

# 신호 교차로에서 딜레마구간 의사결정 지원 서비스

A dilemma zone decision assistant service at signalized intersection

고재철

이혁준

(광운대학교, 석사과정)

(광운대학교, 교수)

Key Words : Dilemma zone, Intersection, ITS, Service

## 목 차

- I. 서론
- II. 관련연구
  - II.1 딜레마구간
  - II.2 DSRC를 이용한 교통정보 시스템
  - II.3 신호교차로 내 딜레마구간 차내 경고 시스템
  - II.4 DSRC 시스템을 이용한 교차로 사전경보 알고리즘
- III. 딜레마구간 의사결정 지원 서비스
  - III.1 서비스 구성
  - III.2 응용 프로토콜
  - III.3 에뮬레이터
- IV. 결론
  - 감사의 글
  - 참고문헌

## I. 서론

신호교차로에 차량이 진입할 경우 교통신호가 황색신호로 변경될 때 차량의 운전자가 교차로를 통과할 것인지 정지할 것인지 결정하게 되는 것은 매우 어려운 의사 결정요소로써 이러한 상황이 발생하는 구간을 딜레마구간(Dilemma Zone)이라고 한다. 이러한 딜레마구간에 차량이 놓이게 되는 경우 운전자의 성향에 따른 행동에 의해 교통사고의 위험이 잠재하고 있다고 할 수 있다. 따라서 이러한 딜레마구간의 제거를 목적으로 하는 연구가 진행 중에 있으며, 주로 검지기 설계 및 신호제어 전략, 교통정보 제공분야의 기술들이 있다. 본 연구에서는 차량이 올바른 의사 결정을 통해 딜레마 구간에 놓이지 않게 하여 사고를 방지하기 위한 서비스로써 딜레마 구간을 결정짓는 요소들을 구하고 각 요소들 간의 관계를 통해 운전자에게 교차로 진입정보를 제공하는 것을 목적으로 한다. 이에 더하여 본 연구에서는 서비스를 구현하기 위한 응용프로토콜과 검증위한 에뮬레이터를 구현하였다. 이는 본 서비스가 사고와 관련되어 있으므로 현장 실험의 위험을 감수하고, 좀 더 다양한 실험을 위한 목적으로 설계 구현 하였다.

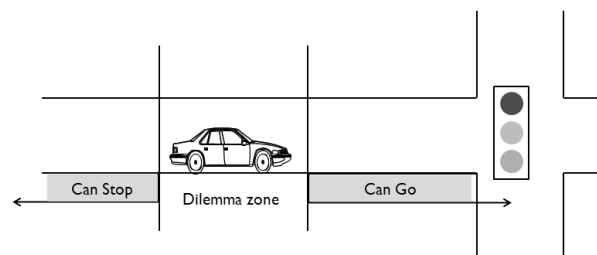
본 논문의 첫째 장은 연구배경과 연구목적을 설명하였고, 둘째 장은 딜레마구간과 정보 제공 서비스들의 관련연구를

살펴보며, 셋째 장에서 본 연구에서 제시하는 “신호교차로에서의 딜레마구간 의사결정 지원 서비스”에 대하여 상세히 설명한다. 넷째 장에서는 에뮬레이터 구현과정과 실험환경에 대하여 기술 하고, 마지막 장에서 결론 맺는다.

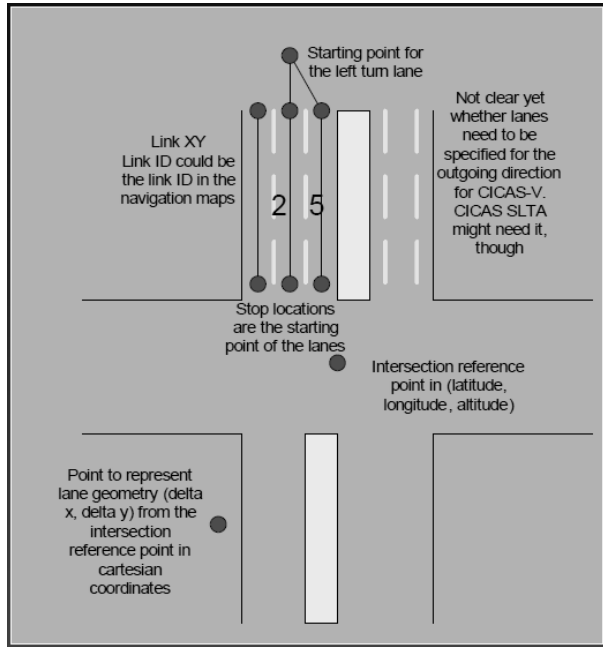
## II. 관련연구

### 1. 딜레마구간

딜레마구간은 신호교차로에서 운전자가 교차로를 통과할 것인지 정지할 것인지 판단하기 어려운 구간을 말하며, 기본 개념도는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 딜레마구간 개념도



