

# 신호교차로 내 딜레마구간 차내경고시스템 개발

## In-vehicle Dilemma Zone Warning System at Signalized Intersections

문 영 준

(교통개발연구원, 책임연구원)

이 주 일

(교통개발연구원, 연구원)

### 목 차

I. 서론	IV. 진입속도에 따른 딜레마구간 설정 및 경고체계 알고리즘 개발
1. 연구개발 목표	V. 시스템 사양 및 시제품 제작
2. 연구개발 주요내용	VI. 현장 테스트
II. 국내·외 기술동향	VII. 결론
1. 국내기술동향	참고문헌
2. 국외기술동향	
III. 최적 통신시스템 설계	

## I. 서 론

신호교차로에 일정 속도로 진입하는 차량이 신호변경 시 황색시간 주기 동안 진입 혹은 정지의 의사결정을 안전하게 내릴 수 없는 구간에 위치할 때 그 구간을 딜레마구간이라고 정의하며, 이때 운전자의 의사결정에 따라 충돌 혹은 추돌사고의 발생가능성이 상시 존재하게 된다.

신호변경 시 딜레마구간에 위치하게 될 차량에 신호변경 정보를 통신시스템을 통해 사전에 경고함으로써 운전자로 하여금 의사결정을 안전하게 내릴 수 있도록 하여 사고 가능성을 줄일 수 있는 차내경고시스템을 개발하는 것이 필요하다.

### 1. 연구개발 목표

신호제어기의 신호변경 정보를 단거리전용통신 DSRC(Dedicated-Short Range Communication) 체계를 통해 실시간으로 사전에 차량 내 운전자에게 신호변경 경고를 미리 내려주어 의사 결정을 안전하게 할 수 있도록 하는 차내경고시스템 개발에 목표를 두고 있다.

### 2. 연구개발 주요 내용

신호교차로 내 딜레마구간 차내경고시스템 개발은 아래와 같이 5개 분야로 구분되어 수행하였다.

- ① 신호교차로 진입차량의 운전자 행태(순응도, 진입속도, 가감속, 차로변경, 차두간격, PRT 등)를 조사하여 통계적으로 분석함
- ② 신호제어기와 차내경고장치와의 최적 통신시스템을 설계 개발하여 제시함
- ③ 진입속도에 따른 딜레마구간 설정 및 경고체계 알고리즘을 개발하여 제시함
- ④ 모든 가능한 상황(Scenario)을 설정하고 시뮬레이션 모델을 구축하여 모의실험을 실시하고 그 결과를 제시함
- ⑤ 차내경고장치(경고음 및 LCD 디스플레이)를 개발, 시제품을 제작하여 현장 테스트함

## II. 국내·외 관련기술 동향

### 1. 국내 기술동향

1999년 건설교통부 주관의 「ITS연구개발사업(II)」의 과제로 수행된 “도로와 차량간 RF통신을 이용한 속도제한 경보시스템 기술” 개발을 통해 단거리전용 무선통신시스템(DSRC)을 활용한 차내경보장치가 개발되어 도로상에서 과속을 경고함으로써 사고를 방지하는 기술이 확보되었지만, 그 외 안전운전지원을 위한 사고예방시스템에 대한 연구는 아직 본격적으로 이루어지지 않고 있다.

## 2. 국외 기술동향

### (1) 미국

차량 내 충돌예방시스템(In-vehicle Collision Avoidance System)으로 전방차량충돌경고시스템(Foward Vehicle Collision Warning System: FVCWS), 측방장애물경고시스템(Side Obstacle Warning System: SOWS), 차선이탈경고시스템(Lane Departure Warning System: LDWS) 등의 연구개발을 주도하여 현재 시험 중에 있으며, 이를 표준문서로 작성하여 국제 표준으로 상정하고 있다.

