

# 단거리전용무선통신(DSRC)를 이용한 버스우선 신호제어 시스템 개발

## Development of a Bus Signal Priority Control System using DSRC

장상우 손승희 곽수진

(한양대학교 전자통신컴퓨터공학과)

이상선

(한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 교수)

Key Words : DSRC(단거리전용무선통신), Bus signal priority(버스우선신호), ITS(지능형 교통 시스템)

### 목 차

I. 서론	3. DSRC를 이용한 버스우선 신호제어 시스템 구성
II. 본론	4. 실험 방안 및 결과 분석
1. DSRC 특성	III. 결론
2. 버스우선 신호 전략	참고문헌

## I. 서론

급속한 차량의 증가와 한정된 도로상황으로 인해 교통 혼잡이 가중되고 수많은 자원의 낭비가 초래되고 있다. 이를 해결하기 위해 많은 교통신호제어 시스템의 연구가 진행되어왔으나, 기존 대부분의 신호제어시스템은 유선통신을 이용한 고정된 검지기로부터 전송되는 매우 제한적인 교통정보를 통해 제어 및 운영되고 있기 때문에 교통정보를 실시간으로 예측하여 신호제어에 적용하는데 한계가 있다. 최근에는 이러한 한계를 극복하기 위해 다양한 차량검지 기술들이 개발되고 있으며, 이 검지기술들을 통해 수집된 정보들을 이용한 실시간 신호제어 전략들이 개발되고 있는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 대중교통 이용의 활성화를 통해 한정된 도로자원을 절약하는 방안으로 RF-DSRC 검지기를 이용한 버스우선 신호제어 시스템을 제시하며, 실제 도로현장에서의 실험을 바탕으로 한 결과를 분석해 본다.

## II. 본론

### 1. DSRC 특성

DSRC(Dedicated Short Range Communication)는 ITS 전용 단거리 통신의 의미이며 노변통신망의 일종이다. 즉, 도로변에 소형 검지기(RSE : Road Side Equipment)를 설치하고 차량에 단말기(OBE : On Board Equipment)를 부착하여 수 미터에서 수십 미터의 거리에서 통신을 수행하게 된다. DSRC 장치는 통신 기능만을 수행하며 응용 서비스는 단일 단말기에서 또는 타 단말기와 별도의 접속을 통해 제공된다.

초기의 DSRC에 관한 개념은 단순히 도로변에 설치되어 통과하는 차량에 접속하여 통행요금징수나 차량정보 수집 등의 단순한 기능을 수행하는 것이었으나 현재는 도로변에 RSE가 다수 설치되고 이들이 유선통신망으로 서로 연계되어 통신망

을 구성하여 무선 인터넷과 같이 다양한 ITS 서비스를 제공할 수 있도록 개념이 확장되고 있다.

DSRC의 주요 방식으로는 적외선통신을 이용하는 IR-DSRC 방식과 5.8GHz 주파수대역을 이용하는 RF-DSRC 방식이 있다. 본 논문의 버스우선 신호제어에는 RF-DSRC 방식을 적용하였다. <표 1>은 RF-DSRC의 특징을 나타낸다.

<표 1> RF-DSRC 특징

구분	RF-DSRC 특징
주파수	5.8GHz
방식	기지국과 단말기가 각각 송수신 장치를 가짐 상호 요구에 의해 쌍방향통신을 하는 방식 확장성이 뛰어나
전송속도	1Mbps
다중접속	다중접속
통신 반경	100m 이하
양방향 통신	양방향 통신
장점	ITS 서비스의 전반적 무선통신에 적용가능 타방식에 비해 고속 전송 국가 표준으로 채택 (TTA표준)
단점	초기 투자비가 다소 높음

### 2. 버스 우선 신호 전략

버스 우선 신호(Bus Signal Priority)란 교차로 신호 현시체를 일시적 제어를 통해 노면전차, 버스와 같은 대중교통들이 우선 통과 할 수 있도록 우선권을 부여하여 현재보다 높은 수준의 대중교통 서비스 및 효율성 제공을 통해 대중교통 이용의 활성화를 도모하는 신호체계를 말한다.

