 대중교통의 정류장 정차시간을 고려하여 대중교통을 연동대상으로 하는 고정식 우선신호 전략이 있다. 대중교통은 정류장 정차시간과 일반차량 대비 낮은 속도로 승용차 기준의 연동 서비스에 포함되기 어려우며, 이때 정류장의 위치, 연동속도를 조정함으로써 정류장 정차시간을 고려하여 대중교통에 연동화된 신호제어를 제공할 수 있다. 정류장 위치에 따라 대중교통의 통행패턴은 <그림 1>의 좌측과 같이 정류장 정차와 교차로 정차를 반복하는 현상이 발생될 수 있으며, 정류장 위치를 조정 배치함으로써 버스는 정류장 정차 이후 연동폭을 이용하여 다음 정류장 까지 교차로 지체 없이 통행할 수 있다 (15). 또한 연동속도를 조정하는 기법은 버스의 정차시간 평균치를 연동폭 산정 시 고려하는 방법이다. 버스의 통행시간을 기준으로 연동폭을 산정하며, 연동폭에 버스의 정류장 평균 정차시간이 포함된다. 이후 윗셋을 조정하여도 연동폭에 영향을 미치지 않는 녹색시간(Slack Green)을 이용하여 일반차량의 연동을 위해 연동폭을 보완하는 과정이 적용된다 (21). 이러한 대중교통의 연동개념은 Robust 알고리즘과 같이 최적화 기법을 이용하여 버스의 통행패턴과 연동폭을 결합하는 방식으로 발전된바 있다 (22).

우선신호 기법은 일반적으로 버스와 트램에 대해 구분없이 적용되나, 경전철의 통행특성과 고정식 우선신호를 결합한 사례로 San Diego Trolley System은 다음과 같은 신호운영 기법을 적용 중에 있다 (23).

- ① 트롤리는 정류장에서 하류부 교차로의 녹색신호 시작 때 까지 정차하여 대기한다.
- ② 트롤리는 하류부 교차로의 녹색신호가 시작된 이후 5초 이내에 정류장을 출발한다.
- ③ 정류장에서 지정된 5초 이내에 출발하지 못하는 경우 정류장에서 다음 녹색신호를 기다린다.
- ④ 정상적인 시간 내에 정류장을 출발한 트롤리는 교차로를 정차 없이 통과하여 다음 정류장 까지 주행하게 된다.

San Diego Trolley System은 중앙버스 전용차로와 같이 도로중앙에 전용의 궤도에서 운영된다. 트롤리의 원활한 신호운영을 위해 신호교차로는 2현시 운영을 권장하고 있으며, 트롤리의 운영원칙과 고정식 신호운영이 결합된 방식에 해당한다.

San Diego Trolley System과 유사한 방식의 고정식 우선신호 기법으로서 신호 최적화 모형을 기반으로 하는 트램의 연동전략이 제시된 바 있다 (24). 도시부 간선도로에서 중앙트램 전용궤도가 운영되는 상황을 고려하여 트램과 일반차량 모두

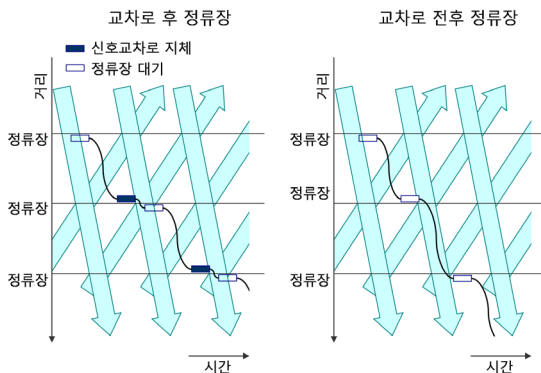
를 연동시킬 수 있는 연동모형으로 MAXBAND MILP-Tram이 제시된 바 있다. 본 모형은 전통적인 간선도로의 연동모형인 MAXBAND의 혼합정수선형계획(MILP) 버전을 기반으로 하며, 독립적으로 주행하는 트램을 위한 고정된 연동폭과 일반차로의 차량군을 위한 최대화된 연동폭을 동시에 산정한다. 이때 트램의 연동폭은 일반차량 대비 낮은 속도와 정류장 정차시간을 포함하는 통행시간의 트램 통행특성이 반영된다. 트램 정차시간의 변동에 따른 고정식 우선신호의 효율성 저하를 방지하기 위해 트램은 정차시간 이후에 일정 시간 동안 정류장 대기시간을 가지며, 일반차량과 상충이 되지 않는 현시 동안에 트램만을 위한 별도의 녹색시간을 부여하게 된다.

