

BRT에서의 버스 우선 신호 효과분석

Effectiveness of Bus Signal Priority on Bus Rapid Transit

김태운

(서울시립대학교 교통공학과 석사과정)

정영제

(서울시립대학교 교통공학과 박사과정)

김영찬

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

Key Words : 버스 우선 신호, BRT, passive priority, active priority, 효과분석

목 차

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

2. 연구의 내용 및 방법

II. 기존이론 고찰

III. 버스 우선 신호 방법론

IV. 분석 방법론

V. 시나리오의 결과 분석

1. 차량 당 평균지체분석

2. 평균 사람 당 지체분석

VI. 결론

참고문헌

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 소득수준의 증가와 더불어 승용차 이용이 증가하는데 반해, 도로의 공급은 한정되어 있어 교통정체가 점점 심해지고 있는 실정이다. 승용차는 그 특성상 대중교통과는 달리 출발지부터 도착지까지 정류장 대기시간 및 환승시간 없이 이용가능하고 높은 서비스의 질로 인하여 그 이용이 늘어나고 있는 실정이다. 이렇게 승용차가 계속해서 늘어날 경우, 도로의 정체는 더욱 심각해 질 것이며 이에 따라 도로의 지체로 발생하는 소음, 배기가스의 배출 등의 사회적 비용도 증가할 것이다. 이러한 문제점을 완화하기 위한 대표적인 방법으로는 대중교통을 활성화 시켜 승용차의 수요를 대중교통으로 이주시켜 승용차 이용자를 감소시키는 것이다. 대중교통은 차내 용량이 승용차보다 크기 때문에 적은 차량대수로 많은 사람들을 수송가능하다. 이러한 이유로 인하여 현재 대중교통 우선정책은 전 세계적으로 대도시를 중심으로 시행되고 있다.

대중교통 중에서 버스는 다른 대중교통과 달리 시설 및 운영비용이 저렴하기 때문에 세계적으로 가장 절리 이용되는 대중교통시설로서 우리나라 수도권 버스수송분담율은 30.3%

로 다른 대중교통 수단인 지하철(23.9%), 택시(6.8%)에 비해 높은 수준이다.

버스 우선 신호란 도로상에서 버스에 물리적, 운영적 통행우선권을 부여하는 방법으로 신호 교차로에서의 정지치체 감소 및 통행시간 단축을 통해 버스의 정시성 및 신속성, 서비스 개선을 통해 승객의 수송 효율과 도로 교통의 수송 용량을 높일 수 있는 대중교통 우선정책 기법이다.(4) 본 연구에서는 대중교통 우선정책 중 버스중앙차로에 승용차 중심의 신호제어인 정주기 신호운영방식과 버스 우선 신호의 효과를 비교 분석하여 어떠한 경우에 버스 우선 신호를 적용할 경우 적합한지에 대하여 제시하고자 한다.

2. 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 중앙버스전용차로구간에서 버스의 배차간격과 승용차 교통량의 변화를 기준으로 하는 시나리오를 구성하고 미시적 시뮬레이션을 이용하여 비교분석을 하였다. 각 시나리오별로 정주기식 신호운영방식과 4개의 버스 우선 신호 방법론에 의거하여 Passive priority, Active priority, Passive기반 Active priority를 적용했을 경우의 차량 당 평균 지체와 평균 사람 당 지체의 변화에 대해서 비교분석하였다.

II. 기존이론 고찰

국외의 경우 1962년 Washington D.C에서 버스 주행속도의 개선을 위해 처음 시행되었고 70년대에 본격적으로 구축되었다. 특히 80년대에 들어서 버스 우선 신호의 대중교통 서비스, 효율성, 이동성의 향상이 입증되어 최근 들어 <표 1>과 같이 전 세계적으로 대도시를 중심으로 확대 시행되고 있다.(3)

