

# 단거리 전용 무선 통신 기반의 WISDOM 동적 딜레마 경고 시스템

## Dynamic Dilemma Warning System of WISDOM Based on DSRC

정성대\*      박순용\*\*      이상선\*\*\*      김종복\*\*\*      문영준\*\*\*\*  
(Sung-Dae Jung)      (Soon-Yong Park)      (Sang-Sun Lee)      (Jong-Bok Kim)      (Young-Jun Moon)

### 요약

교통 분야와 IT 분야의 접목은 기반시설 투자를 통해 해결하려했던 사회적 경제적 문제를 해결하는 새로운 해결책으로 떠오르게 되었고 지능형 교통 시스템 및 텔레매틱스와 같은 새로운 산업을 창출하였다. 특히, 지능형 교통 시스템 및 텔레매틱스 기술 분야 중 차량 통신 분야는 중요 부분으로 인식 되고 있으며, 최근 단거리 전용 무선 통신 기술은 국내 지능형 교통 시스템 산업 분야에서 중요한 기술 분야로 인식되고 있다. 단거리 전용 무선 통신은 자동요금징수(ETCS) 시스템을 통해 운전자용 단말기 보급이 활발히 진행 되고 있다. 교통 신호 제어 분야에서도 이 기반 시설을 활용한 양질의 실시간 정보를 활용하여 최적의 교통 신호 제어 시스템을 구현하려는 연구가 활발히 진행 되고 있으며 WISDOM의 연구개발이 성공적으로 마무리 되어졌다. 본 논문에서는 연구 개발된 개별 차량 기반의 신호제어 시스템 WISDOM을 활용하여 교차로 안전 지원 동적 딜레마 경고 서비스를 개발 하고 현장 실험을 통하여 신뢰성과 실용성을 평가 하였다. 제안된 동적 딜레마 경고 시스템은 교차로에서 WISDOM에 의해 최적화된 동적 교차로 신호에 대한 정보를 방송하고 이를 수신한 차량 단말기는 자신의 위치와 속도를 바탕으로 딜레마 영역을 만들고 운전자에게 경고 하도록 하였다.

### Abstract

Integrating a field of transportation and IT is becoming a novel solution to social and economic problems which was previously focused on the investment in infrastructures. It also created new areas of industry such as ITS and telematics. Especially, vehicle communication is being considered very important and DSRC is also important in the field of national ITS in recent. DSRC OBE has come into wide use through ETCS. In the field of traffic signal control, the research to implement an optimal traffic signal control system using a real-time information of good quality is being carried out and also the study of WISDOM was successfully completed. This paper shows the development of Dynamic-Dilemma zone warning service utilizing WISDOM and the evaluation of a reliability and a practicality through the field test. While the proposed Dynamic-Dilemma warning system transmits an information of signal time optimized by WISDOM, the OBE which receives this information makes dilemma zone based on its location and speed and gives warning to a driver.

**Key words:** Dilemma warning, WISDOM, DSRC, ITS, telematics

† 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (ITA-2008-C1090-0801- 0040)

\* 주저자 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 박사과정

\*\* 공저자 : 단국대학교 토목공학과 박사과정

\*\*\* 공저자 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 교수(교신저자)

\*\*\*\* 공저자 : 세인시스템(주) 대표 이사

\*\*\*\*\* 공저자 : 한국교통연구원 연구위원

† 논문접수일 : 2009년 2월 20일

† 논문심사일 : 2009년 3월 23일

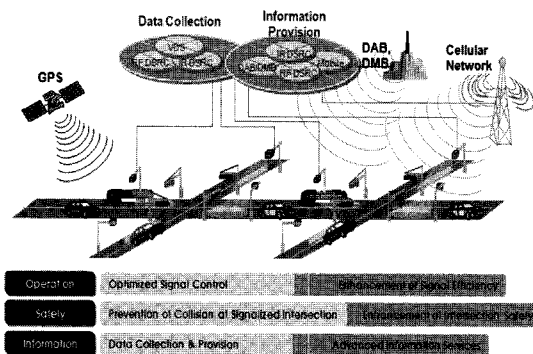
† 게재확정일 : 2009년 3월 24일

## I. 서론

교통 분야와 IT 분야의 접목은 기반시설 투자를 통해 해결하려했던 사회적 경제적 문제를 해결하는 새로운 해결책으로 떠오르게 되었고 지능형 교통 시스템 및 텔레매틱스와 같은 새로운 산업을 창출하였다. 교통 신호 제어 분야에서도 지능형 교통 시스템 및 텔레매틱스 기술을 기반으로 한 양질의 실시간 정보를 활용하여 최적의 교통 신호 제어 시스템을 구현하려는 연구가 국내외적으로 활발히 진행되고 있다. 특히 국내에서는 국토해양부가 지원 하는 국가교통기술개발 프로젝트 중의 하나인 WISDOM (Wireless Interface Signal Control System for Dynamic and Optimal)의 연구개발이 성공적으로 마무리 되었다. WISDOM은 신호제어기, 차량, 개별 차량 정보 수집 시스템간의 실시간 정보를 바탕으로 교차로에서의 큐잉과 지연을 최적화하는 동적인 신호 전략을 제시한다. 개별 차량 정보를 수집하기 위한 무선 통신 기술은 자동 요금 징수 시스템을 통해 운전자용 단말기 보급이 활발히 진행되어진 단거리 전용 무선 통신 기술을 활용 하였다 [1, 2].