고정식 우선신호는 별도의 시설 또는 장비 설치가 필요치 않으며, BMS 및 BIS, 전자요금정수시스템 등의 대중교통 운행이력 자료만을 이용한 장점이 있다. 자료의 분석과 교차로 신호시간의 산정만으로 즉시 시행이 가능한 우선신호 방식에 해당한다. 그러나 대중교통의 통행패턴은 항상 일정하지 않으며, 이로 인해 고정식 우선신호에서는 대중교통과 일반차량 모두 불합리한 신호운영이 이루어 질수 있다. 정류장 정차시간의 변동은 대중교통에서 통행시간의 변동을 야기하며, 이로인해 특정 통행패턴만을 대상으로 하는 고정식 우선신호는 효율성이 떨어질 수 있다 (25).

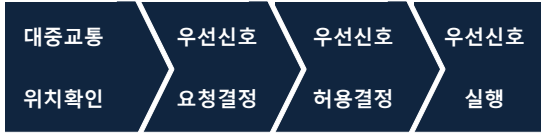
## 2. 능동식 우선신호

능동식 우선신호는 검지체계와 우선현시 요청 프로세스를 이용하여 대중교통이 검지되었을 때만 우선현시를 제공하는 방법이며, 위치정보를 이용하여 대중교통이 교차로에서 최소의 지체만을 경험하기 위한 신호시간을 적용한다. 다양한 기법들이 개발되어왔으며, Early Green, Green Extension이 세계적으로 가장 널리 적용되고 있다 (8, 13-18, 26, 27).

Early Green 기법은 <그림 3>과 같이 대중교



<그림 1> 정류장 위치와 대중교통 연동



〈그림 2〉 능동식 우선신호의 적용과정

통이 적색시간 동안에 도착하였을 경우, 버스 현시를 정상상태 보다 일찍 시작하는 방법이다. Green Extension 기법은 버스가 녹색시간 종료 전까지 교차로를 통과하는 것이 불가능한 경우 현시를 연장하는 방법이다. Green Extension 기법은 Early Green 대비 지체감소 효과가 우수하나 발생가능 시간대가 Early Green 대비 짧아 발생빈도는 상대적으로 낮다 (24). 능동식 우선신호는 일반적으로 〈그림 2〉와 같이 차량의 검지 및 위치확인, 우선신호 요청 및 허용여부 결정, 우선신호의 적용과정을 거치게 된다 (28, 29). 이때 우선신호의 허용여부를 결정하는 방법에 따라 모든 대중교통에 우선신호를 제공하는 Full Priority와 지체된 차량만을 대상으로 하는 Conditional Priority, Queue Jump와 같은 대중교통 우선시설과 결합된 Integrated Priority로 구분할 수 있다 (27).

- ① Full Priority
- ② Conditional Priority
- ③ Integrated Priority

대중교통의 배차간격, 우선신호를 적용하는 대중교통의 종류, 일반차로의 포화상태에 따라 다양

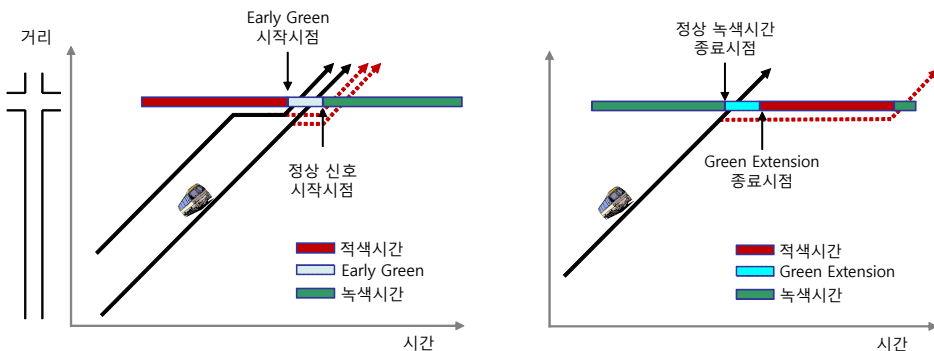
한 형태의 우선신호 전략을 적용할 수 있으며, 대중교통의 배차간격 등 운행계획을 일정하게 유지하기 위해서는 Conditional Priority가 일반적으로 적용된다.