대부분의 도시에서 <표 1>과 같이 버스의 통행시간과 평균 지체가 감소하는 효과를 보였다. 또한 버스의 정시성 향상과 혼잡완화로 대중교통서비스의 질이 향상되었고 도로 전체의 지체 감소로 인해 배기가스의 감소 등의 사회적 비용이 감소하였다. 반면 일부 지역에서는 승용차 및 부도로의 지체가 증가되거나 현시생략 등으로 인한 운전자의 혼란을 주는 문제점을 나타냈다.(4)

<표 1> 해외 버스 우선 신호 적용사례

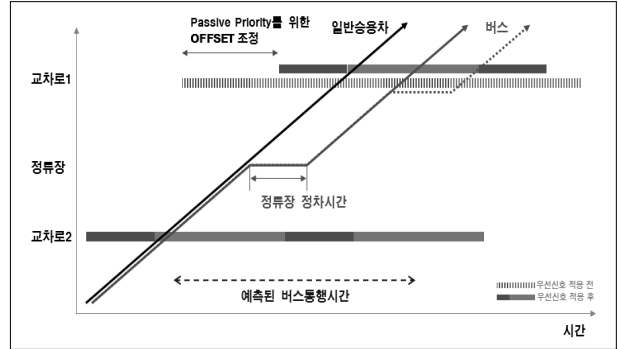
지역	전략	평가
Austin, Texas	Passive priority, 무제한 우선신호, 포화도비에 따른 분석	버스통행시간 10~11%감소
Ann Arbor, Michigan	Early green, Green extension, Skip phase	버스통행시간 6%감소 버스의 배차간격이 15분 미만일 경우효과
Washington, D.C	Early green, Green extension	버스통행시간 10%감소
College Station, Texas	MIN. Early green, Green extension and MAX Early green, Green extension	MAX Early green, Green extension 적용시 효과
Seattle, Washington	Early green, Green extension	버스정지지체 57%감소 버스통행시간 35%감소
Chicago	Early green, Green extension	버스통행시간 7~20% 감소 부도로 지체 8.2초/대 증가
Minneapolis, Louisiana	Early green, Green extension, Skip phase	버스통행시간 0~38%감소 승용차 지체 23%증가

III. 버스 우선 신호 방법론

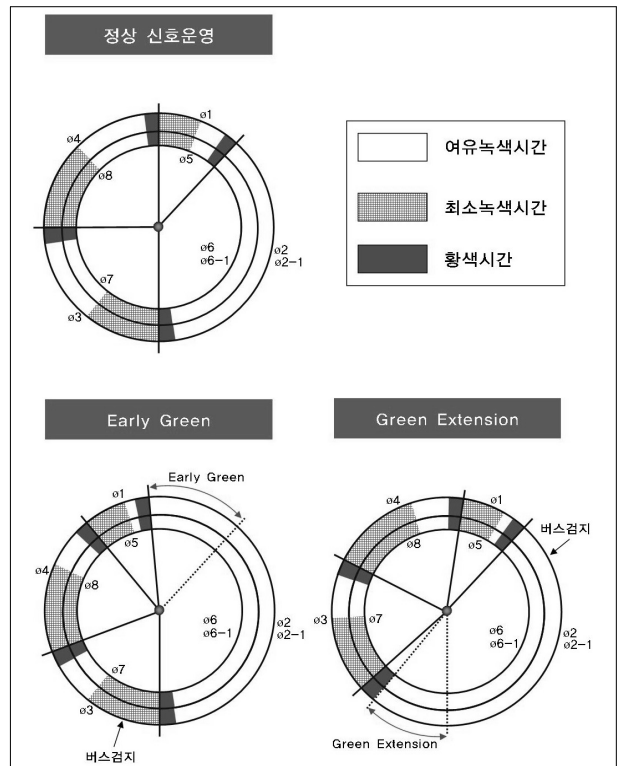
본 연구에서는 버스 우선 신호의 효과를 분석하기 위해서 버스 우선 신호에 대해서 신호시간의 산정 방식에 따라 다음과 같은 방법론을 제시하였다.