우선신호는 크게 'active priority' 와 'passive priority' 두 방식으로 구분된다. 'passive priority'는 검지 유무와는 상관없이 미리 정해진 신호 계획에 따라 우선신호가 제공되는 것이며, 'active priority'는 검지 유무에 따라 적절한 우선 신호

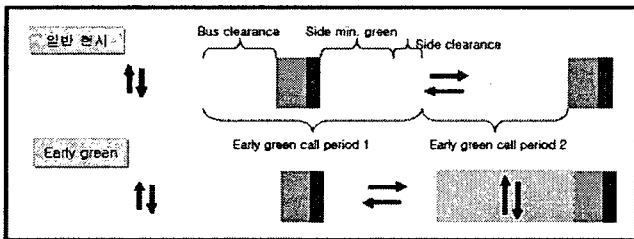
가 제공되는 것이다. 또한, active priority 방식 중 조기녹색 시간(early green)은 우선신호 제공을 위해 대중교통현시가 정상 운영상태보다 일찍 시작되는 방식이며, 녹색시간연장(extend green)은 우선 신호 제공을 위해 대중교통현시가 정상 운영상태보다 길게 연장하여 운영하는 방식이다.

본 논문에서는 조기녹색시간(early green)과 녹색시간연장(extend green)을 중심으로 버스우선신호를 제어하는 전략을 개발하였다. 이는 실시간 기반 및 차두시간 기반이며 버스가 도착하는 조건에 따라 신호를 제공하는 active priority 전략이다. conditional priority는 현시의 불균형을 막기 위하여 'early green'과 'extend green'은 한 주기 안에서 동시에 사용하지 않고 한 주기에 한 번씩 상황에 맞게 사용된다.

<표 2> 버스우선신호 전략

base	전략
<ul style="list-style-type: none"> <li>o real-time base</li> <li>o schedule base or headway base</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o active priority</li> <li>-conditional priority</li> </ul>
적용기술	비고
<ul style="list-style-type: none"> <li>o early green</li> <li>o extend green</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 부 방향 교통량</li> <li>o 부 방향 최소녹색 시간</li> </ul>

① early green : 우선신호 제공을 위해 대중교통 현시가 정상 운영 상태보다 일찍 시작되는 방법으로 상충현시 동안 대중교통의 감지가 이루어지고, 우선신호 제공여부가 결정되는 알고리즘이다. 이때 대중교통 현시의 조기시작은 상충현시의 최소녹색시간 혹은 보행자 이동시간, 황색시간, 현시 전이 시간이 보장된 상태에서 제공된다.

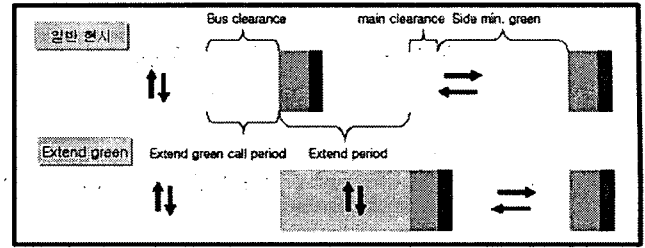


<그림 1> Early Green

- min. green : 상충현시의 최소 녹색시간으로 보행시간 혹은 부방향의 교통량을 고려한 대기행렬의 증가를 최소화하는 신호시간.
- early green call period 1 : 우선 신호 제공을 위한 bus call이 확인되는 기간으로, 이 기간 동안 인지된 bus call은 신호 제어가 부도로의 max(부도로 최소녹색시간, 최소 보행자시간)시간을 "force-off"시간으로 인지하게 한다.
- early green call period 2 : 이 기간 동안 period 1에서 받은 bus call 을 제공해 준다.

