

버스 통행우선신호 도입에 관한 연구

김 성 득*

*울산대학교 건설환경공학부 교수

A Study on Evolution of Bus Priority System

Sung-Deuk Kim*

*School of Civil and Environmental Engineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

요 약 : 버스 통행우선신호(TSP)와 관련된 외국의 사례를 살펴본 결과 버스운행시간이 6~32% 감소하였다. TSP 기법을 울산도심의 주간선 도로인 문수로 4.07km 구간에 오전 첨두시 1시간의 동진하는 버스에 대해서 Early Green과 Extended Green기법을 적용하였다. 앞의 기법에서 평균 통행시간이 18.1~25.8% 단축되었고 통행속도는 30.9~40.1% 빨라졌다. 뒤 기법에서는 통행시간이 12.1~30.3% 단축되었고, 통행속도는 30.1% 빨라졌다. 따라서 우리나라에서도 버스 TSP를 도입할 수 있을 것이다.

핵심용어 : 버스, 통행우선 신호, 울산, 초기녹색, 녹색연장, 통행시간

Abstract : In the analysis of the foreign cases on the use of Transit Signal Priority(TSP), the reduction in bus travel time ranged from 6 to 32 %. This study demonstrates how TSP can be applied to Ulsan Metropolitan City. TSP techniques were used on the bus routes that run eastward for 4.07 kilometers along Munsoo-Ro, a major artery in the most congested part of the city. The simulation was performed on one hour of peak traffic time, using the two TSP strategies of Early Green and Extended Green. The use of the Early Green strategy resulted in an average decrease in travel time ranging from 18.1 to 25.8 % and an increase in average travel speed ranging from 30.9 to 40.1 %. The Extended Green strategy resulted in an average decrease in travel time ranging from 12.1 to 30.3 % and an increase in an average travel speed of approximately 30.1 %. This study demonstrates that TSP is effective in decreasing travel time and increasing travel speed of the bus system in Korea.

Key words : Bus, TSP, Ulsan, Early Green, Extended Green, Travel Time

1. 서 론

도시버스와 관련된 정책으로 버스통행로 개선, 버스차량 개선, 버스노선과 정류장 개편, 배차간격 조정, 요금정책 등 여러 가지가 있으며 궁극적으로 버스서비스의 신뢰성, 편리성, 쾌적성과 경제성을 확보하는데 있다.

버스통행로 개선정책에는 크게 버스차로 정책과 신호정책이 있다. 버스차로 정책에는 버스전용차로, 버스우선차로와 역류버스 차로제 도입을 들 수 있고, 신호정책에는 버스 우선신호 시스템과 버스체계 연동화가 있다.

버스 등 다 승객차량이나 소방차나 구급차와 같은 긴급차량은 도로에서 통행우선권을 부여받을 필요가 있거나 있을 수 있다. 버스는 승용차에 비해 10~30배 이상의 승객을 수송할 수 있으므로 버스전용차로나 버스우선차로, 버스우선신호와 같은 우선권을 줄 수 있다.

버스통행로 개선정책으로 버스우선신호 시스템과 같은 교통신호정책이 있다. 도(2004)는 버스통행시간의 20%이상이 신호교차로 지체에 의한 것이며, 이는 총지체의 50%나 된다고 하였다. 버스우선 현시방법이나 버스우대 신호시간계획법

에 의해 버스지체를 감소시키면 버스승객 뿐만 아니라 승용차를 이용하는 사람의 지체도 줄어든다.

기존의 교통시설물에 첨단 전자통신과 제어시설을 접목시켜 교통 혼잡을 줄이고 도로운영의 효율을 극대화시키기 위한 첨단 체계가 지능형 교통시스템(ITS)이다.

버스 등 다승객 차량이나 소방차나 구급차와 같은 긴급차량은 신호교차로에서 통행우선신호(TSP ; Transit Signal Priority)를 받아 빠르고 안전하며 효율적인 운행을 할 필요도 있다. 대중교통수단인 버스에 대한 TSP전략이 버스우선처리 기법(Bus Priority System)이다.

TSP기법은 1968년 이후 유럽과 미주에서 성공적으로 적용되었다. 유럽에서는 다른 승용차에 비해 대중교통과 승객들을 보다 대우하기 위해 TSP를 더욱 적극적으로 이용하였고, 미국과 캐나다에서도 최근 TSP를 도입하였다.

본 연구에서는 버스에 대한 TSP 기법을 살펴보고, 또 외국에서 연구되고 도입된 TSP 연구를 조사 분석해 본다. 그리고 우리나라에 적용 가능성을 울산광역시 도심의 주간선도로인 문수로에 적용하고 그 효과를 분석하여 우리나라 버스정책에 도입할 여부를 고찰해 보고자 한다.

* 대표저자 : 김성득(정회원), kimjisan@hanmail.net 052)259-2257

2. TSP기법과 외국사례

2.1 버스 통행우선신호(TSP)

버스 통행우선신호 시스템은 ITS의 한 부분으로 이용된다. 특별교통제어의 하나인 통행우선신호 (TSP : Transit Signal Priority/Preemption)는 신호교차로를 지나는 차량을 빠르고, 안전하며, 효율적으로 움직이게 하는 교통신호 개선방법의 하나이다. 버스우선 현시방법으로 녹색신호 끝에 버스가 도착이 감지되면 녹색신호를 몇 초 연장하여 버스가 정지하지 않게 하는 시간 연장법 등이 있다.

TSP에서 Priority와 Preemption은 같은 방사기(Emitter)와 검지기(Detector)를 사용하여 관찰자에게 동일하게 보일 수도 있고 종종 같은 뜻으로 사용되지만 엄밀히 차이가 있다. Priority는 버스 등 다 승객차량에게 신호체계를 유리하게 하여 통행시간을 줄여 교통소통에 기여하는 것이고, Preemption은 소방차, 구급차나 공무수행중인 경찰차와 같은 차량을 특별하게 긴급하게 운행하게 하는 것이다. 일반적으로 TSP는 Fig. 1에서 보는 것과 같이 방사기 하나하나의 자료를 검지기가 국지적으로 감지하여 신호제어기의 작동으로 신호기에 나타내어 차량의 흐름을 변경하는 방법이다.