Passive priority 방식은 <그림 1>와 같이 버스연동 중심 제어를 기반으로 교차로의 신호체계와 교통여건에 따라 다양한 전략을 수립하여 버스가 녹색시간에 도착할 확률을 높이는 방법이다. 버스연동 중심 제어는 구간 통행속도를 승용차가

아닌 버스 통행속도를 기준으로 하여 신호시간의 변수를 결정하고 수집된 버스교통정보를 근거로 버스통행시간을 예측하여 신호교차로별 버스도착예정 시간을 미리 산정하고 이에 맞게 연동을 조정하는 것이다.(7)



<그림 1> Passive priority의 개념도



<그림 2> Active priority기법의 원리

Active priority는 버스의 검지유무에 따라 적절한 우선신호가 제공되는 것으로 검지기를 통해 실시간으로 우선 신호를 요청, 응답, 제공해 주는 효율적인 교통운영 전략이다.(2) 본 연구에서는 Phase insert, Phase rotation 등 다양한 Active priority 기법 중에서 <그림 2>과 같이 연동성이 유지되면서 우선신호를 제공하는 Early green과 Green extension기법을 선정하였다. Early green은 버스가 검지기로부터 검지가 되었을 때 버스의 현시가 정상운영 상태보다 일찍 시작하는 방법이고, Green extension은 버스가 버스현시의 종료시점에 검지될 경우 녹색시간을 연장하는 방식으로 가장 일반적으로 쓰이는 기법이다.

Passive기반 Active priority방식은 Passive priority를 적용한 후 추가적으로 Active priority를 적용한 방식으로 Passive priority의 적용 시 녹색시간에 도착하지 못한 버스에 대하여 현시의 연장을 통해 버스가 신호에 의해 지체가 최대한 발생하지 않도록 설계한 방식이다.

IV. 분석 방법론

본 연구의 대상은 인천시의 청라지구와 서울시의 강서구간을 연결하게 될 BRT노선의 일부 구간을 선정하였다. 대상 구간은 <그림 3>과 같이 인천의 이마트삼거리 교차로부터 시작하는 일련의 총 4개의 교차로로 이루어져 있다. 버스 정류장으로 인한 단일로인 동보아파트앞과 서운사거리 사이에 양쪽 방향에 대하여 버스정류장이 한 개씩 존재하고 정차시간은 10초로 균일하게 적용하였다.



<그림 3> 연구대상구간

본 연구에서 효과적도는 차량 당 평균지체와 도로망 전체의 효과를 평가하기 위해 평균 사람 당 지체를 선정하여 분석하였다. 승용차의 교통량 변화와 버스의 배차간격에 따라 차량 당 평균지체와 평균 사람 당 지체가 어떻게 변화하는지 알아보기 위해 <표 2>와 같이 시나리오를 구성하고 각 시나리오별로 정주기 신호운영방식과 총 4개의 버스 우선 신호 방법론에 대한 버스와 승용차의 효과분석을 하였다. 분석과정은 도로망 전체의 신호최적화를 통해 승용차 및 버스중심의 최적 신호시간을 산출하고 미시적 시뮬레이터인 VISSIM을 이용하여 승용차 및 버스의 효과분석을 실시하였다. VISSIM은 대표적인 마이크로 시뮬레이터 중 하나로서 중앙버스전용차로의 표현이 가능하고 버스의 해당연구에 대한 분석이 가능하기 때문에 본 연구에서 사용하였다. 정주기 신호운영방식은 신호 최적화를 통해 승용차 중심의 신호시간을 산출하여 VISSIM에 적용시켜 결과값을 도출하였다. Passive priority는 VISSIM에서 주방향 녹색시간이 100% 일 경우에 버스의 가감속시간과 주행시간을 합한 시간을 추출하여 버스의 링크별 통행시간을 추출하였다. 버스 통행시간을 이용한 신호최적화를 통해 버스의 정차시간을 고려한 버스 중심의 신호시간을 산출하여 VISSIM에 적용한 후 결과값을 도출하였다. Active priority는 VISSIM과 더불어 VISSIM의 외부컨트롤러 기능을

수행하는 API인 VISVAP을 이용하여 Active priority만 적용했을 경우와 Passive기반 Active priority로 나누어 시나리오별 신호제어방식에 따른 결과 값을 비교분석 하였다.