<그림 2> GDI(Geometry Intersection Description)

이러한 딜레마구간을 결정짓는 요소로써 차량의 정지 율을 들 수 있다. 정지 율은 교차로로 진입하는 운전자가 황색신호를 보고 교차로 정지선에 정지, 혹은 교차로를 통과할 확률을 나타내는 것으로, 일반적으로 정지 율에 대한 모델로 Log-linear Model을 제시하고 있다. ITE에서는 정지 율의 10%의 운전자가 정지하는 지점과 90%의 운전자가 정지 하는 지점 사이를 딜레마구간으로 보고 있다. 본 논문에서는 차량의 속도 및 교통신호정보(현시정보), 교차로의 형태정보(정지선의 위치, 교차로 폭)를 이용하여 운전자에게 실시간으로 위험정보를 제공한다. 교통신호정보는 교차로의 신호제어기로부터 그 정보를 알 수 있으며, 교차로 형태정보는 <그림 2>와 같이 미국의 지능형자동차 개발 IntelliDrive 프로젝트에서 발표된 자료 중 GID(Geometry Intersection Description)를 참고 한다[1].

## 2. DSRC를 이용한 교통정보 시스템<sup>[2]</sup>

DSRC를 활용한 교통정보시스템은 효율적인 이음새 없는 (seamless) 교통정보 생성을 위하여 적정 설치간격으로 설치된 노변기지국을 통과 시 차량단말기로부터 차량의 구간속도, 교통량 등의 데이터를 수집, 가공하고 이를 차량단말기를 통해 신속하게 교통소통, 교통통제, 돌발 상황 등의 정보를 제

공한다[1]. 이 시스템은 운전자에게 교통정보를 제공하지만 차량안전에 관한 서비스들은 제공하지 않는다.

## 3. 신호교차로 내 딜레마구간 차내 경고 시스템<sup>[3]</sup>

도심지역 교통사고의 상당부분을 차지하고 있는 교차로 내 추돌사고를 줄이기 위한 방안으로 운전자가 황색신호의 등화 시간동안 교차로의 진입여부를 판단하기 어려운 구간(딜레마구간)에서 운전자가 의사 결정을 안전하게 할 수 있도록 신호변경 경고를 DSRC 체계를 통해 실시간으로 미리 알려주는 시스템이다. 이 시스템은 GPS정보를 사용하지 않는 대신 사전조사에 의해 노변장치의 설치 위치를 정의하며, 차량이 노변장치의 통신범위에 들어 왔을 때의 차량 속도와 녹색신호의 잔여시간을 이용하여 경고 시간을 계산한다. 이 시스템은 차량이 노변장치의 통신영역에 진입했을 때의 정보로만 계산되어지기 때문에, 차량이 계속 교차로에 접근하는 동안 발생할 수 있는 차량변화에 대한 정보는 계산할 수 없다. 이에 본 논문에서 제공하는 딜레마구간 의사 결정 지원 서비스는 차량이 교차로의 정지선 전에 정지하거나 교차로를 통과하는 시점까지 차량의 상태에 따라 교차로 통과여부에 대한 의사 결정 정보를 주기적으로 갱신하게 한다.

## 4. DSRC 시스템을 이용한 교차로 사전경보 알고리즘<sup>[4]</sup>

DSRC기술을 통해 차량(OBE)과 노변(RSE)간의 데이터를 전송하며, OBE가 차량의 속도정보와 거리정보를 RSE로 전송하면, RSE가 신호제어기로부터 받은 교통신호 정보와 비교하여 교차로 진입여부를 판단하여 OBE로 전송하는 시스템이다. 이 시스템은 RSE가 OBE의 진입여부를 판단함으로써 교차로에 하나의 RSE가 존재하고 다수의 OBE가 교차로로 진입하는 경우 모든OBE의 교차로 진입여부를 RSE가 계산하기에 많은 오버헤드가 소요된다.