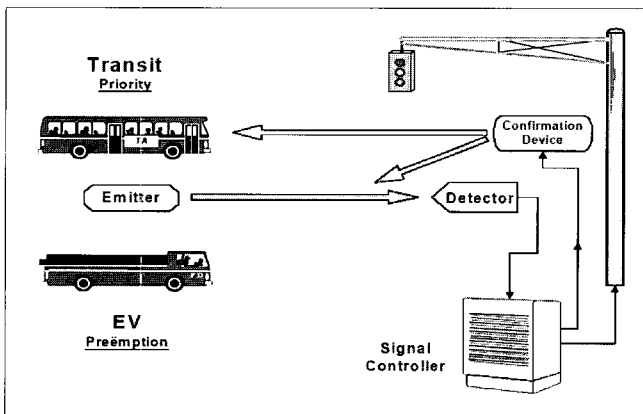


Fig. 1 Priority and Preemption example at local intersection

TSP는 1970년대부터 이용되었지만 최근 교통난으로 그 이용도가 증가하고 있으며 ITS기술의 급속한 발전으로 그 활용도가 크게 증가하고 있다. TSP는 차두시간이 짧고 승객수가 많은 대중교통 서비스 지역이나 교통혼잡 지역에서 우선적으로 적용된다. TSP 방법으로 차량의 통행시간을 감소시키지만 우선신호를 받지 않는 차량에는 지체를 줄 수도 있다.

TSP 방법에 의한 교통서비스 개선으로 많은 승용차 사용자들이 다른 이동수단으로 바꾸려고 할 수도 있고, 따라서 대중교통수단인 버스를 이용하려는 승객은 늘고 교통 흐름은 개선될 것이다. TSP 방법을 적절히 이해하고 적용함으로써 비교적 적은 비용으로 기존의 교통시스템에 활용할 수 있을 것이다.

TSP 기법은 일반적으로 수동적인 우선(Passive Priority)과 능동적인 우선(Active Priority)이 있다. 전자는 통행차량에 대

한 감지 없이 신호시간을 조정하여 차량에게 우선을 주는 것이고, 후자는 통행차량이 감지되고 우선 상태가 인지된 후 차량에게 우선을 주는 것이다. 각기 기법은 도로에서 교통망, 교통기관의 목표, 비용 문제와 교통신호 제어기의 수행과 관련된 요소들과 관련해서 채택될 수 있다.

수동적 우선의 기법으로 초기녹색(Early Green; 초기출발 Early Start 또는 적색절단 Red Truncation), 녹색연장(Extended Green; 현시연장 Phase Extension), 현시삽입(Phase Insert, Inserting), 현시삭제(Phase Suppression, Skipping) 등이 있다.

Early Green 기법('EaG'로 약칭 병행)은 TSP가 장착된 버스가 감지되면 적색신호를 절단하고 녹색신호로 신속히 전환하여 차량을 교차로에서 정상적인 방법보다 우선 통과시키는 방법이다. 이 기법은 신호등의 최소녹색시간과 보행자의 움직임, 정차금지 간격에 혼란을 주지 않고 단지 녹색시간만을 앞당기는 것이다.

Extended Green 기법('ExG'로 약칭 병행)은 교차로로 접근하는 버스가 감지되면 녹색신호를 연장하여 버스가 정지하지 않고 통과하게 하는 방법이다. 이 두 기법은 교차로에서 주어진 주기 내에서 차량의 도착시각과 관련해 통행태나 신호교차로 특성에 따라 통행을 우선하는 방법으로 Fig. 2는 두 방법에 대한 개념도이다.

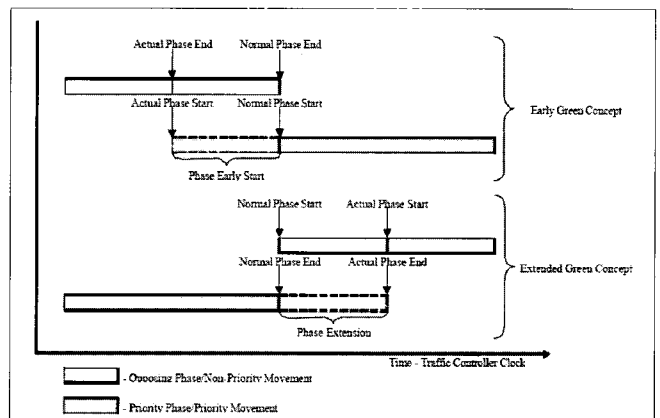


Fig. 2 Concept of Early Green and Extended Green strategies

EaG와 ExG기법을 혼합하되 녹색시간의 길이를 제한하는 혼합형 기법도 있다. 그 밖의 특별한 기법으로 어떤 정상적인 신호 동작이나 긴 주기 길이에서 중간에 적절한 현시가 끼어드는 현시삽입법과 경우에 따라서 현시를 생략하는 현시삭제법도 있다.

2.2 TSP 외국사례 고찰

미국에서 TSP시스템이 성공적으로 적용된 사례와 그 밖의 지역에서 적용된 사례의 효과를 개략적으로 살펴보고자 한다. 미국 Arizona주 Phoenix시(1998)는 TSP 시범프로젝트를 남부 간선도로의 6개 교차로가 있는 9.6km에 대해 실시하였다. 방사기의 작동범위는 244~366m 였는데, 적색시간에서 버스가 기다린 시간은 16% 감소되었다.

Washington주 King County 시범프로젝트는 워싱턴주 교통국, 킹 카운티-시애틀 교통국(2000) 등과 여러 유관기관이 공동으로 참여하였다. 26개 신호교차로가 있는 두 간선도로에서 TSP 조사가 이루어졌다. 조사결과 교차로에서의 버스지체는 오전 첨두시는 34% 감소했고 정오에는 24% 감소했고, 도로의 버스운행 절약시간은 8%로 조사되었다.

Minnesota주 St. Cloud 광역교통위원회(2000)는 25km 길이에 11개의 신호교차로를 지나는 버스노선에 대해 TSP 평가프로젝트를 실시하였다. 교차로에서 92m 거리에서 15m 범위 전후로 감지지역을 두었다. 평가는 하루 중 오전 첨두시, 평상시, 오후 첨두시에 3차례 실시되었는데 신호교차로에서의 평균 버스지체를 43% 줄이는 결과를 나타내었다.

미국 중북부 North Dakota주 Fargo와 인근 Minnesota주의 Moorhead를 관할하는 파고-무어헤드 메트로 지역 교통국(MAT)(2001)에서도 TSP기법을 적용하였다. 사례연구 지역 네트워크는 8개의 신호교차로와 1개의 비 신호교차로가 있고, 이곳에 7개의 파고 노선과 4개의 무어헤드 노선의 버스를 운영하고 있다. 한낮시간과 오후 첨두시에 시물레이션을 했다. 조사결과 ExG기법으로는 오후 첨두 시간에는 운행시간이 미소하게 감소된 것 외의 모든 경우에 대해서 10% 이상의 감소율을 보였고, 한낮에는 오후 첨두시보다 큰 12% 이상의 감소율을 보였다.