② extend green : 우선 신호 제공을 위해 대중교통 현시가 정상 운영 상태보다 길게 운영되는 방법으로 대중교통이 녹

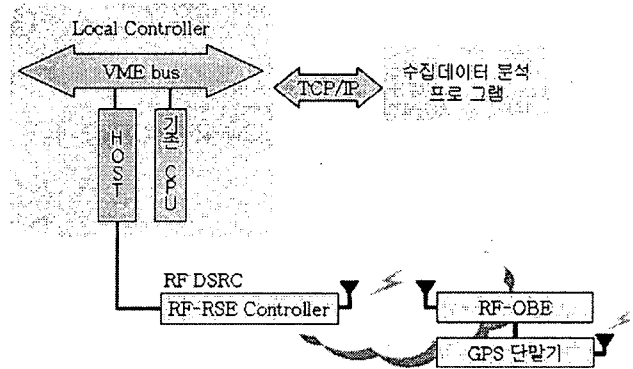
색 시간동안 교차로를 통과하지 못할 경우에 교차로 통과를 위해 녹색시간을 연장시켜주는 방식으로, 대중교통이 운영되고 있는 현시에서만 감지가 이루어지는 방법이다.



<그림 2> Extend Green

### 3. DSRC를 이용한 버스우선 신호제어 시스템 구성

DSRC 검지기를 이용한 버스우선 신호제어 시스템 구성은 <그림 3>과 같다. Local Controller와 RSE Controller 및 안테나로 구성되어 있으며 신호제어기는 현재 교통 신호 제어기에서 사용하는 VME bus 방식을 적용하여 제작하였다. DSRC 시스템의 노변 장치에서 수집된 모든 정보는 실시간으로 Local Controller에 저장된다. RF-DSRC 검지기의 수집가능 데이터는 차종, 개별차량 ID, 통신영역 진입시간 및 진출시간, 통신영역 내 통신횟수이며 GPS 단말기와 연계하여 속도 및 위도/경도 기반의 위치 데이터 수집이 가능하다.



<그림 3> 버스우선 신호제어 시스템 구성도

기존의 루프 검지기는 차량이 통과함에 따라 발생하는 전장 신호(electric field)를 기본으로 정보를 가공하고 일정시간의 평균값을 산정하기 때문에 정보의 정확성과 신뢰성 면에서 오차를 보여 왔다. 하지만 DSRC 검지 시스템을 이용하여 수집된 교통 정보는 탑재장치에 입력된 정확한 정보를 노변 장치를 통해 전달되지 때문에 기존의 루프 검지기를 통해 얻을 수 있는 평균 속도뿐만 아니라 차량 진입 시점에서의 순간속도, 차량의 흐름 및 차량의 종류까지도 실시간으로 정확하게 파악할 수 있다. 특히 루프 검지기는 차량의 크기에 따라 6종의 분류만이 가능했지만 DSRC 검지 시스템에서는 긴급차량, 버스, 택시, 화물차량, 승용차, 승합차 등과 같은 용도까지 확인할 수 있어 보다 세분화되고 정확한 정보를 알 수 있다. 이러한 세분화되고 보다 정확한 정보를 통해서 버스우선 신호제어 시스템과 같은 새로운 교통 제어 시스템이 개발

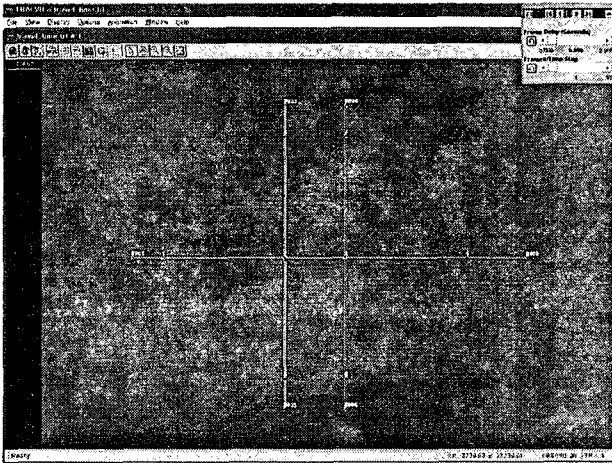
될 수 있게 되었다.

#### 4. 실험 방안 및 결과 분석

##### 1) 시뮬레이션 평가

본 논문에서는 그 간 세계적으로 가장 많이 사용되고 있는 교통류 시뮬레이션 모형인 CORSIM에서 제공하는 외부 모듈과 연계 동작시킬 수 있도록 개발된 RTE(Run Time Extension)모듈과 연계된 형태로 HILSS(Hardware in the Loop Simulation System)를 구성하여 평가 하였다.