## III. 딜레마구간 의사결정 지원 서비스

### 1. 응용 프로토콜

본 논문에서 제안하는 서비스운용을 위해 WAVE 통신방식을 기반으로 하는 응용 프로토콜을 설계 하였다. 이 시스템의 기본 통신체계는 OBU와 RSU 사이에 WAVE를 이용한

<표 1> 응용 프로토콜의 메시지 헤더

서비스	TYPE		from	to	전송주기	통신방법	설명
	Service Type	Unit Type					
딜레마구간 의사결정 지원 서비스	0x04	0x01	RSU	OBU	주기적	무선	교차로 및 교통신호정보 전송

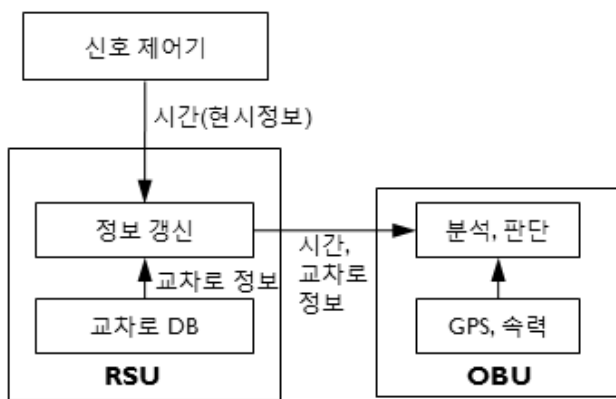
<표 6> 딜레마구간 의사결정 지원 서비스 메시지 포맷

종류	크기 byte	설명
Type	2	각 서비스를 구분하는 Type
Stop Locations	64	정지위치들의 좌표 값
Left Times	12	각 교통신호(Green, Yellow, Red)의 잔여시간
Signal State	1	교통신호의 지시정보
RSU ID	6	RSU의 고유 식별번호

무선 통신을 사용하며, <표 1>과 <표 2>에서 나타내는 메시지 구조를 사용한다. <표 1>에서는 나타내는 메시지 헤더는 응용 프로토콜을 사용하는 서비스와 서비스에 사용되어지는 유닛을 구분하기 위해 추가되었고, 이는 차후에 더 많은 서비스들을 제공하기 위해서 이다. <표 2>는 딜레마구간 의사결정 지원 서비스 메시지 포맷을 나타낸다.

## 2. 서비스 구현

딜레마구간 의사 결정 지원 서비스는 차량이 접근중인 교차로의 교통신호정보와 차량의 속도 및 교차로와 차량의 거리에 따라 차량이 정지하거나 속도를 유지할 경우에 차량의 위치를 예측하여 차량이 안전하게 교차로를 통과할 수 있도록 운전자의 의사 결정을 돕는 서비스이다. 이 서비스는 교차로에 설치된 노변장치(RSU)가 교차로 정보와 신호정보를 주기적으로 브로드캐스트하며, 차량 내 장치(OBU)는 RSU로부터 받은 교차로 정보와 신호정보를 이용하여 교차로 통과여부와 차량이 평균 감속도로 정지할 경우의 예상위치 및 현재 속도를 유지하며 계속 주행할 경우 교통신호가 다음 신호로 변경되는 시점에 차량이 위치하게 될 위치를 운전자에게 알린다. <그림 3>은 딜레마구간 의사결정 지원 서비스 구성도를 나타낸 것이다.



<그림 3> 서비스 구성도

딜레마구간 의사결정 지원 서비스 같은 경우 전달되어지는 메시지 정보는 교차로와 교통신호에 대한 정보로 이루어져 있으며, 이 정보만으로 운전자가 차량이 교차로를 통과할 수 있는지의 여부를 알 수가 없다. 이에 운전자가 참고할 수 있도록 통과여부를 판단해주는 알고리즘이 필요하며, 본 연구에서는 녹색통과거리, 황색 통과거리, 정지거리, 제동거리, 그

리고 정지선으로부터의 차량까지의 거리의 관계를 통하여 신호교차로 통과여부를 판단한다. 이는 참고문헌 [1]의 식을 참고 하였으며, 연구결과를 요약하면 각각을 구하는 식은 아래와 같다.