Table 1 Summary of TSP application strategies

도시명	적용/자료년도	도로와 교차로	적용효과
Chicago (Ill./미)	1993	4km 15개 교차로	버스속도 24%증가 주행시간 30% 감소
Phoenix (Ariz./미)	1998	9.6km 6개 교차로	버스대기시간 16%감소 통행편익 \$5,932/년
King County (Wash./미)	2000	3.4km 26개 교차로	버스지체 첨두시 34%, 정오 24% 감소
St. Cloud (Minn./미)	2000	25km 11개 교차로	버스지체 43% 감소
Fargo (N.Dak./미)	1999	동서3남북4로 8개 교차로	운행시간 감소율 오후피크10%,한낮12%
Stockholm (/스웨덴)	2000	남북-동서로 6개 교차로	운행시간1.4~7.5% 감소 기법병행시 3.7~17%감소
Portland (Oreg./미)	1996	4개 교차로	운행시간 1.4~6.4%감소 버스신호지체감소 20%
Seattle (Wash./미)	2000	3개 교차로	운행시간 8% 감소, 교차로버스지체 34%감소
Minneapolis (Minn./미)	1996	3개 교차로	운행시간 0~38% 감소
Sapporo (/일본)	1996	-	운행시간 6.1% 감소 신호대 정지시간 7%감소
Toronto (Ont./캐)	2000	36개 교차로	신호지체감소 15~49% (전차) 서비스 1대 줄임
San Francisco (CA/미)	1998	15개 교차로	(LRT & Trolleys) 교통신호지체 6~25% 감소

북유럽 스웨덴의 수도인 Stockholm 시내 남측 Hornstull 일대의 6개의 신호교차로와 1개의 보행자/자전거용 신호기가 있는 교통망의 한 급행노선에 대해 사례조사(1997)를 하였다. 신

호우선기법 도입으로 버스 평균운행시간은 남측 방향이 단순한 ExG일 경우는 1.7%, EaG일 경우 1.4% 줄었으나 현시삽입(Inserting, 약어'InS')을 했을 때는 7.5% 감소하였고, 병행하면 6.3% 감소하였다. ExG와 EaG 병행시 3.7%, ExG와 InS 병행시 6.3%, EaG와 InS 병행시는 17.0%나 감소하였다. 북측 방향은 각기 그 감소율이 1~3%에 머물렀고 InS일 경우는 오히려 1.7% 운행시간이 커졌다.

이상에서 기술한 4개 도시와 그 밖의 도시인 미국의 Illinois주 Chicago, Oregon주 Portland, Washington주 Seattle, Minnesota주 Minneapolis와 일본의 Sapporo에 버스 우선통행 신호를 도입한 효과와 캐나다 Toronto의 전차 우선신호 및 미국 샌프란시스코의 LRT와 트롤리(Trolleys) 우선신호 도입효과를 Table 1과 같이 적용도시, 적용/자료 년도, 도로와 교차로 수, 적용효과에 대해 요약해 보았다.

3. 울산 문수로의 TSP 적용

3.1 문수로 교통특성과 TSP 적용

1997년 7월 15일 광역시로 출범한 울산시의 광역도로망으로는 2개 노선의 고속도로가 있고 추가로 1개 노선이 공사 중에 있으며, 지역간을 연결하는 5개 노선의 국도와 다수의 지방도가 있다. 도시내 주간선도로는 Fig. 3에서 보는 것과 같이 무거삼거리에서 공업탑R간 4.98km 거리의 차로폭 50m인 문수로를 포함한 30개 노선이 있고, 폭 20m 이상의 보조간선도로 93개 등이 있다.

남부순환도로 시작점인 신북R 고가도로 끝 지점의 옥현 주공아파트 버스정류장에서 옥현 사거리간과 문수로의 옥현 사거리에서 공업탑R 인근의 울산 신정고 버스정류장까지 도로폭 35~50m인 왕복 6~8차로 4.07km 구간에 대하여 TSP 기법을 적용하고자 한다.

울산광역시(2003) 도로정비기본계획에서의 울산시 2000년 교통현황 조사에 의하면 문수로의 양방향 첨두시 교통량은 오전 4,104대, 오후 4,090대였다. 주요 교차로 교통량과 서비스수준으로 문수로의 군청 사거리에서는 오전 08~09시 첨두시 교통량이 5,004대였고, 오후 18~19시 첨두시 교통량이 5,489대이었다. 문수로의 첨두시 평균통행속도는 28.45~28.55km/h로 서비스수준은 D급이었다.

문수로를 주로 한 본 구간은 울산을 남북으로 나누며 흐르는 태화강 북측과 남측의 강변도로, 북부 및 남부순환도로와 함께 울산 도심의 5대 동서축의 하나로 울산 남구 도심을 연결하여 그 중 교통량이 가장 많은 도로이기도 하다.

본 구간은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 보조간선 및 집산기능이 일부 혼재하지만 1개 노선의 마을버스를 제외하고는 주간선도로 또는 보조간선도로와 전혀 연결되지 않고 통과교통 처리기능이 매우 큰 주간선도로이다.

또 본 구간에서 법원·검찰청, 울주군청, 현대I파크단지 교차로에 일부 시간에 부도로 진출입을 위한 주간선도로 기능을 저하시킬 요인이 있으나 모두 이면도로가 양호하지는 못하지

만 충분히 분산기능을 할 수 있고, 옥현 사거리는 지하차도로 입체화하였다. 주공아파트 입구, 공원묘원 입구, 군부대 서측, 새마을금고, 학성고 앞 5개 신호등이 있는 교차로는 신호주기의 17~32%의 제한된 시간에 주도로인 문수로의 진출입을 허용하고 있어 현시상제를 도입해 볼 필요도 있어 소문자로 구분해 표시하였다. 따라서 본 구간은 가장 단순하게 TSP기법을 실험적으로 도입하기 위한 적절한 곳이라 할 수 있다.