평가 환경은 실제 현장의 구조 및 버스 루트를 반영하여 동서 축의 1차로를 버스 이용차로로 지정하고 좌회전하는 버스를 검지하기 위해 정지선으로부터 150m 전방에 버스전용 검지기를 설치 운용하는 것으로 하였다.



<그림 4> 시뮬레이션 테스트 화면

평가를 위한 시나리오는 다음과 같은 3가지를 선정하였고 각각의 시나리오에 대해 10분씩 수행하여 결과를 분석하였다.

##### ① 시나리오 1 : Do Nothing

버스감응제어를 수행하지 않고 TOD 제어로만 제어했을 경우의 시나리오

##### ② 시나리오 2 : Early Green

정지선으로부터 150m 정도 이격된 지점에 버스를 감지할 수 있는 DSRC기반의 무선 검지기를 설치하여 버스 통행권에 관련된 현시가 적색신호일 경우 타 현시의 신호시간을 조기종결 시킴으로써 버스 현시를 조기에 시작되도록 하는 방식으로 제어

##### ③ 시나리오 3 : Early Green + Extend Green

버스 Early Green과 병행하여 버스 현시가 녹색신호인 조건에서 검지기에 버스가 검지될 경우, 버스가 정지선에 도착하는 소요시간을 예측, 주어진 연장녹색시간(10초)이내에 정지선을 통과할 수 있을 때에만 녹색신호시간을 연장해주는 방식으로 제어

본 논문에서는 HILLS 기반 평가시스템을 이용하여 다양한

버스우선신호 기법 중에서 전술적인 기법인 버스감응제어 중심으로 평가를 수행하였다. 본 평가에서는 고정신호제어 기법인 TOD 제어환경에서 버스 감응제어만 적용하였을 경우, 위의 평가결과에서 제시한 바와 같이 지체시간과 통행시간 측면에서 20% 내외의 개선 효과를 보인 것으로 나타났으며 이는 통상 버스 감응신호제어기법은 전술적 제어로서 전략적 제어 알고리즘(여행시간 기반제어 등)과 결합된 형태로 제어가 이루어지게 되며, 이 경우 개선효과는 더욱 배가될 수 있음을 보여준다.

또한, 버스우선 신호제어의 효과는 Early Green 만을 적용했을 때는 그다지 효과가 뚜렷하게 나타나지 않았으나 Extend Green 기법을 병행하였을 때는 훨씬 효과적으로 분석되어 Early Green 보다는 Extend Green 기법이 효율적임을 보여주고 있다.

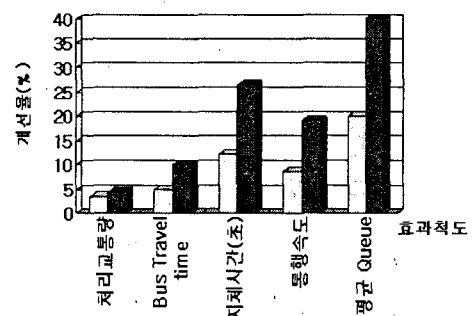
<표 3> 버스우선제어 평가결과

시나리오	Do nothing	Early Green	Early Green + Extend Green
처리교통량 (대/시)	114	118(3.5)	119(4.4)
Bus Travel Time(초/대)	141	134(5.0)	127(10.0)
지체시간(초)	49	43(12.2)	36(26.5)
통행속도(kph)	23	25(8.7)	27.4(19.1)
평균 Queue (대)	5	4(20)	3(40)

주1) 처리교통량은 버스이용차로 통과교통량으로 일반 좌회전 승용차 포함

주2) ( )는 Do Nothing에 대한 개선효과(%)