<표 2> 시나리오의 구성

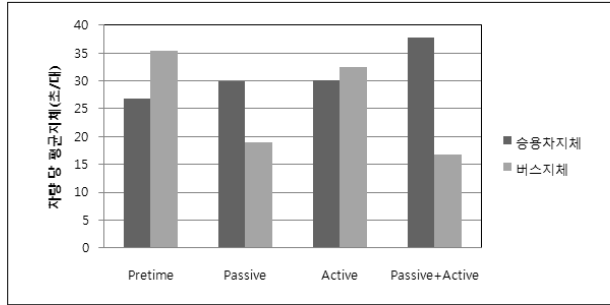
시나리오 구성	버스배차간격	교통량 변화
시나리오1	5분	30% 증가
시나리오2	3분	
시나리오3	5분	15% 증가
시나리오4	3분	
시나리오5	5분	현황 교통량
시나리오6	3분	
시나리오7	5분	15% 감소
시나리오8	3분	
시나리오9	5분	30% 감소
시나리오10	3분	

V. 시나리오의 결과 분석

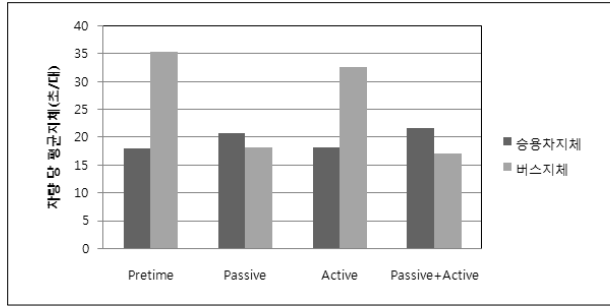
분석결과는 연구 대상 구간에 시나리오별로 정주기 신호운영방식과 총 4개의 버스 우선 신호 방법론인 Passive priority, Active priority, Passive기반 Active priority를 적용했을 경우 승용차와 버스의 차량 당 평균지체, 평균 사람 당 지체에 대해 분석 하였다. 평균 사람 당 지체분석에서 승용차 재차인원은 '도로철도 부분사업의 예비타당성조사 표준지침수정·보완연구'의 수도권 평균 승용차 재차인원 1.27명으로 가정하였고, 버스의 경우 12.95명 이지만 본 연구에서 BRT노선은 청라지구와 수도권을 연결하는 유일한 대중교통이라는 점, 분석 시간대가 첨두시라는 점, 대상 버스가 굴절버스임을 감안하여 재차인원을 35명으로 가정하였다.

1. 차량 당 평균지체분석

각 시나리오별 차량 당 평균지체의 분석결과 <그림 6>과 같이 승용차의 교통량이 늘어남에 따라 승용차의 평균지체는 점점 증가하였고 버스의 지체는 거의 변화가 없었다. 또한 버스 우선 신호를 적용했을 경우 승용차의 차량 당 평균지체는 다소 증가한 반면 버스의 차량 당 평균지체는 크게 감소한 것으로 나타났다. 특히 승용차의 교통량이 상대적으로 적고 Passive기반 Active priority를 적용했을 경우 버스의 차량 당 평균지체가 가장 많이 감소하였다. 정주기식 신호제어방식과 Passive기반 Active priority를 적용했을 경우 <그림 4>, <그림 5>와 같이 시나리오1과 시나리오9에서 승용차의 교통량이 늘어남과 상관없이 버스의 지체는 유사한 반면 승용차의 지체가 각각 40.7%와 21.6% 증가하여 승용차의 교통량이 적을 때 버스 우선 신호가 유리한 것으로 나타났다.