능동형 우선신호에서 적용기법의 종류, 우선신호 적용 프로세스와 함께 우선현시 길이 및 검지기 위치는 우선신호의 효율성을 결정하는 중요한 요소이다.

우선현시의 시간길이는 Green Extension과 Early Green이 적용될 때 비우선현시로 부터 가져오는 녹색시간의 크기를 의미한다. 비우선현시의 지체를 고려하여 최대 시간길이를 지정하며, 일반적으로 〈표 2〉와 같이 10초 내외의 시간이 적용된다. 실제 적용사례로서 Melbourne의 SCATS에서는 버스현시 녹색시간의 최대 20%를 비우선현시의 포화상태에 따라서 선택적으로 적용하며, Toronto에서는 중요교차로는 최대 30초, 비중요교차로는 최대 16초의 우선현시 길이를 적용하고 있다 (17, 18, 30-32, 41).

능동형 우선신호를 위한 검지기 위치는 Extension의 시간을 고려하여 버스의 주행속도에 따라 결정되며, 일반적으로 〈표 3〉과 같이 100~200m 내외의 위치에서 결정된다 (31, 33-35, 42).

능동형 우선신호는 앞서 기술한 고정식 우선신호 대비 버스가 존재할 때만 우선현시를 제공함에 따라 우선신호로 인해 발생하는 일반차량의 지체증가를 최소화 할 수 있는 장점이 있으며, 적용방법 또한 다양하여 우선신호 전략으로서 활용도가



〈그림 3〉 Early Green과 Green Extension 기법의 적용과정

〈표 2〉 우선현시의 시간길이 적용 사례

적용사례	우선신호 적용기법	우선현시의 시간길이	비고
Los Angeles	Green Extension	10초	적용사례
Melbourne	Early Green/Green Extension	주기길이의 최대 20%	적용사례
Toronto	Early Green/Green Extension	16~30초	적용사례
Sacramento	Early Green/Green Extension	10초	적용사례
Chada(2001)	Early Green/Green Extension	10초	연구결과
Garrow(1998)	Early Green/Green Extension	10~20초	연구결과
정영제(2010)	결정적 지체모형을 이용한 우선신호 시간길이 결정 방법론		연구결과

〈표 3〉 능동식 우선신호를 위한 검지기 위치선정 사례

적용사례	검지기 위치	선정 방법	비고
미국 Sacramento	Default 300ft 최대 600ft까지 확장	자체적인 위치 선정 매뉴얼 적용	적용사례
캐나다 Toronto	100m	대부분 교차로에서 고정된 위치	적용사례
호주 Melbourne	200m	SCATS의 트랩 우선신호시스템	적용사례
McGinley(1985)	검지위치를 신호시간에 따라 변경할 필요가 있음을 제시		연구결과
Zhou(2006)	Queue Jump를 위한 검지기 위치선정		연구결과
Liu(2004)	해석적 방법으로 버스지체가 최소화 되는 검지기 위치선정		연구결과
정영제(2010)	버스대기시간 모형을 이용한 최적 검지기 위치선정		연구결과

높다. 그러나 우선현시를 제공하기 위해 비우선현시의 녹색시간을 가져와야만 하며, 비우선현시가 보행자 신호와 동일한 크기로 운영되어 여유녹색시간(Variable Green)이 부족한 경우 우선신호의 적용에 어려움이 있다.