버스감응제어 개선효과



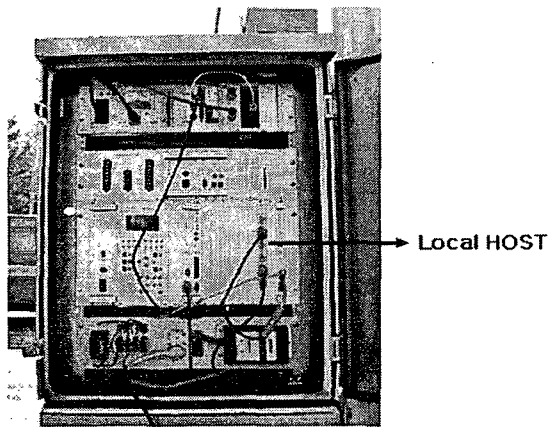
□ Early Green    ■ Early Green + Extend Green

<그림 5> 버스우선제어에 따른 개선효과

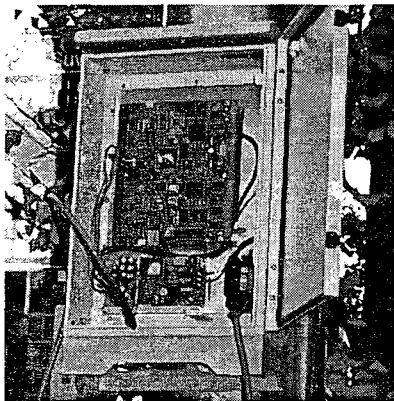
##### 2) 현장 실험 평가

앞서 수행한 시뮬레이션 평가에서 버스우선 신호제어 시스

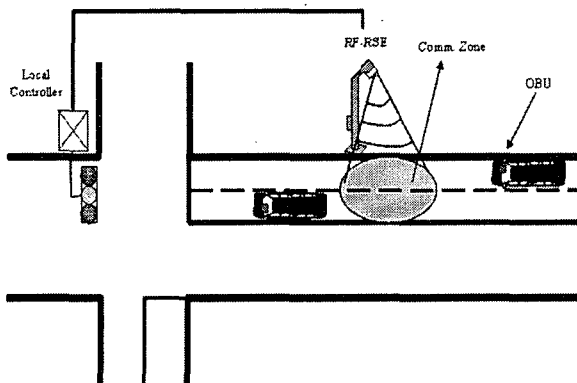
템의 우수성을 입증하였다. 그러나 실제 도로상에서의 적용에는 많은 제약이 따르기 때문에 개발된 시스템을 실제도로에 설치하여 각 무선검지기 검지데이터의 신뢰성을 실제 교통환경에서 재검증하고, 버스 우선 신호제어 알고리즘을 적용한 모의신호제어실험을 통하여 시스템의 성능을 평가하였다. 실외모의실험을 위한 실험현장은 경기도 안양시 학운공원 옆 학운로가 선정되었으며 <그림 6>과 <그림 7>은 각각 현장에 설치된 지역 제어기에 삽입된 Local Host와 RF-RSE를 보여주고 있으며 <그림 8>은 실험 현장의 시스템 구성을 나타낸다.



<그림 6> 실험 현장에 설치된 Local Host



<그림 7> RF-DSRC 노변장치



<그림 8> 실험 현장 구성도

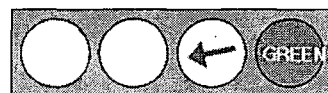
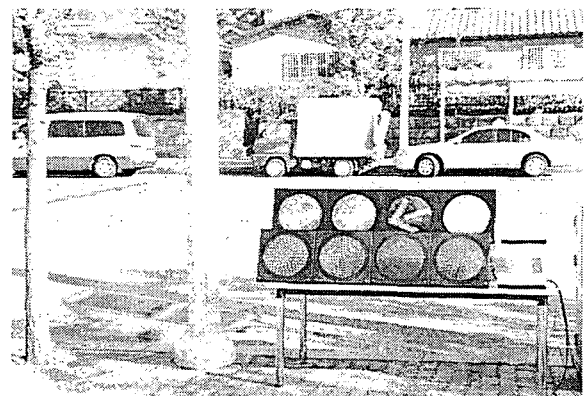
현장 실험 시, 탑재장치(OBE)를 장착한 실험차량을 운행하여 차량이 RF-DSRC 검지기의 통신영역 안에 진입하면 노변장치(RSE)는 OBE와 데이터 교환을 통해 획득한 정보(차종, 차량ID, 통신영역 진입/진출 시간, 속도, 위치 등)를 지역 제어기(Local Controller) 내의 Local Host로 보내게 된다. 지역 제어기는 차종을 판별하여 버스차량임을 확인하고 차량의 속도 및 거리를 이용하여 상황에 따라 버스우선 신호(Early Green, Extend Green)를 발생 시켰다. 즉, 시뮬레이션 테스트에서와 같이 버스가 통신영역에서 진출하는 시점에서 현시가 적색신호일 경우 버스 현시를 시작시키고(Early Green), 현시가 녹색신호일 경우에는 정지선까지의 거리와 차량의 속도 데이터로 정지선까지 도착하는 소요시간을 계산하여 주어진 시간(10초)이내에 정지선을 통과할 수 있을 경우, 녹색신호시간을 연장시킨다.(Extend Green) 이것을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$t_i = \frac{d}{v}, \quad t_i \leq t_e$$