<그림 4> 시나리오 1의 승용차 및 버스의 차량 당 평균지체



<그림 5> 시나리오 9의 승용차 및 버스의 차량 당 평균지체

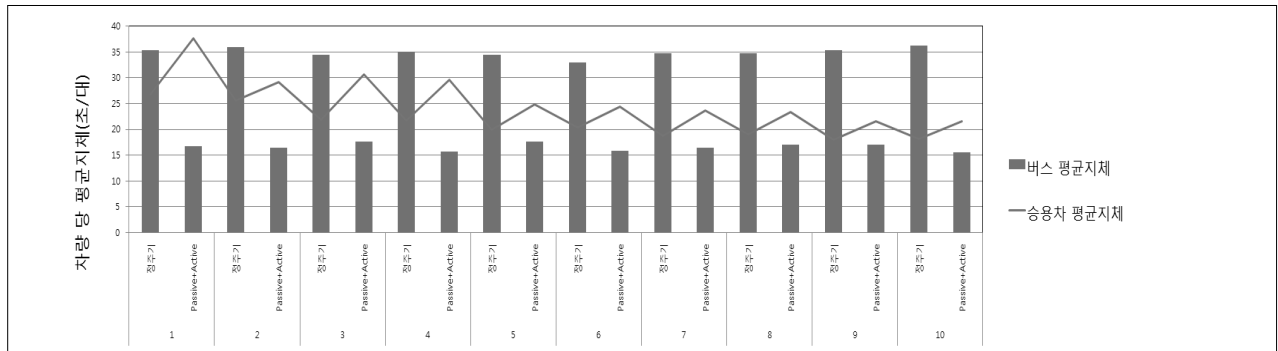
2. 평균 사람 당 지체분석

본 연구에서는 버스와 승용차의 재차인원을 통해 평균 사람 당 지체의 분석을 수행하였다. 차량 당 평균지체는 버스 우선 신호를 적용할 경우 버스의 지체가 크게 감소한다는 것은 알 수 있지만 승용차의 지체는 다소 늘어나고 승용차 교통량은

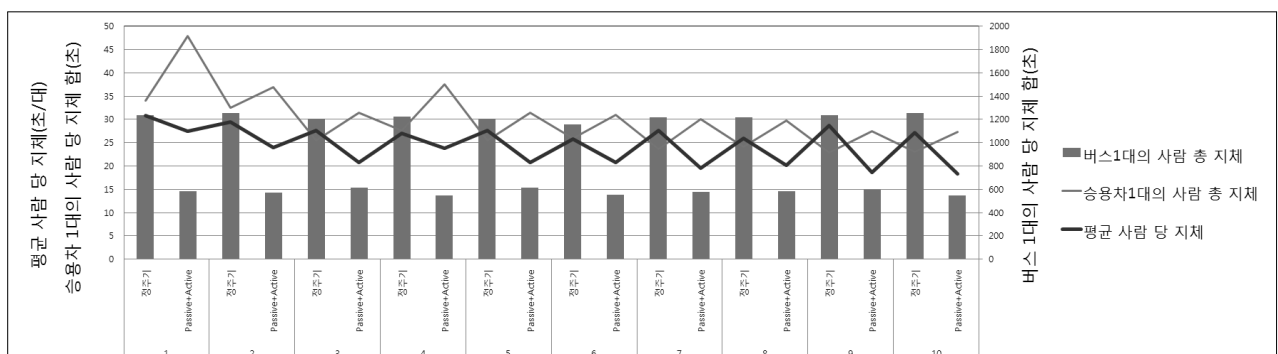
버스 교통량에 비해 많기 때문에 도로망 전체의 지체가 줄었는지 판단하기 어려운 단점이 있다. 그러나 평균 사람 당 지체는 차내의 재차인원을 고려하여 지체를 산정하기 때문에 개선 효과의 판단이 가능하다. 본 연구에서는 차량 1대의 사람 당 지체의 합과 도로망 전체의 평균 사람 당 지체를 계산하여 비교분석하였다.