녹색통과거리(Clearance Distance Green,  $X_{cg}$ ): 차량이 녹색신호에서 황색신호로 변경되기 전까지 차량이 이동한 거리로 차량으로부터 정지선까지의 거리와 비교하여 차량이 완전히 교차로에 진입함을 계산하기 위해 차량의 길이를 포함하며, 다음과 같이 표현된다.

$$X_{cg} = v \times T_{RA} - L \quad (1)$$

$L$  : 차량의 길이(m)

$v$  : 차량의 속도

$T_{RA}$  : 녹색등 잔류시간(sec)

황색통과거리(Clearance Distance Yellow,  $X_{cy}$ ): 차량이 적색신호로 변경되기 전까지 차량이 이동한 거리로 차량이 완전히 교차로를 빠져나감을 계산하기위해 교차로의 폭(정지선부터 교차로종단까지의 거리)과 차량의 길이를 포함하며, 다음과 같다.

$$W_I = distance(L_{stop}, L_{terminal}) \quad (2)$$

$$X_{cy} = v \times (T_{RA} + y) - (W_I + L) \quad (3)$$

$W_I$  : 교차로의 폭(m)

$L_{stop}$  : 정지선의 위치

$L_{terminal}$  : 교차로종단의 위치

$y$  : 황색등 잔류시간(sec)

정지거리(Stopping Distance,  $X_s$ ): 차량이 교차로를 진입한 속도와 ITE에서 제시한 정지감속도  $3.05m/s^2$ 와 운전자의 인지반응시간을 고려하여 차량이 안전하게 정지할 때까지 진행한 거리 계산식으로 다음과 같다.

$$X_s = t_{PRT} \times v + \frac{v^2}{2(d + G \cdot g)} \quad (4)$$

$t_{PRT}$  : 인지반응시간(sec)

$d$  : 정지감속도( $3.05m/s^2$ )

$G$  : 종단구배(%) \*평탄지

$g$  : 중력가속도

제동거리( $X_b$ ): 운전자가 급히 제동을 가하고 차량이 완전히 정지할 때까지의 진행한 거리계산 식으로 다음과 같다.

$$X_b = t_{PRT} \times v + \frac{v^2}{2\mu g} \quad (5)$$

여기서  $\mu$  는 건조한 도로 상태에서 평균적인 값0.8을 사용한다.

정지선과 차량사이의 거리( $X$ ): 교차로 정지선으로부터 차량까지의 거리로 RSU로부터 받은 교차로정보 중 교차로의 정지선(Stop Location)정보를 사용하며, 다음과 같이 표현한

```

if  $X_{cg} > X$  then
  Go.
else if  $X_s > X$  then
  if  $X_{cy} > X$  then
    Go.
  else if  $X_b < X$  then
    Stop.
  else
    Accelerate
else
  Stop.

```

<그림 4> 교차로통과여부 판단 알고리즘

다.