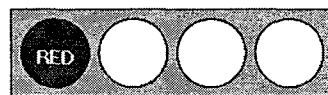
$v$ : 차량의 속도  
 $d$ : 정지선까지의 거리  
 $t_i$ : 정지선까지의 도착 시간  
 $t_e$ : 연장녹색 시간

실제 도로상에서의 제약과 사고 위험성 등으로 인해서 별도의 신호등을 신호제어기와 연결하여 버스우선 신호제어를 나타냈다. 기존의 TOD 신호 방식과 버스우선 신호제어 방식을 동시에 보여줄 수 있도록 두 개의 신호등을 사용하였다.

<그림 9>는 실험 차량이 통신 영역을 통과하여 버스우선 신호제어가 발생된 후의 변화를 보여주고 있다. 상단의 신호등은 버스우선 신호제어를 보여주는 신호등으로써 Early Green이 적용되어 현시가 좌회전으로 변경되었지만, 하단의 기존 방식의 신호등에서는 변화가 나타나지 않았다.



버스우선신호



기존신호

<그림 9> 버스우선 신호와 기존 신호의 비교

### III. 결론

본 논문에서는 시뮬레이션과 실제 도로상에서의 실험을 통하여 버스우선 신호제어의 효율성을 확인 하였다. 버스우선 신호제어로 인해 부도로의 지체가 증가하지만 사람단위 지체를 고려하면 전체 네트워크상에 효율적인 신호제어 전략이며, 대중교통의 통행시간 단축을 통한 서비스의 개선은 승용차 수요를 대중교통 수요로 유도하는 효과를 기대할 수 있을 것이다.

또한, DSRC라는 양방향 무선 통신 기술을 교통신호제어에 이용함으로써 새로운 개념의 버스우선 신호제어 알고리즘을 가능하게 하였고, 이러한 DSRC를 이용한 통신 시스템은 기존의 검지 시스템에서 제공하던 단순 정보 제공에서 벗어나 교통 정보 및 교차로 정보의 제공까지도 가능하게 하고 있다. 앞서 살펴본 바와 같이 보다 효과적이고 새로운 신호제어 방식을 실현 가능하게 해주며, 앞으로 더욱 다양한 텔레매틱스 서비스를 운전자에게 제공할 수 있을 것이다.

#### 감사의 글(Acknowledgement)

"본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음"(IITA-2005-C109 0-0502-0009)

#### 참고문헌

1. KOTI Report, "Development of Next Generation Traffic Signal Control System Utilizing Wireless Communications" KOTI, 2005
2. 정성대, 곽수진, 이상선, "적외선 전용 단거리 무선 통신(IR-DSRC)를 이용한 실시간 신호 제어 시스템 구성 방안", 2004
3. 구지선, "버스 우선 신호 개발 및 평가", 서울시립대학교, 2004
4. 오종택, "DSRC 기술 개발 동향", 한국통신학회지 제19권 9호, 2002
5. 한국정보통신기술협회, "5.8GHz 대역 노변기지국과 차량 단말기 간 근거리전용 무선통신 표준", 2000