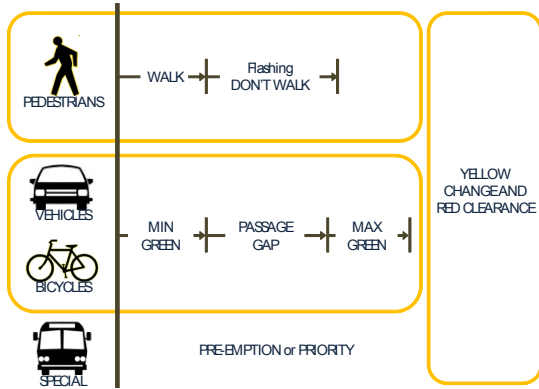
### III. 국내 교통여건에 따른 우선신호전략

국내에서 대중교통 우선신호는 다양한 연구 또는 사업에서 적용이 시도되어 왔으나, 시범적용 또는 설계 단계에서 그쳐왔다. 차세대 무선통신 신호 제어시스템 연구개발에서는 DSRC를 기반으로 대중교통을 검지하여 Early Green과 Green Extension을 제공하는 방식의 능동형 우선신호 시스템이 개발된바 있으며 (36), 고양시 BRT 사업에서는 1개 교차로에 승객점유율이 높은 1개 광역버스 노선을 대상으로 하여 Full Priority 방식의 능동형 우선신호가 적용된바 있다 (37). 최근에는 천호~하남간, 청라~강서간 BRT 시범사업에서 능동식 우선신호와 고정식 우선신호에 대한 종합적인 설계가 이루어졌다 (38, 39). 광역 BRT 시범사업을 통해 대중교통의 운영개선을 위

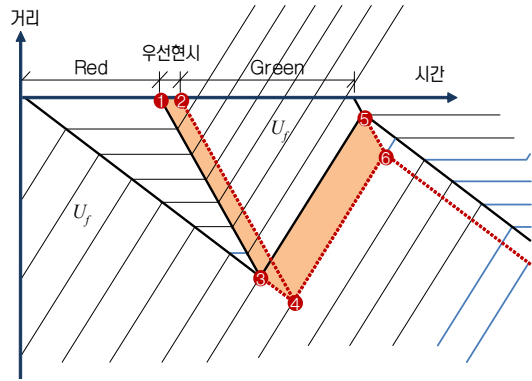
해서는 신호운영 방식의 개선이 반드시 필요함을 확인한바 있으며, 이에 대한 해결책으로 대중교통 우선신호가 관심을 끌고 있다. 서울시 중앙버스전용차로, 광역 BRT, 무가선 저상트램 등 다양한 방식의 대중교통 우선시설이 간선도로에 확대 설치가 예상되고 있으며, 본 연구에서는 국내 간선도로 교통여건을 고려한 도입전략을 제시하고자 한다.

첫째, 도로 이용자에 대한 명확한 우선순위를 선정할 필요가 있다. 신호운영의 관점에서 도로이용자는 〈그림 4〉와 같이 보행자, 자동차, 자전거, 대중교통으로 구분할 수 있다. 각각의 도로이용자는 고유의 통행특성을 고려한 신호시간을 제공받는다. 보행자는 보행녹색과 보행점멸, 자동차는 최소녹색시간, 진행연장시간, 최대녹색시간을 이용하는 방식이다 (40).

국내에서 신호운영을 위한 도로이용자 우선순위는 보행자를 최상위에 두고, 자동차와 대중교통의 관계는 동등한 위치이다. 광로에서 보행자신호가 길어져 자동차 교통유율이 낮음에도 녹색신호가 유지되는 상황은 이 때문이다. 우선신호 기법은 대중교통에 우선현시를 부여하기 위해 비우선현시로부터 신호시간을 가져와야만 한다. 신호운영을 위



〈그림 4〉 도로이용자와 신호시간



〈그림 5〉 우선신호에 따른 부방향 지체증가 과정

해 승용차와 대중교통이 동일한 우선순위에 있을 때 승용차의 지체증가가 예상되는 우선신호는 적용에 어려움이 있다. 교통시설의 설치에서는 대중교통을 상위에 두어 전용차로를 설치하나, 신호운영에서 만큼은 승용차와 대중교통을 동일한 수준으로 유지하는 것이다. 대중교통 우선신호의 설치를 위해서는 신호운영의 우선순위를 보행자, 대중교통, 승용차로 명확히 하여야 한다. 일부 보행자가 미미한 지역에서는 2단 횡단보도, 보행자 작동 신호기를 적극적으로 설치하여 대중교통의 우선순위를 최상위에 두는 신호운영 정책이 요구된다.

둘째, 신호교차로의 포화상태에 따라 고정식 우선신호와 능동식 우선신호의 차별화된 적용이 필요하다. 국내 간선도로는 침두시 과포화 상황이 빈번히 발생되고 있으며, 서울시의 경우 버스전용차로가 설치된 강남대로, 천호대로 등은 20kph 전후의 구간통행속도를 나타내고 있다 (3). 우선신호 적용 시 부방향 지체를 충격과 모형으로 정의하면, 〈그림 5〉와 같이 적색시간은 우선현시에 녹색시간을 부여하기 위해 ①에서 ②로 늘어나며, 이에 따라 대기행렬은 ③에서 ④로 연장된다. 과포화 상태에서는 초기대기행렬 또한 ⑤에서 ⑥으로 연장되며, 과포화 상태가 심각할수록 우선신호로 인한 추가 지체는 급격히 증가하게 된다.