### (2) 일본

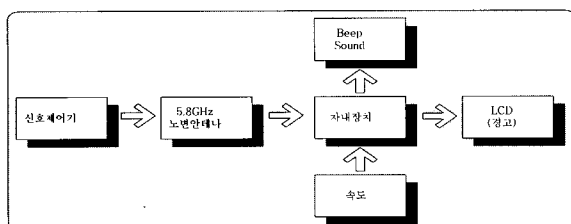
1980년대 말부터 1990년대에 걸쳐 도로와 차량의 일체화에 의한 도로교통의 첨단화에 관한 전체 개념을 구축한 ARTS(Advanced Road Transportation System; 차세대 도로교통시스템), 자동차 교통시스템의 지능화를 목표로 한 SSVS(Super Smart Vehicle System; 지능화 자동차 교통시스템), 도로교통의 종합교통관리를 목표로 한 UTMS(Universal Traffic Management System; 신호통관리시스템) 등의 프로젝트를 진행해 오고 있다.

### (3) 유럽

유럽 8개국 중 12개의 단체에 의해 구성된 MASTER (Managing Speed of Traffic on European Road) 연구기관 중 가장 활발히 추진되고 있는 지능형속도적응시스템(Intelligent Speed Adaptation; ISA)은 현재 개발완료 단계에 있으며, ISA는 차량에 무선데이터 통신을 이용하여 도로의 주행여건(제한속도, 전방상황, 노면상태, 기후, 커브진입구간, 사고다발구간 등)에 따라 경고 또는 차량속도를 자동제어 하도록 함으로써 교통사고 감소 등의 안정성을 향상시키고자 하는 시스템이다.

## III. 최적 통신시스템 설계

신호제어기와 차내 경고장치와의 통신시스템 구축에 있어서 정보의 흐름은 아래 [그림 1]과 같다.



〈그림 1〉 전체시스템 구성도

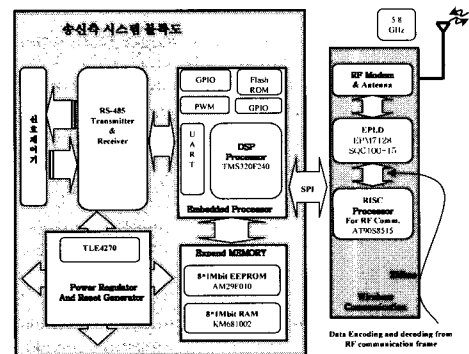
## 1. 신호제어기와 노변안테나간 통신

신호제어기 주제어부에서 녹색잔여 시간 신호를 노변안테나로 보내며 노변안테나에서는 입력된 신호를 주 제어부에 보내게 된다.

### ○ 신호제어기와 노변안테나간 프로토콜

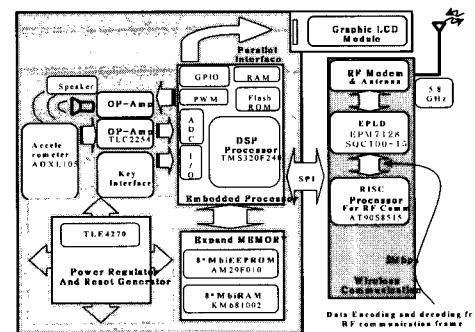
- 접속 : RS-485 Async. 방식 (Multi-drop/2Wire/Half Duplex)
- 속도 : 9,600kbps
- 데이터 형식 : 1Stop, 8Data, No Parity
- 데이터 전송 : 100msec 주기로 신호전송 및 응답

## 2. 노변안테나와 차량간 통신



〈그림 2〉 노변안테나 시스템 H/W 구성도

## 3. 차량 내 통신



〈그림 3〉 차량내 시스템 H/W 구성도

## IV. 진입속도에 따른 딜레마구간 설정 및 경고체계 알고리즘 개발

### 1. 진입속도에 따른 경고체계 알고리즘 개발

○ 안전결정위치(Safe Decision Location,  $X_{safe}$ )

$$X_{safe} = v_{max} \cdot (t_{PRT} + t_{cmd}) + \frac{v^2}{2 \cdot d}$$

여기서,

- $X_{safe}$  : 정지안전거리 (m)
- $v_{max}$  : 교차로 접근 최대 속도 (m/s)
- $t_{comd}$  : 통신 지연 시간 (초)

○ 노변안테나의 위치 결정 (Determination of Road-side Antenna Location,  $X_{RA}$ )

$$X_{RA} = v_{max} \cdot (t_{PRT} + t_{comd}) + \left(\frac{v^2}{2 \cdot d}\right)$$

$$= X_{safe} + (v_{max} \cdot t_{comd})$$

만일, 신호제어기와 차내장치간 통신지연시간이 발생하지 않는다면, 노변안테나 위치는 안전결정위치와 같은 지점이다.