정주기 신호운영방식 및 버스 우선 신호에 대한 시뮬레이션의 결과 버스 우선 신호를 적용하였을 경우 정주기 신호운영방식과 대비하여 평균 사람 당 지체가 개선되는 것으로 분석되었다. 특히 <그림 8>과 같이 버스의 배차간격이 짧고 승용차 교통량이 적을수록 Passive기반 Active priority를 적용했을 경우 도로망 전체의 평균 사람 당 지체가 감소한 것으로 나타났다. <그림 9>와 같이 시나리오 1에서는 정주기식 신호 운영방식과 비교하여 Passive기반 Active priority의 적용시 평균 사람 당 지체가 10.7% 감소한 반면 시나리오 9에서는 34.8%가 감소한 것으로 나타나 승용차 교통량이 적을 경우 버스 우선 신호의 효과가 높은 것으로 나타났다. 또한 <그림 9>과 같이 버스의 평균 배차간격이 짧은 경우 배차간격이 긴 경우보다 평균 사람 당 지체가 최대 3.0% 감소한 효과를 보였다. 또한 Passive priority가 전반적으로 Active priority에 비해 유리하였지만 버스의 배차간격이 짧은 경우에는 <그림 8>과 같이 시나리오 1과 시나리오 2에서 최대 9.3%의 차이나 배차간격이 짧은 경우에는 Passive priority가 유리한 것으로 나타났다.

본 연구에서는 미시적 시뮬레이션분석을 기반으로 버스 우선 신호의 적용 여부에 따라 정주기식 신호운영방식과 비교하여 다음과 같은 특성을 도출하였다.



<그림 6> 시나리오별 차량 당 평균지체

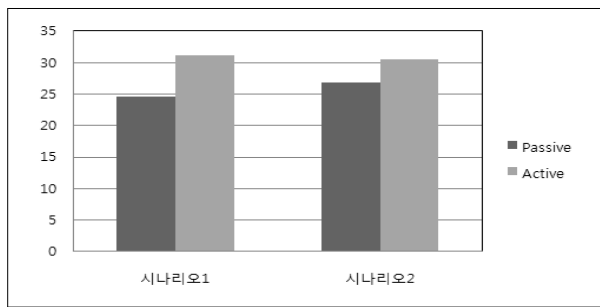


<그림 7> 시나리오별 차량 1대의 사람 당 지체 합 및 평균 사람 당 지체

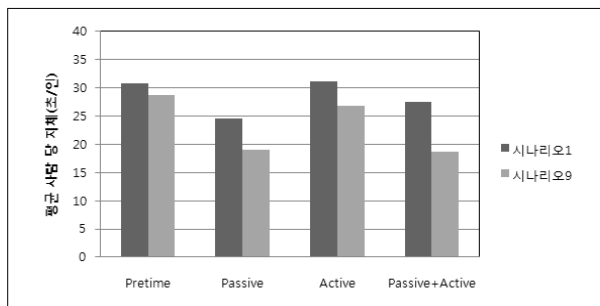
첫째, 버스 우선 신호 중에서 Passive priority기반 Active priority에서 가장 우수한 효과를 보였다. 이는 Passive priority를 적용하여 버스가 녹색시간에 교차로에 도착할 확률을 높여 최대한 신호에 의한 지체 없이 통화가 가능하도록 설계한 후 Active priority를 적용하여 신호에 의한 버스의 지체를 최소화했기 때문으로 분석된다.

둘째, 승용차의 교통량이 많을수록 버스 우선 신호의 효과가 떨어졌다. 승용차 교통량이 늘어났을 때 버스 우선 신호를 적용할 경우 버스의 평균지체는 개선되지만 승용차는 버스 우선 신호로 인해 평균지체가 증가하여 도로망 전체의 사람당 지체의 개선 정도가 떨어지는 것으로 나타났다.

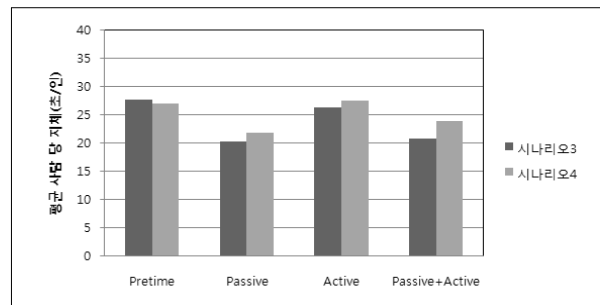
셋째, 버스의 배차 간격이 짧을수록 즉 버스의 교통량이 많을수록 Passive priority가 우수한 것으로 나타났다. Passive priority는 Active priority와 비교하여 모든 시나리오에서 우수한 효과를 보였다. 특히 시나리오 1에서 버스의 배차 간격이 짧은 경우 평균 사람당 지체가 최대 9.3% 차이가 나타나는 것으로 분석되었다. 또한 정주기 신호운영방식과 비교했을 경우에도 버스의 배차 간격이 짧은 경우 평균 사람당 지체가 최대 10.5% 차이가 나타나는 것으로 분석되었다.