비포화 상태에서는 Early Green과 Green Extension 등 대중교통에 추가 녹색시간을 제공하는 방식의 능동식 우선신호를 적극적으로 적용

하고, 과포화 상태에서는 현시순서, 연동만을 이용하여 대중교통을 연동기준으로 하는 고정식 우선신호 전략을 적용하는 것이 유용한 대안이 될 수 있다. 또한 고정식 우선신호와 능동식 우선신호를 결합한 방식이 적용될 수 있으며, 고정식 우선신호를 이용하여 능동식 우선신호가 발생하는 상황을 제어함으로써 우선신호로 인한 추가지체를 최소화할 수 있다. 이러한 우선신호 전략은 청라~강서간 BRT의 설계에서 제시된바 있으며, 본 설계에서는 교통여건에 따른 우선신호 기법의 선정을 위해 〈표 4〉와 같이 교통량, 버스통행특성, 기하구조, 신호운영의 조건을 분류하여 제시한바 있다. 트램의 간선도로 주행을 가정한 일부 연구에서는 고정식 우선신호를 통해 트램의 연동을 고려한 이후 일반차량의 연동폭을 최대화 하는 전략을 이용하였으며, 이때 트램이 연동폭을 벗어난 경우에 한해 능동식 우선신호를 제공하는 전략이 제시된바 있다.

국내에서 대중교통 우선신호는 능동식 우선신호의 Early Green과 Green Extension 기법으로 대변되는 상황이었다. 국내에서 대중교통 우선신호의 적용 대상인 주요 간선도로는 비우선현시의 심각한 과포화와 왕복 10차로에서 긴 보행자시간으로 우선현시를 위한 여유녹색시간이 부족한 상황이다. 이때 교차로의 포화상태에 따라 능동식과 고정식 우선신호를 결합한 방식이 대중교통의 신호운영 개선을 위한 유용한 대안이 될 수 있다.

셋째, ITS 인프라를 활용한 한국형 대중교통 우

〈표 4〉 우선신호의 적용 조건

적용 기준		우선신호의 적용 방법	분석지표
교통량	버스교통량	▪ 많을수록 고정식 우선신호의 효과가 우수	버스교통량 일반교통량 v/c
	일반교통량	▪ 작을수록 우선신호의 효과가 우수	
버스운영	배차간격	▪ 작을수록 고정식 우선신호가 유리 ▪ 클수록 능동식 우선신호가 유리	배차간격
기하구조	정류장 위치	▪ Midblock, Farside에 위치할 때 가장 유리 ▪ Nearside에 위치할 때 가장 불리	정류장 위치
	교차로 밀도	▪ 높을수록 고정식 우선신호의 효과가 우수	교차로수
신호운영	제어유형	▪ 일반적으로 고정식 신호인 TOD에서 가장 널리 적용 ▪ 실시간 신호제어 알고리즘별 서브시스템으로 운영	신호제어유형
	신호시간	▪ 능동식 우선신호는 우선현시 이외의 현시에서 여유녹색시간 확보가 가능할 경우 적용 ▪ 고정식 우선신호는 신호운영의 패턴변화가 고정적일 경우 적용	여유녹색시간 TOD 패턴

선신호 시스템 개발이 필요하다. 서울 및 수도권 등 국내 대도시의 경우 UTIS, BIS 및 BMS의 구축이 완료되어 대중교통의 실시간 위치정보, 운행 패턴 자료의 수집이 가능한 상황이다. 일반적인 우선신호 시스템의 구성요소는 대중교통 검지체계, 센터시스템에 해당하는 우선신호 판단체계, 로컬 시스템인 우선신호 수행체제로 구성된다 (27). 우선신호의 적용방식에 따라 판단체계와 수행체계를 결합할 수 있으나, 배차간격 등 대중교통의 운행상태를 확인하여 조건부 우선신호를 제공하기 위해 대중교통 운행관리시스템과 연계된 우선신호 판단체계를 유지하여야 한다. 현재 국내에는 UTIS, BIS, BMS 등의 구축으로 우선신호 판단 및 제공 프로세스의 일부 개발만으로도 우선신호 적용이 가능한 상황이다. 한국형 우선신호 시스템 개발을 위해 적극적인 연구개발이 요구된다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 국내 교통여건을 고려한 우선신호 도입을 위해 우선신호 기법의 분류 및 적용방법을 제시하였으며, 다음과 같은 도입전략을 제시하였다. 첫째, 도로이용자의 우선순위를 지정하여 대중교통에 적극적인 우선신호 부여한다. 둘째, 포화