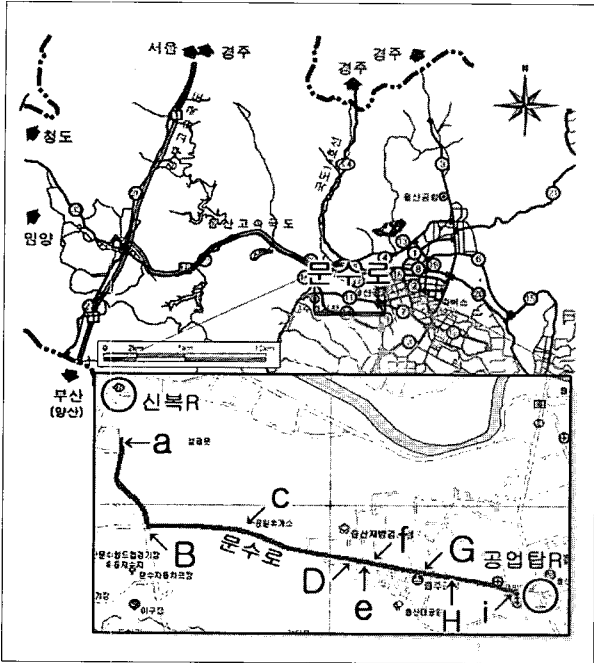


Fig. 3 Major arterials of Ulsan city and Munsoo-ro

Table 2에서 7개 버스정류소와 9개 신호교차로 신호등 직전정지선까지의 구간거리와 버스정류장 폭 및 정지선과 신호등과의 거리를 볼 수 있다.

Table 2 Location of bus-stop and signal along Munsoo-ro

버스 정류소	신호등 직전 정지선	위치 명	(정류장폭 / 정지선 ~ 신호기거리) [m]	누 계 거 리 [m]
①		옥현 주공APT	(32/-)	0
	a	주공APT 입구	(-/42)	130
②		성광여고 앞	(31/-)	490
	B	옥현 사거리	(-/44)	760
	C	공원묘지 입구	(-/26)	1,790
③		공원묘지 입구	(34/-)	1,930
	D	법원 앞	(-/45)	2,730
④		법원 앞	(74/-)	2,850
	e	군부대 서측	(-/29)	2,970
	f	새마을금고	(-/31)	3,100
	G	울주군청	(-/53)	3,310
⑤		울주군청 앞	(26/-)	3,410
	H	옥동초등	(-/49)	3,590
⑥		서여중	(24/-)	3,790
	i	학성고 앞	(-/53)	3,840
⑦		신정고 앞	(34/-)	4,070

3.2 문수로 버스교통 기본사례

TSP 도입 이전에 우선 현재 상태의 문수로를 지나는 버스의 운행상황과 신호교차로 신호주기와 신호간격을 조사한다. 그리고 버스가 운행함에 따른 조사 기점을 기준으로 시간대별 떨어진 거리를 알고 이를 도입될 TSP 시뮬레이션 모델과 비교할 기본사례(Base Case)를 삼을 필요가 있다.

조사구간은 울산도심의 중요한 동서축 주간선도로로서 이 구간에는 시외버스를 제외한 모든 버스가 새로 유입하거나 유출하는 일이 없이 전 구간에 걸쳐 운행되고 있어 기본사례로 삼기에 적절한 구간이다. 시외버스는 울산시 운영관리 영역 밖의 수단이고 또 우선신호를 도입하기 위한 방사기의 설치주체도 달라 본 연구에서는 제외하기로 하고, 1개 노선의 마을버스도 제외한다.

버스 운행상황과 신호교차로 신호간격은 다른 TSP 적용사례와도 비교할 수 있게 하루 중 오전 첨두시와 한낮시간 각각 1시간에 대해 왕복 버스운행에 대해 조사함이 가장 기초적인 기본사례로 볼 수 있을 것이다.

그러나 오전 첨두시 시간에는 도심으로 진입하는 차량이 도심에서 나오는 차량에 비해 훨씬 많으므로 신복R에서 공업탐R로 동진하는 버스에 대해서만 조사 고찰하기로 한다. 한낮시간에 대해서는 양방 교통량이 비슷하고 또 버스 운행도 뜸하므로 본 연구에서는 제외하기로 한다. TSP도입 취지에 부합되게 승용차의 교통류에 대해서는 버스에 종속하는 교통류로 간주하고 시내버스를 중심으로 한 교통류를 조사하기로 한다.

버스정류장, 신호등 직전 정지선 위치와 신호등 위치 및 주변가로망 조사를 끝내고, 연구자와 20명의 조사원이 조사방법 논의에 이어 2004년 10월 6일 오전 7시 30분부터 1시간동안 버스 주행현황 조사와 신호기작동 상황조사를 실시하였다.

조사시간 1시간 동안 5~6분 간격으로 조사시점을 출발하는 버스에 탑승해 버스가 지나는 위치별 시각을 조사표에 기록하고 버스정류장에서 정차하는 시간과 교차로 신호대기 시간도 기록하였다. 조사시 통과한 일반버스는 40대였고 통근버스가 14대였는데, 실제 조사한 버스는 11대였다. 같은 시각에 9개의 교차로에서도 녹색신호 시작시각과 현시를 기록하였다.

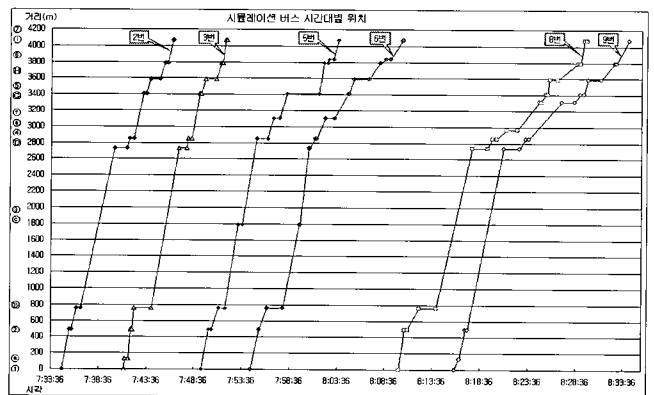


Fig. 4 Bus trajectories at each simulation

조사한 11대 버스 중에서 신뢰성이 다소 높다고 볼 수 있는 일련의 버스군으로 운행하는 2번과 3번, 5번과 6번, 8번과 9번의 세 그룹 6대의 차량에 대한 값을 기본사례로 선정했다. Fig. 4는 시뮬레이션 모델 분석에 선정된 6대 버스의 시간대별 위치를 보여주고 있다. 기본사례로 선정된 3그룹 6대의 차량의 조사구간 개별 버스 통행시간과 통행속도, 주행시간과 주행속도, 3개 그룹과 전체의 평균주행속도 등을 구해 비교의 기준으로 삼는다.

3.3 시뮬레이션 모델

실제 가로를 운행하는 버스에 대해 TSP를 적용하기 위해서는 신호교차로의 제어 형태에 따라 여러 교통신호 및 우선신호 관련시설이 필요하다. 가장 간단한 것으로 인접 신호교차로 운영을 전혀 고려하지 않고 그 교차로만의 교통류를 제어하는 점제어의 경우에도 버스에 방사기를 설치해야 하고 이를 감지하는 검지기와 함께 신호제어 할 수 있는 신호제어기를 갖춘 지역교차로 TSP 시스템을 갖추어야 한다.