통신전달 과정에서의 지연시간을 공식화하면 다음과 같다.

$$t_{comd} = t_{SC} + t_{SC-RA} + t_{RA-ID} + t_{ID}$$

○ 초기경고시간 결정 (Determination of Warning Initiation Time,  $T_{init}$ )

$$T_{init} = \frac{(X_{RA} - X_{stopbase})}{v_{base}}$$

○ 차내경고표시 장치 (In-Vehicle Visual Display Warning,  $t_{visual}$ )

$$t_{visual} = \frac{X_{RA}}{v}$$

○ 차내경고장치 경고음 표출시간 (In-vehicle Audible Signal Warning)

- 차내경고장치 활성화 시간 ( $T_{ID}$ )

$$T_{ID} = \frac{X_{RA}}{v} - y_{curnt}$$

- 지연경고시간 ( $t_{delay}$ )

$$t_{delay} = \frac{(X_{RA} - X_{stop})}{v}$$

- 차내경고장치 종료시간 ( $T_{DZ}$ )

$$W_{DZ} = X_{stop} - (y_{curnt} \cdot v)$$

$$t_{DZ} = \frac{W_{DZ}}{v}$$

$$T_{DZ} = T_{ID} - t_{DZ}$$

## 2. 현장적용 알고리즘

신호교차로 내 차내경고시스템 개발을 위한 알고리즘은 위에서 제시하였으며, 신호교차로에 접근하는 차량 속도군에 따라 적용되는 일반적인 알고리즘은 다음과 같다.

- 시각신호 활성화 :  $T_{RA}$  (황색시간 이전),

$$0 < T_{RA} < T_{init}$$

- 시각신호 표출시간 :  $t_{visual} = \frac{X_{RA}}{v}$

- 차내 경고음 활성화 조건 :

$$T_{DZ} < T_{RA} < T_{ID}$$

- 지연경고 시간 :

$$t_{delay} = \frac{(X_{RA} - X_{stop})}{v}$$

- 알고리즘

- If,  $T_{init} < T_{RA}$  : No signal
- If,  $T_{DZ} \leq T_{RA} \leq T_{ID}$  : Visual signal and Beeper
- If,  $0 \leq T_{RA} < T_{DZ}$  : Visual signal but No Beeper
- If,  $T_{RA} < 0$  : No signal

## V. 시스템 사양 및 시제품 제작

### 1. 능동형(Active) DSRC 5.8GHz 적용

능동형 DSRC는 ITS의 구축 및 확장을 위한 첨단 기술이며 도로변에 설치된 소형기지국과 차량탑재장치 간에 5.8GHz 대역의 전송속도 1Mbps로 양방향데이터 통신을 하는 시스템이다.

〈표 1〉 5.8GHz RF 모듈 사양

구분	특성
송수신 주파수	5.8GHz~5.92GHz
변복조 방식	ASK(Amplitude Shift Keying)
채널 대역폭	10MHz
통신방식	TDD(Time Division Duplex)
데이터 전송속도	1.024Mbps
유효통신거리	30~100m
송신출력	10mW
수신범위	-90dBm~-35dBm
공급전원/전류	5V / 200mA
크기	7.2×5.1×1.8(cm)

### 2. 안테나(Antenna)

안테나는 지향성 및 방향성을 고려하여 상·하, 좌·우 조정이 가능하고, 기존 구조물(가로등, 전신주)에도 장착할 수 있도록 하였다.