$$X = \text{distance}(L_{car}, L_{stop}) \quad (6)$$

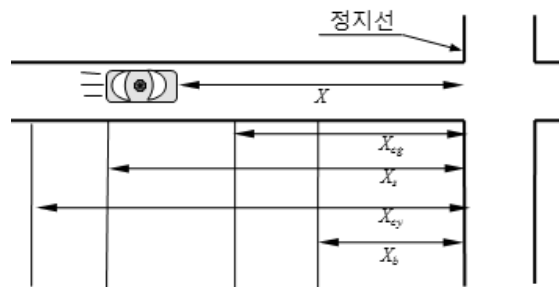
$L_{car}$  : 차량의 위치

위의 식을 통해 신호교차로의 통과 여부를 판단하기 위해서는 먼저, 정지선과 차량사이의 거리가 녹색통과거리보다 작다면 즉,  $X_{cg} > X$ 는 녹색잔여시간 동안에 차량이 교차로를 통과할 수 있다는 것임으로 통과판정을 하고, 그렇지 않은 경우, 정지선과 차량사이의 거리가 정지거리보다 클 경우 즉,  $X_s < X$ 는 녹색잔여시간 동안 교차로를 통과할 수 없지만, 평균 감속도로 정지선 내에 정지할 수 있는 것임으로 정지판정을 한다. 정지선과 차량과의 거리가 녹색통과거리보다 크면서, 정지거리보다 작은 경우 즉,  $X_{cg} < X < X_s$ 는 정지선과 차량사이의 거리가 황색 통과거리보다 작을 때 즉,  $X_{cy} > X$ 에 교차로신호가 적색신호로 변경되기 전에 차량이 교차로를 빠져나갈 수 있다는 것임으로 통과 판정하고, 그렇지 않다면, 정지선과 차량사이의 거리와 제동거리를 비교하여 정지선과 차량사이의 거리가 제동거리보다 큰 경우 즉,  $X_b < X$ 는 평균 감속도로 정지선 내에 정지할 수 없지만, 제동을 가할 경우 정지선 내에 정지할 수 있음으로 정지를 판정하고, 정지선과 차량사이의 거리가 제동거리보다도 작다면 즉,  $X_b > X$ 는 운전자가 제동을 가하여도 교차로 내에 남게 됨으로 교차로를 통과할 수 있도록 가속 판정을 한다. <그림 4>은 이에 대한 알고리즘을 나타낸다.

정지거리와 제동거리는 차량의 속도변화에 따라 그 거리 값이 동일한 비율로 변경되며, 녹색 통과거리는 차량의 속도와 녹색잔여시간에 따라 그 거리 값이 변경되고, 황색 통과거리는 차량의 속도와 황색잔여시간에 따라 그 거리 값이 변경된다. 녹색 통과거리와 황색 통과거리 또한 녹색잔여시간이 0보다 클 때 동일한 비율로 변경된다. 차량은 RSU로부터 신호정보를 받기 시작한 시점부터 위에서 제시한 알고리즘을 적용하며 차량이 교차로를 통과할 때까지 계속 갱신한다. <그림 5>는 교차로통과 판단을 위한 개념도이다.

### 3. 에뮬레이터

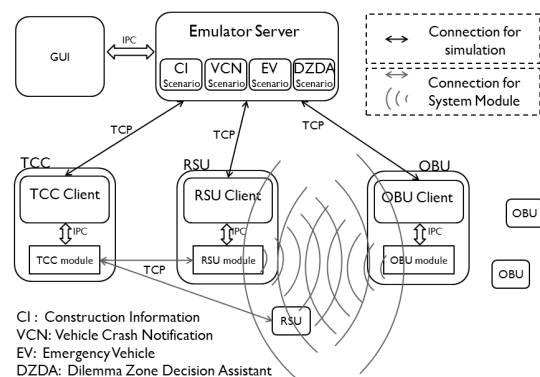
본 논문에서 제시하고 설계한 응용 프로토콜이 적용되



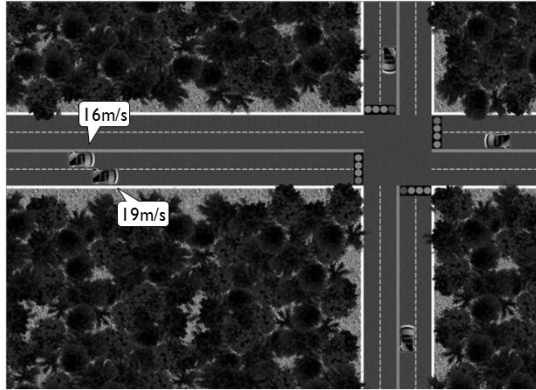
<그림 5> 교차로통과 판단 개념도

어 차량에 영향을 주는 모습을 보기 위해 현실과 같은 상황을 대변해주기 위한 에뮬레이터가 필요하다. 에뮬레이터는 본 논문에서 제시하는 다섯 가지 서비스들을 실험할 수 있도록 구성된다. 에뮬레이터의 역할로는 차량이 지속적으로 이동하는 에뮬레이션과 차량의 이동에 따른 위치와 속도 등의 정보를 갱신 하며, 차량이 발생할 수 있는 돌발 및 요구 사항을 이벤트로 관리할 수 있어야한다. <그림 6>과 같이 에뮬레이터는 각각의 서비스에 해당하는 시나리오 및 차량정보를 관리하는 에뮬레이터 서버와 에뮬레이터로부터 이벤트를 전달받는 TCC 클라이언트와 RSU 클라이언트, OBU 클라이언트로 구성된다.