TSP도입을 위해 버스에 방사기를 장착하고 교차로 신호등 중심으로 검지기와 신호제어기 설비를 갖춘 곳이 있다면 해당 기관의 협조를 받아서 기본사례와 차이가 나는 경우의 사례에 대해 TSP효과 등에 대해 조사할 수도 있을 것이다. 그러나 현재 그런 설비를 갖춘 경우가 없을 뿐만 아니라 새로이 시험구간에 대해 설비를 구입해 적용한다는 것도 비용측면 등으로 해석적 모형에 의한 분석이 사실상 어렵다. 2005년 3월 현재 울산시는 ITS 구축사업을 가동하고 있으나 아직 초기단계로 운용 중이다.

어떤 문제를 해결함에 있어서 비용이 많이 들고 너무 복잡한 해석적 방법의 대안으로 제시되는 방안이 시뮬레이션 모델이다. 조사구간에 대해 시뮬레이션 모델을 적용하는 방법으로 단순한 도해적 방법, 버스운행과 교차로 운영 컴퓨터 프로그램과 기존의 패키지 프로그램 활용 등을 들 수 있다.

도해적 방법은 조사구간 4.07km를 축척화하고 여기에 신호교차로와 버스정류장을 표식하고 버스를 양 기준점에서 적절한 시간대로 출발시키면서 TSP 관련 여러 변수를 변화시키면서 효과를 분석하는 방법이다. 도해적 방법을 주간선도로의 버스운행에 대해 Fig. 5의 흐름도와 같이 1차원 선상의 버스운행 자료를 VBA(Visual Basic Application)와 Excel을 이용해서 만든 컴퓨터 프로그램을 작성하여 사례별로 분석할 수 있을 것이다.

시뮬레이션 모델에 의해 문수로 조사구간의 버스에 대해 TSP를 적용함에 있어서 오전 첨두시의 도심으로 향하는 편도의 교통류를 상수로 취한다. 가장 우선적인 변수로서 Early Green과 Extended Green 기법을 택하여 기본사례와 비교하기로 한다. 적색시간이 녹색시간의 1/2~1/4인 소문자로 표시된 5개 신호교차로에는 현시작제(Skipping)를 도입하여 버스통행을 우선하였다.

운행 버스 전후의 신호등 위치를 i, j 라 한다. EaG기법에 대해서는 버스가 교차로에 접근할 때 신호기가 적색신호이면 적

색신호를 $C1(10초, 1/3, 1/2)$ 만큼 절단하여 녹색시간을 더 주는 3가지 경우에 대해 고찰한다. ExG기법인 경우는 교차로 전방의 버스 검지위치 $C2(140m, 100m, 60m)$ 와 진입하는 버스와 거리 X 와의 차이에 따른 3가지 경우에 대해 고찰하고자 한다.

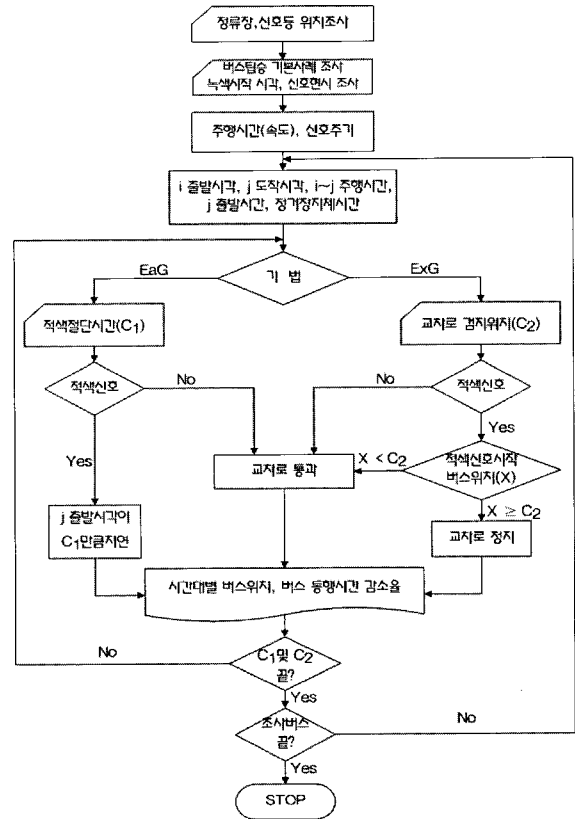


Fig. 5 Flow chart for TSP simulation

4. 문수로 TSP 적용 시뮬레이션 모델 분석

4.1 Early Green 기법

본 모델의 Early Green 기법 분석에서는 버스가 교차로에 접근하면 적색신호의 절단시간을 해당 적색시간의 10초와 1/3 및 1/2을 절단하여 녹색시간을 그 만큼 더 준 경우에 대하여 적용하였다. 이 기법은 교차로에서 주어진 주기 내에서 차량의 도착시간과 관련해 통행행태나 신호교차로 특성에 따라 통행을 우선하는 방법이며, 신호등의 최소녹색시간과 보행자의 움직임, 정차금지 간격에 혼란을 주지 않고 단지 녹색시간만을 앞당기는 것이다.

Fig. 6은 6대의 기본사례 버스 시간대별 위치에 교차로 신호기 적색시간을 10초와 1/3(40초 또는 25초) 및 1/2(60초 또는 40초) 절단하여 녹색시간을 더 준 EaG기법으로 시뮬레이션 한 버스 시간대별 위치를 보여주고 있다.

Fig. 6에서 6대의 버스 모두가 통행시간이 단축되었음을 볼 수 있으며 2번과 3번 버스는 적색시간의 절단 장단의 차이 없이 통행시간이 같았고 나머지 4대의 버스는 통행시간이 차이가 남을 볼 수 있다.