<그림 8> 시나리오 1, 시나리오 2의 passive 및 active priority 적용시 평균 사람당 지체



<그림 9> 시나리오 1, 시나리오 9의 평균 사람당 지체



<그림 10> 시나리오 3, 시나리오 4의 평균 사람당 지체

VI. 결론

본 연구에서는 BRT노선에 버스 우선 신호를 적용하였을 경우의 효과에 대해서 승용차 중심의 정주기 신호운영방식과 비교분석 하였다. 승용차 중심의 신호시간을 산출하여 VISSIM에 적용하여 정주기 신호운영방식의 결과 값을 산출하였다. Passive priority는 VISSIM의 결과 값에서 버스 정보를 추출하여 버스 중심의 신호시간 변수를 적용하여 결과 값을 도출하였고 Active priority는 VISSIM의 VISVAP을 이용하여 Active priority와 Passive기반 Active priority로 나누어 분석하였다. 그 결과 정주기 신호운영방식과 비교시 승용차의 교통량이 적고 버스의 배차간격이 짧을 경우 Passive기반 Active priority제어시 버스의 평균지체 및 도로망의 평균 사람당 지체가 가장 크게 감소하는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 효과평가 시 BRT노선 축에서 4개의 교차로에 국한되어 버스 우선 신호를 적용하였다. 향후 연구과제에서는 BRT 노선 전체에 대해서 Passive priority 및 Active priority의 효과평가에 대해서 진행할 필요가 있다. 구간에 대해서 버스 우선 신호를 적용한다면 버스의 지체와 통행속도가 노선 전체에 걸쳐 개선될 것으로 판단된다.

본 연구에서는 Active priority에 대해 너무 국한되어 적용한 경향이 있었다. Passive priority와는 달리 4개 중 2개의 교차로만 적용하였고 Active priority의 기법 중 Green extension과 Early green만 적용함에 따라 Active priority를 적용했을 경우 다른 버스 우선 신호기법에 비해서 효과가 떨어지는 경향이 있었다. 향후 연구에서는 Active priority에 대해 광범위하게 접근하여 버스 우선 신호의 효과분석이 요구된다.

참고문헌

- [1]. 대한교통학회, 도로용량편람, 2001.
- [2]. 이주건, 버스 우선 신호 기법 및 전략에 관한 연구, 서울시립대학교 석사학위논문, pp. 13-16, 2006.
- [3]. 한여희, 김영찬, 버스 연동중심제어를 이용한 버스우선신호 최적화 방법론, 대한교통학회 대한교통학회 추계학술발표회, Vol. 61, pp. 761-765, 2009.
- [4]. 이용택 외 2명, 버스우선신호시스템 해외 운영사례 및 국내 도입 방안, 도로교통, Vol. 100, pp. 23-38, 2005.
- [6]. PTV AG, VISSIM 4.0 user manual, Planung Transport Verkehr AG, Karlsruhe, Germany, 2004
- [7]. 수도권교통본부, 청라~강서간 BRT 시범사업 기본 및 실시설계, 2010.
- [8]. 정영제, 김영찬, 중앙버스전용차로에서 능동형 버스우선신호를 위한 최적 검지기 위치 결정에 관한 연구, 한국ITS학회 추계학술대회, pp. 277-282, 2009
- [9]. 한국개발연구원, 도로철도 부분사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구 [제5권], pp. 147, 2008
- [10]. Hongfeng Xu, Ph.D; and Mingming Zheng, MS, Impact of Phase Scheme on Development and Performance of a Logic Rule-Based Bus Rapid Transit Signal Priority, Journal of transportation engineering, p. 953-965, 2009.