에뮬레이터 서버는 텔레마구간 의사결정 지원 서비스에 해당하는 시나리오를 정의하고 시나리오가 수행될 때 OBU 클라이언트와 RSU 클라이언트, TCC 클라이언트의 접속을 확인하면 정해진 시나리오의 시간에 따라 이벤트 명령을 보낸다. 시나리오는 Windows Presentation Foundation(WPF)를 이용하여 XML형식으로 작성되며, 사용자는 GUI를 통해서 시나리오에 따라 OBU와 RSU, 또는 OBU와 OBU가 통신하는 모습을 볼 수 있다. 에뮬레이터 서버에서 전개 되는 시나리오에 차량의 정보와 이벤트 타이밍이 정해져있기 때문에 에뮬레이터 서버는 각각의 클라이언트들에게 차량 정보 및 이벤트를 전달한다. 이는 OBU 클라이언트 및 RSU 클라이언트, TCC 클라이언트가 차량의 정보 및 교차로정보 등을 수집하는 인터페이스만 가지고 있으므로 에뮬레이션 상황에서 모든 데이터를 가지고 있는 서버로부터 차량정보 및 각종 이벤트를 제공 받아야한다. 차후에 에뮬레이션이 아닌 현실에서 실험할 경우에는 각각의 모듈들로부터 클라이언트의 인터



<그림 6> 에뮬레이터 구성도



(a) Display of Emulator Server



(b) Display of Vehicle

〈그림 14〉 딜레마구간 의사결정 지원 서비스 실행 화면  
(Fig. 14) Dilemma Zone Decision Assistant Service practice

페이스를 통해 데이터를 제공받을 수 있다.

<그림 7>의 (a)는 교차로에 위치한 노변장치와 차량 간의 통신으로 차량이 노변장치로부터 교차로정보 및 교통 신호정보를 받기 시작한 시점에서 교차로에 접근하는 시점까지 4장에서 설명한 알고리즘을 이용하여 운전자에게 교차로 진입 결정여부를 제공한다. <그림 7>의 (b)는 교차로에 진입하는 차량 내 디스플레이 장치에 표시되는 정보이며, 교차로 진입 판단여부 및 현재신호의 잔여시간, 교차로까지의 거리를 포함 한다. (a)에서 16 m/s로 달리는 차량은 알고리즘에 의하여 운전자에게 정지할 것을 경고하며, 19 m/s로 달리는 차량에게는 교차로를 통과할 것을 운전자에게 알린다.

## IV. 결론

본 논문에서는 차량과 노변, 교통 센터의 연계체계를 통해 차량안전을 위한 다양한 서비스들을 제공하는데 목적이 있다. 이를 위해 WAVE를 기반으로 하여 응용프로토콜을 설계하고, 차량과 노변, 교통 센터 간에 차량정보와 교차로 정보, 도로상황 정보 등을 교환하는 작업을 통해 각 기능 개체(OBU, RSU, TCC)들이 정보를 가공하여 각각의 서비스들을 제공하도록 한다. 본 연구에서는 다섯 종류의 서비스들로 공사구간 정보 서비스와 사고 차량 알림서비스, 응급차량 알림서비스, 프로브 서비스, 딜레마구간 의사결정 지원서비스를 제공하였고, 향후 제시한 응용프로토콜을 이용하여 더 많은 서비스들을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

그에 더하여 본 연구에서 서비스를 검증하기 위해 설계한

에뮬레이터는 응용프로토콜을 별도의 모듈로 관리 하고 있기에 다양한 응용프로토콜과 서비스들을 실험할 수 있다. 이로 인해 ITS서비스를 개발하고, 실험하는 데에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

한국과학재단 특정기초연구[R01-2008-000-12233-0] 지원 사업의 일환으로 수행하였음.

## 참고문헌

- [1]. Michael Maile, "Cooperative Systems for Intersection Crash Avoidance", *MBRD*, January 2008.
- [2]. 최경원, 윤동원, 박상규, 김동현, 최광주, "DSRC 시스템을 응용한 교차로 사전경보 알고리즘", *ITS학술대회 논문집*, pp. 110~113, 2005
- [3]. 권한준, 이재준, 이승환, 이진권, 김용득 "DSRC를 이용한 교통정보시스템 개발 연구" *한국ITS학회논문지*, 제8권, 제6호, pp. 13~22, 2009. 12.
- [4]. 문영준, 이주일, "신호교차로 내 딜레마구간 차내경고 시스템 개발", *ITS학회논문지*, 제2권, 제1호, pp. 54~62, 2003.6.