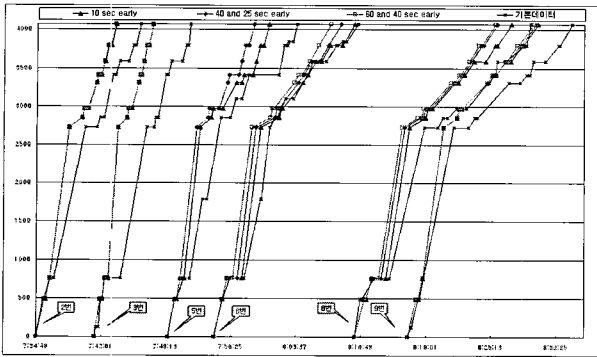


Fig. 6 Bus trajectories showing benefit from EaG. priority

2번 버스는 기본 통행시간이 11분 29초인데 8분 44초~48초로 2분 41~45초로 짧아져 통행속도가 354.43 m/분에서 462.50~466.03 m/분으로 빨라졌다. 3번 버스는 통행시간이 10분 30초에서 6분 21초로 매우 짧아져 통행속도가 387.62 m/분에서 690.94 m/분으로 빨라졌다. 2번과 3번 버스의 평균 통행시간은 11분에서 7분 34초로 31.2% 단축되었고, 평균속도는 48.5% 빨라졌다.

5번과 6번 버스의 평균 통행시간은 15분 2초에서 각각 11.5%, 22.1%, 25.6% 단축되었고, 평균속도는 271.50 m/분에서 각각 15.8%, 32.9%, 37.4% 빨라졌다. 8번과 9번 버스의 평균 통행시간은 18분 47초에서 각각 16.1%, 20.4%, 21.7% 단축되었고, 평균속도는 각각 19.4%, 25.9%, 28.9% 빨라졌다.

6대 차량의 평균통행시간은 14분 56초에서 적색시간 10초 절단의 경우 18.1% 시간이 단축되었고, 1/3 절단의 경우 23.7% 시간이 단축되었으며, 1/2 절단의 경우 25.8% 시간이 단축되었다. 평균통행속도는 286.48 m/분에서 적색시간 절단 각각에 대해 30.9%, 39.2%, 40.1% 빨라졌다.

4.2 Extended Green 기법

Extended Green 기법 분석에서는 교차로의 전방 140m와 100m 및 60m 위치에서 버스가 검지된 경우에 녹색신호가 적색신호로 바뀌지 않고 버스를 통과시키는 경우에 대하여 적용하였다. 이 기법은 교차로에서 주어진 주기 내에서 차량의 도착시각과 관련해 통행태나 신호교차로 특성에 따라 통행을 우선하는 방법이다.

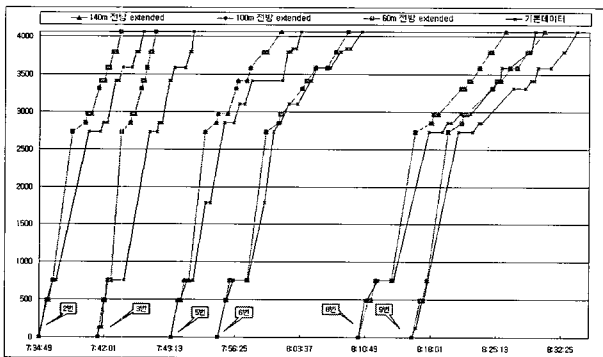


Fig. 7 Bus trajectories showing benefit from ExG. priority

Fig. 7은 6대의 기본사례 버스 시간대별 위치에 교차로 전방 140m와 100m 및 60m 위치에 버스가 검지된 경우 녹색신호가 유지되면서 버스를 통과시키는 ExG 기법으로 시뮬레이션 한 버스 시간대별 위치를 보여주고 있다. 기본사례 버스에 대한 3가지 ExG기법에 의한 버스 통행시간/속도와 주행시간/속도의 값을 표로도 나타낸다.

Fig. 7에서 보는 바와 같이 ExG기법을 교차로 전방 140m, 100m, 60m 위치에 버스 검지 신호가 작동한 경우 모두 같은 통행시간 단축 효과를 나타내고 있다. 2번 버스는 기본 통행시간이 11분 29초인데 8분 58초로 2분 31초로 짧아져 통행속도가 354.43 m/분에서 453.90 m/분으로 빨라졌고, 3번 버스는 통행시간이 10분 30초에서 EaG기법의 경우와 같이 6분 21초로 매우 짧아졌다. 2번과 3번 버스의 평균 통행시간은 11분에서 7분 40초로 30.3% 단축되었고, 평균속도는 47.4% 빨라졌다.

5번과 6번 버스의 평균 통행시간은 15분 2초에서 12.1% 단축되었고, 평균속도는 14.4% 빨라졌다. 8번과 9번 버스의 평균 통행시간은 18분 47초에서 18.1% 단축되었고, 평균속도는 22.1% 빨라졌다.

6대 차량의 평균통행시간은 14분 56초에서 모두 12분 5초로 19.1% 시간이 단축되었고, 평균통행속도는 30.1% 빨라졌다.

4.3 비교 고찰

기본사례 6대 각각의 차량에 대한 3가지 EaG기법과 3가지 ExG기법에 의한 TSP를 적용했을 경우 버스 시간대별 위치와 두 기법의 3경우에 대한 통행시간 감소율을 Fig.8의 (a)~(f)에서 볼 수 있다.

Fig. 8(a)에서 2번 버스의 경우 기본 통행시간 11분 29초에서 EaG기법의 경우 적색시간의 절단시간에 관계없이 23.7% 단축되었고, ExG기법의 경우는 물론 버스 감지 위치에 무관하게 비슷하게 21.9% 단축되었다.

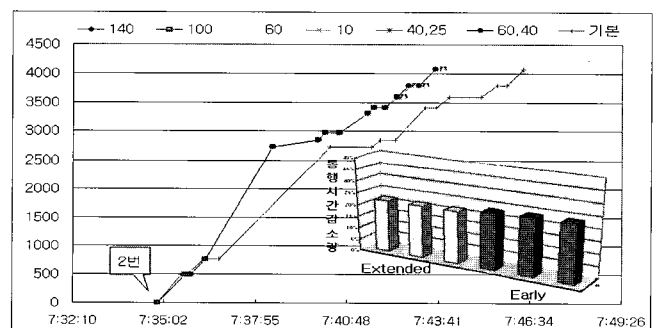


Fig. 8(a) Trajectories and travel time reduction of bus no.2

Fig. 8(b)에서 3번 버스의 경우 기본 통행시간 10분 30초에서 EaG기법의 경우 적색시간의 절단시간에 관계없이 39.5% 단축되었고, ExG기법의 경우도 같았다.