(표 2) 안테나(5.8GHz) 사양

구분	송신	수신
송수신 주파수	5.8GHz~5.9GHz	5.8GHz~5.9GHz
대역폭	100MHz	100MHz
정재파비	≤ 1.5	≤ 1.5
이득	12dBd	2.5dBd
수평편파각	15°± 3°	-
수직편파각	33°± 3°	30°± 3°
전후방 전력비	30dB	-
임피던스	50ohm	50ohm
입력단자	SMA-Male	SMA-Male
크기(W×D×H,mm)	99.2×34.2×191	60×60×150

### 3. 차내경고장치(On-board Equipment)

차량내 수신 장치는 노변 DSRC 송수신장치로부터 수신된 신호변경 데이터와 진입하는 차량의 속도를 비교하여 운전자에게 신호변경 메시지를 LCD 그래픽 모듈과 경고음을 통해 알려주는 기능을 한다.

## VI. 현장 테스트

### 1. 실험방법

노변안테나와 차량간 통신시스템의 재연성 시험을 위해 차량의 속도별, 기상별로 단말기를 설치한 연구진 차량을 주행하면서 신호제어기와 노변안테나간 송수신 여부 및 노변안테나와 단말기간 송수신 여부, 차내단말기 표출상태를 측정하였다.

### 2. 현장실험 평가

#### 1) 평가항목

실험의 효과적도는 시스템간 인터페이스와 노변안테나 통과 시 알고리즘에 의한 정보표출의 정확성이라 할 수 있다.

실험을 위한 평가항목은 아래와 같다.

- 시스템 인터페이스 확인 실험
- 딜레마구간 차내경고 알고리즘 표출확인 실험

#### 2) 현장 실험평가 결과

시스템간 인터페이스 실험 평가는 신호제어기로부터 전송된 직진 신호의 잔여 초 수 전송이 정상적으로 이루어졌으며, 주행차량의 속도를 달리하면서 수신시험 결과 95%의 수신율을 보였다.

알고리즘에 의한 차내단말기 표출 상태는 알고리즘에 구현된 조건에 따라 차량의 속도범위를 달리 하면서 노변안테나를 통과 시 녹색잔여시간 초 수에 따라 경고음과 LCD 그래픽 표출이 정상적으로 표출되었다.

## VII. 결 론

신호교차로 내 딜레마구간 차내경고시스템 개발은 5개 분야로 구분 진행되어 전체적으로 성공적인 결과를 얻었다.

본 연구는 특히 단거리전용무선통신(DSRC)이 ITS의 안전분야에 활용된 최초의 연구로써 향후 첨단차량 및 도로분야(AVHS) 서비스 구현을 위한 시급성이 될 것으로 평가되었다.

본 시스템이 향후 상용화되고 국제표준화가 추진될 경우 선진국에서 제품화되고 있는 안전운전지원시스템과 함께 국제적 경쟁력을 확보하게 되며 신호교차로에서 발생하는 충돌 및 추돌사고를 예방함으로써 인명, 재산 및 물류비 감소에 따른 국가 경쟁력의 막대한 효과가 예상된다.

## 참고문헌

1. 교통개발연구원·대한교통학회, "ITS 기본계획 수정·보완 및 ITS 사업비용/효과분석 모형개발과 검증," 1999.12
2. 오동섭, "운전자 행태 도출을 위한 신호교차로 황색 신호시 인지반응시간 연구", 아주대학교 석사학위논문, 2001.2
3. 건설교통부, "도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침", 2000
4. 한국도로공사, "지능형교통시스템(ITS) 연구개발사업", 핵심요소기술분야, 1999
5. 한국정보통신기술협회, "5.8GHz대역 노변기지국과 차량단말기간 단거리무선통신표준"
6. 한국전산원, "ITS 자동요금징수시스템 기본모델 개발을 위한 연구", 1998
7. Young J.Moon, "Speed estimation measurement error analysis", Technical-report, Department of Civil Engineering University of Illinois, 1998
8. FHWA, "Engineering Factors Affecting Traffic Signal Yellow Time -Data Collection Manual-," Report No. FHWA/RD-85/055