상태에 따라 능동식과 고정식 우선신호를 차등화하여 적용한다. 셋째, UTIS, BMS, BIS와 같은 ITS 시스템을 활용한 한국형 우선신호 시스템을 개발하여야 한다.

#### 참고문헌

1. International Energy Agency(2009), CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion Highlights 2009 Edition, Available at: <<http://www.iea.org/co2highlights/CO2highlights.pdf>> [Accessed 10 Mar 2010].
2. 박진영(2008), 녹색성장과 교통부문의 과제, 녹색교통, 제143호, pp.34~35.
3. 서울시(2011), 서울시 도시교통본부 자료실 통계자료, Available at: <[http://transport.seoul.go.kr/tdata/tdata05\\_02\\_02.html](http://transport.seoul.go.kr/tdata/tdata05_02_02.html)> [Accessed 10 Mar 2011].
4. 윤병조(2008), 서울시 중앙버스전용차로 시행에 따른 도로교통 수요 변화, 한국도로학회논문집, 제10권 제3호, 한국도로학회, pp.139~147.
5. 수도권 교통본부(2011), 광역사업현황, Available at: <<http://www.mta.go.kr/>>



- condition/confirm/result.jsp>[Accessed 10 Mar 2011].
6. 박형순(2010), 무가선 저상트램 소개, 오토저널, 제32권, 제3호, pp.32~35.
  7. Wang, Y., Hallenbeck, M., Zheng, J., et al.(2008), Comprehensive Evaluation of Transit Signal Priority System Impacts Using Field Observed Traffic Data, Washington State Transportation Center, University of Washington.
  8. Smith, H.R., Hemily, B., and Ivanovic, M.(2005), Transit Signal Priority (TSP): A Planning and Implementation Handbook, ITS America.
  9. Evans, H. and Skiles, G.(1970), Improving Public Transit Through Bus Preemption of Traffic Signals, Traffic Quarterly, Vol.24, No.4, pp.531~543.
  10. Khasnabis, S., Reddy, G.V., and Hoda, S.K.(1993), Evaluation of the Operating Cost Consequences of Signal Preemption as an IVHS Strategy, Transportation Research Record 1390, pp.3~9.
  11. Wilbur, E.J.(1976), The Green back Experiment- Signal Preemption for Express Buses : A Demonstration Project Report DMT-014, California Department of Transportation.
  12. Wattleworth, J.A., Courage, K.G., and Wallace, C.E.(1997), Evaluation of some bus priority strategies on NW 7th Avenue in Miami, Transportation Research Record 626, pp.32~35.
  13. McGinley, F.J. and Stolz, D.R.(1985), The Design of Tram Priority at Traffic Signals, Journal of Advanced Transportation, Vol.19, No.2, pp.133~151.
  14. Sunkari, S.R., Beasley, P.S., Urbanik II, T., and Fambro, D.B.(1995), Model to Evaluate the Impacts of Bus Priority on Signalized Intersections, Transportation Research Record 1494, pp.117~123.
  15. Skabardonis, A.(2000), Control Strategies for Transit Priority, Transportation Research Record 1727, pp.20~26.
  16. Baker, R.J., Collura, J., Dale, J.J., et al.(2002), An Overview of Transit Signal Priority, Intelligent Transportation Society of America.
  17. Levinson, H., Zimmerman, S., Clinger, J., et al. (2003) Bus Rapid Transit Volume 1: Case Studies in Bus Rapid Transit, Transit Cooperative Research Program Report 90, Transportation Research Board, National Research Council.
  18. Garrow, M. and Machemehl, R.(1998), Development and Evaluation of Transit Signal Priority Strategies, Presented at 77th Annual Meeting of the Transport Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
  19. Barton, Michael(2003), Evaluation of Transit Signal Priority Options for Rapid Transit and Light Rail Transit in the City of Richmond, Master's dissertation, The University of British Columbia.
  20. Wood, K. and Baker, R.T.(1992), Using SCOOT Weightings to Benefit Strategic Routes, Traffic Engineering and Control, London, UK.
  21. 한여희 · 김영찬(2009), 버스 연동중심제어