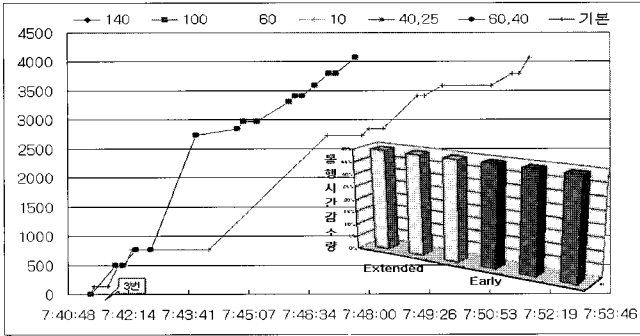


Fig. 8(b) Trajectories and travel time reduction of bus no.3

Fig. 8(c)에서 5번 버스의 경우 기본 통행시간 14분 14초에서 EaG기법의 경우 적색시간의 절단시간 10초일 때 21.8% 단축되었고 나머지 2경우는 33.5% 단축되었고, ExG기법의 경우는 모두 15.3% 단축되었다.

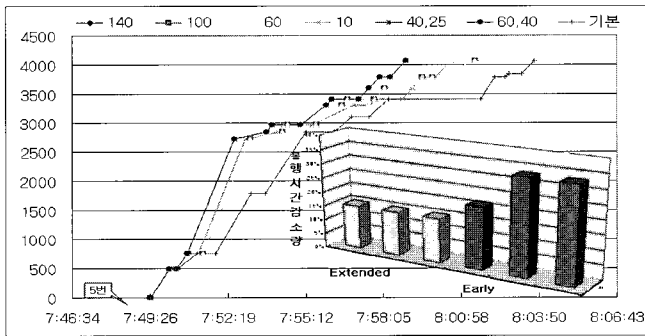


Fig. 8(c) Trajectories and travel time reduction of bus no.5

Fig. 8(d)에서 6번 버스의 경우 기본 통행시간 15분 50초에서 EaG기법의 경우 적색시간의 절단시간 10초일 때 2.3% 단축되었고, 절단시간 1/3일 경우와 1/2일 경우는 각각 11.9%와 18.6% 단축되었고, ExG기법의 경우는 모두 9.3% 단축되었다.

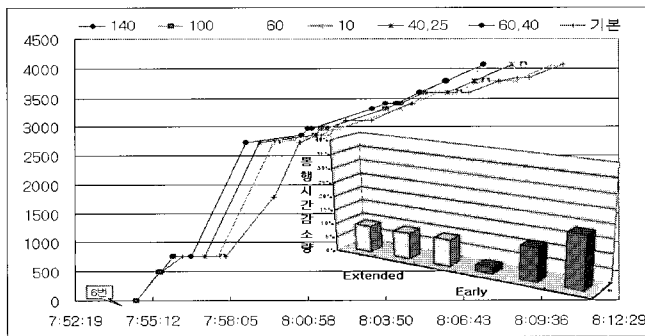


Fig. 8(d) Trajectories and travel time reduction of bus no.6

Fig. 8(e)에서 8번 버스의 경우 기본 통행시간 19분 24초에서 EaG기법의 경우 절단시간 10초일 때 10.9% 단축되었고 나머지 2경우는 19.5% 단축되었고, ExG기법의 경우는 모두 16.7% 단축되었다.

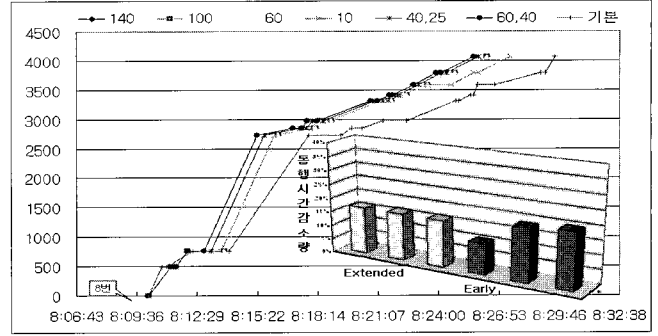


Fig. 8(e) Trajectories and travel time reduction of bus no.8

Fig. 8(f)에서 9번 버스의 경우 기본 통행시간 18분 10초에서 EaG기법의 경우 평균 22.1% 단축되었고, ExG기법의 경우는 모두 19.6% 단축되었다.

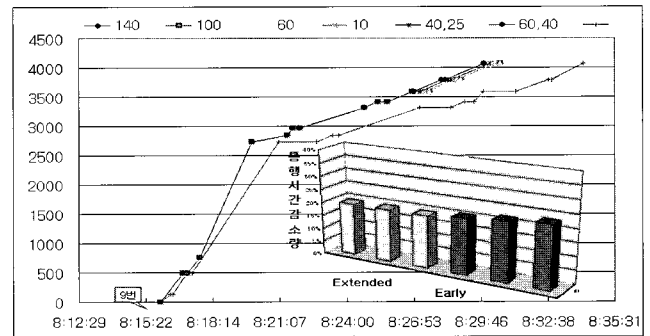


Fig. 8(f) Trajectories and travel time reduction of bus no.9

시뮬레이션 모델분석을 실시한 6대 버스에 대해 기본사례 통행시간과 비교한 적색시간 절단 길이에 따른 EaG기법과 검지기 위치에 따른 ExG기법의 통행시간 단축율을 Table 3과 같이 정리할 수 있다.

Table 3 Travel time reduction at each simulation

버스 번호	기본사례 통행시간	EaG 기법 (적색시간 절단)			ExG 기법 (검지기 위치)		
		10초	1/3	1/2	140m	100m	60m
2	11분29초	<--- 23.7% --->			<--- 21.9% --->		
3	10분30초	<--- 35.9% --->			<--- 35.9% --->		
5	14분14초	21.8%	<--- 33.5% --->		<--- 15.3% --->		
6	15분50초	2.3%	11.9%	18.6%	<--- 9.3% --->		
8	19분24초	10.9%	<--- 19.5% --->		<--- 16.7% --->		
9	18분10초	<--- 22.1% --->			<--- 19.6% --->		

본 연구에서 외국의 TSP 사례를 고찰하고 이를 우리나라에 도 적용해 보고자 울산시의 문수로를 지나는 버스에 대해 매우

제한적인 경우에 대해서 시뮬레이션 모델을 적용하여 보았다. 서울시가 2004년 7월 1일부터 시행한 중앙버스차로제의 경우에서와 같이 시행을 전후하여 여러 의견들이 제시되었고 그럼에도 불구하고 차츰 도심내 버스의 운행이 매우 원활해진 것도 사실이다. 하지만 중앙버스전용차로제는 기존의 차로들 중에서 버스에게 하나의 차로를 배정하면서 타 차로의 차량들이 용량부족 현상을 겪게 될 수 있다는 우려를 자아내는 등 시행상 문제점도 지적되고 있고, 또 그에 따른 합리적인 추진 방향도 논의되고 있다.

마찬가지로 버스전용차로제와는 다른 버스통행로 개선정책인 버스 TSP도 가로망의 성격, 신호현시의 절단 또는 연장의 여러 기술적인 문제, 다른 차량들과의 문제 등 여러 시행상 문제점도 있을 것이다. 그러나 점차 중요시 인식되는 대중교통 중심의 교통정책과 첨단 ITS의 활용 등을 고려해야 할 것에 비추어 볼 때, 본 연구가 현 실과 어느 정도 부합될 수 있을까 하는 우려에도 불구하고 보다 일반적인 교통상황에 대한 버스 TSP 연구 나아가서는 대중교통의 활성화에 기여하는 계기가 될 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 외국의 버스 통행우선신호 도입의 성공사례에 비추어 우리나라에서도 이를 적용해볼 수 있음을 확인하였고, TSP 기법을 울산도심의 중요한 동서축의 주간선도로인 문수로 4.07km 구간에 오전 침두시 1시간의 동진하는 일련의 버스군으로 운행하는 세 그룹 6대의 버스에 대해서 적용하였다.

조사구간에 대해 도해적 방법과 컴퓨터 프로그램 활용법을 병행한 시뮬레이션 모델을 Early Green기법과 Extended Green기법에 대해 적용하여 다음과 같음을 알 수 있었다.

EaG기법에서 모든 버스가 통행시간이 단축되었다. 평균통행시간은 적색시간 10초 절단의 경우 18.1% 시간이 단축되었고, 1/3 절단의 경우 23.7% 시간이 단축되었으며, 1/2 절단의 경우 25.8% 시간이 단축되었다. 평균통행속도는 30.9~40.1% 빨라졌다.

ExG기법에서 교차로 전방 140m, 100m, 60m 위치에 버스 검지 신호가 작동한 경우 모두 같은 통행시간 단축 효과를 나타내고 있다. 세 버스군의 평균 통행시간 단축 비율은 12.1~30.3%였고, 6대 차량의 평균통행시간은 19.1% 시간이 단축되었고, 평균통행속도는 30.1% 빨라졌다.

각각의 6대 개별 차량에 대한 통행시간 감소율은 EaG기법의 경우 2.3~39.5% 범위였고, ExG기법의 경우는 9.3~39.5% 범위였다.

외국의 성공적인 버스 TSP 적용사례나 울산시의 경우에 비추어 볼 때 우리나라에도 선별적으로 버스 TSP를 도입할 수 있을 것이다. 그리고 본 연구의 결과를 바탕으로 2005년 3월부터 울산시에서 가동중인 ITS 구축사업이 초기단계를 거쳐 안착이 되면 울산의 간선도로인 문수로 구간에 대해 실제 적용해 봄으로서, 그 기대효과를 비교 점검하여 문제점을 점검

하면서 더 넓은 관련 실무분야에의 추진방향을 생각해 볼 수 있을 것이다.

본 연구에서는 교통류의 흐름을 가장 단순하게 취급한 울산 문수수에 버스 TSP기법을 적용하여 그 효과를 산정했으나 보다 복잡한 교통류의 적용에 대해서는 추가적인 연구가 있어야 할 것이다.

후 기

“이 논문은 2004학년도 울산대학교의 연구비에 의하여 연구되었음.”

참 고 문 헌

- [1] 고승영(2002), 버스도착시간 정보에 대한 연구 대한교통학회지, 제20권 제5호, pp.175-181
- [2] 김성득(2004), 버스 통행우선신호 적용사례 연구, 울산대학교 공학연구 제35권 1호, pp.63-75
- [3] 도철용(2004), 교통공학원론(상), 청문각, pp.456-465 & pp.504-508
- [4] 배덕모(2002), 부천시 사례를 통한 버스정보시스템 운영 효과 분석, 대한교통학회지, 제20권 제1호, pp.7-18
- [5] 배상훈, 임재현(2004), 첨단버스운행관리시스템 적용사례 연구, 2004 학술발표회, 대한교통학회 부산·울산·경남 지회, pp.3-8
- [6] 원제무(1995), 도시교통론, 박영사, pp.59-64 & 271-283
- [7] 울산광역시(2003), 울산광역시 도로정비기본계획, pp.44-52.
- [8] 전상민(2004), 서울시 버스교통체계 개편의 성과 버스교통, 한국운수산업연구원, 통권 3호, pp.57-62
- [9] Advanced Traffic Management Systems Committee and Advanced Public Transportation Systems Committee of the Intelligent Transportation Society of America (ITS America) (2002), “An Overview of Transit Signal Priority”, Prepared by the DRAFT, April, pp 1-8. & 12-13.
- [10] Al-Sahili, Khaled A. and Taylor, William C. (1996), “Evaluation of Bus Priority Signal Strategies in Ann Arbor”, Michigan, Transportation Research Record 1554, Washington, D.C.
- [11] Davol, Angus P. (1997), “Modeling of Traffic Signal Control and Transit Signal Priority Strategies in a Microscopic Simulation Laboratory”, Sc.B. in Civil Engineering, Brow University, Providence, RI, pp.79-99
- [12] Garrow, Michael and Machemehl, Randy (1997), “Development and Evaluation of Transit Signal Priority Strategies”, Southwest Region University Transportation Center, Report No. SWUTC/97/472840-00068-1
- [13] Illinois Department of Transportation (1993), “Cermak

- Road Bus Preemption Study”, Summar Report, Civiltech Engineering, Inc. Itasca, IL & JRH, Transportation Engineering, Eugene, OR. October
- [14] Kiel Ova & Ayman Smadi (2001), “Evaluation of Transit Signal Priority Strategies for Small-Medium Cities”, December, p.9 & pp.41-66
- [15] King County Department of Transportation and City of Seattle Transportation (2000), “Transit Signal Priority System Assessment Study”, Rainier Avenue South Field Evaluation Draft Report Seattle, WA
- [16] Ludwick, John S. (1975), “Simulation of an Unconditional Preemption Bus Priority System”, Transportation Research Record 536. Washington, D.C.
- [17] Parsons Brinckerhoff (1998), “Phoenix Transit’s Intersection Advanced Detection Demonstration roject”, Route 52. Phoenix, AZ.
- [18] Sunkari, Srinivasa R. & Beasley, Phillip S. & Urbanik II, Thomas (1995), “Model to Evaluate the Impacts of Bus Priority on Signalized Intersections.” Transportation Research Record 1494. Washington, D.C.
- [19] Westwood Professional Services, Inc. (2000), “St. Cloud Metropolitan Transit Commission Transit Priority Evaluation Project”, Eden Prairie, MN.
-

원고접수일 : 2005년 2월 21일

원고채택일 : 2005년 5월 16일