- 를 이용한 버스우선신호 최적화 방법론, 제61회 학술발표회 논문집, 대한교통학회, pp. 761~765.
22. Romeu, E., Miquel, C.T., Roca-Riu, M., and Robuste, F.(2009), Improving Bus Travel Times with Passive Traffic Signal Coordination, Transportation Research Record 2111, pp.68~75.
  23. Celniker, S. and Wayne, T.E.(1992), Trolley Priority on Signalized Arterials in Downtown San Diego, Transportation Research Record 1361, pp.184~187.
  24. 정영제(2011), 간선도로의 트램우선신호를 위한 교통신호운영 전략, 박사학위논문, 서울시립대학교.
  25. Hounsell, N.B. and Bretherton, R.D. (1995), Protecting buses from congestion using traffic signal control, IEE Colloquium on Urban Congestion Management, London, UK.
  26. Balke, K.N., Dudek, C.L., and Urbanik II, T.(2000), Development and Evaluation of Intelligent Bus Priority Concept, Transportation Research Record 1727, pp.12~19.
  27. Gardner, K., D'Souza, C., Hounsell, N., Shrestha, B., and Bretherton, D.(2009), Review of Bus Priority at Traffic Signals around the World, Transportation Research Group, University of Southampton, Southampton, UK.
  28. Fehr & Peers Transportation Consultants (2007), DRCOG/RTD Transit-Signal Priority Study, Denver Regional Council and Regional Transportation District, Denver, Colorado, 2007.
  29. Li, Y., Koonce, P., Li, M., Zhou, K., et al. (2008), Transit Signal Priority Research Tools, California Department of Transportation, Available at: <www.dot.ca.gov/research/researchreports/reports/2008/tsp\_research\_tools\_final\_report.pdf.> [Accessed 10 Mar 2010].
  30. Currie, G. and Shalaby, A.(2008), Active Transit Signal Priority for street cars - Experience in Melbourne, Australia and Toronto, Canada, Transportation Research Record 2042, pp.41~49.
  31. Rephlo, J. and Haas, R.(2006), Sacramento-Watt Avenue Transit Priority and Mobility Enhancement Demonstration Project Phase III Evaluation Report, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., pp.5~6.
  32. Chada, S, and Newland, R.(2002), Effectiveness of Bus Signal Priority, Final Report, National Center for Transit Research, University of South Florida.
  33. Liao, C.F. and Davis, G.A.(2006), Bus Signal Priority Based on GPS and Wireless Communications Phase I-Simulation Study, University of Minnesota.
  34. Liu, H., Skabardonis, A., Zhang, W. B., and Li, M.(2004), Optimal Detector Location for Bus Signal Priority, Transportation Research Record 1864, pp.144~150.
  35. Zhou, G., Gan, A., and Zhu, X.(2006), Determination of Optimal Detector Location for Transit Signal Priority with Queue Jumper Lanes, Transportation Research Record 1978, pp.123~129.

36. 김영찬(2007), 차세대 무선통신 신호제어시스템 개발, 국가교통 핵심기술 개발사업 연차 보고서, 서울시립대학교.
37. 고양시(2005), 고양시 BRT 기본 및 실시설계.
38. 수도권교통본부(2009), 천호-하남간 BRT 시범사업 기본 및 실시설계.
39. 수도권교통본부(2010), 청라-강서간 BRT 시범사업 기본 및 실시설계.
40. Koonce, P. et al.(2008), Traffic Signal Timing Manual, Technical Report, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.
41. 김태운 · 정영제 · 김영찬(2010), 결정적 지체모형을 이용한 능동형 버스우선신호의 최적 신호시간 산출방안, 제63회 학술발표회 논문집, 대한교통학회, pp.ii-446~450.
42. Jeong Youngje, Youngchan Kim(2010), Study on Optimal Detector Location for Active Bus Signal Priority of Median Bus Lane, Proceeding of the 17th ITS World Congress, Busan.