WISDOM 시스템의 주요 목표는 <그림 1>과 같이 교통 정보 수집 및 제공, 교통 신호 최적화, 교차로 안전 서비스를 포함하고 있다 [3].

본 논문에서는 세 가지 목표 중 수집 된 개별 차량 정보와 산출된 신호 주기를 바탕으로 개별 차량의 교차로 안전 주행을 지원하기 위한 시스템을 개



<그림 1> WISDOM의 목표  
<Fig. 1> Concept of WISDOM

발하고 신뢰성 및 실용성을 평가 하였다.

개발 되어진 WISDOM 시스템을 활용한 교차로 안전 지원 동적 딜레마 경고 시스템은 교차로에서 WISDOM에 의해 최적화된 동적 교차로 신호에 대한 정보를 방송하고 이를 수신한 차량 단말기는 자신의 위치와 속도를 바탕으로 딜레마 영역을 만들고 운전자에게 경고 하도록 하여 개별 차량 속도 및 개별 교차로 신호 환경에 최적화된 교차로 주행 안전 지원을 가능 하도록 하였다.

## II. 딜레마 경고 시스템

딜레마 영역은 운전자가 교차로에 접근 중 황색신호가 시작되는 것을 보았지만, 임계 감속도로 정지선에 정지하기가 불가능하며, 계속 진행하더라도 황색시간이내에 교차로를 완전히 통과하지 못하게 되어 운전자가 혼란을 겪게 되는 구간을 의미한다 [4]. 이러한 상황을 겪는 운전자가 교차로를 통과하기 위해 가속을 할 경우에는 대향차량과 충돌사고가 날 수 있으며, 정지하기 위해 감속을 실시할 경우에는 선행차량과 후행차량간의 상반된 의사결정에 의해 추돌사고가 일어날 수도 있다.

### 1. 딜레마 영역의 공간적 범위

Parsonson [5]이 정의한 딜레마 영역의 공간적 범위를 살펴보면 한 접근로의 딜레마 영역 시점은 전체 차량의 90%가 진행하고 10%차량이 정지하는 구간이 되며, 딜레마 영역 종점은 전체 차량의 10%가 진행하고 90%차량이 정지하는 구간으로 정의된다.

다음 <표 1>은 딜레마 영역의 공간적 범위를 FHWA(Federal Highway Administration)와 Parsonson,

<표 1> 딜레마 영역 조사 결과 비교[4]  
<Table 1> Dilemma zone survey comparison

구분	접근속도 (km/h)	딜레마존 하류경계	딜레마존 상류경계
FHWA	72	46m	100m
Parsonson	72	50m	96m
도로교통공단	70.3	45m	80m

<표 2> 접근 속도별 딜레마 영역의 시·종점부[5]  
<Table 2> O/D of dilemma zone area for speed

접근속도 (km/h)	교차로로 부터의 거리(m)	
	정지 가능성(Probability of Stopping)	
	10 %	90 %
56	31	77
64	37	86
72	46	99
80	52	107
89	71	117

도로교통공단에서 조사한 결과를 나타내며, <표 2>는 Parsonson이 정의한 접근속도별 딜레마 영역의 시·종점을 나타낸 것이다.

### 2. 딜레마 영역의 시간적 범위

Parsonson에 의하면 황색 신호 시점에 딜레마 영역 범위 내에서 주행하고 있던 차량들이 주행속도와 상과 없이 90%가 4.5초에서 5.0초 사이에 정지선을 통과하며, 10%는 2.0초에서 2.5초 사이에 정지하는 특성을 나타낸다고 하였다. 또한 도로교통공단의 실험 결과 딜레마영역 내부에 위치하는 차량들의 정지선 통과 시간의 최소값은 황색신호 시작 후 2.1초이며, 최대값은 5.1초로 나타났다.

### 3. 국내 연구

교통안전공단은 지방지역 일반도로상의 독립교차로의 실시간 교통대응제어체계 개발을 위하여 2001년 경기도 광주에 구축된 현장실험 시스템의 시험운영을 통해 실시간 신호제어체계의 효율성 평가 및 제어소프트웨어와 검지기 체계 등의 시스템을 개발하였다. 시스템 운영 효율성 평가는 교통대응제어 기능에 대한 자체기능시험 및 현장운영시험, 그리고 딜레마 영역 감응제어 기능평가운영의 3개 부분을 실시하였다. 그 결과 딜레마 영역을 약 74%이상 소서시킬 수 있었으며, 부도로의 지체에 영향을 거의 미치지 않은 것으로 분석되었다 [6]. 또한 국도 1호선상의

세마대 교차로를 대상으로 도로교통공단에서 유사한 평가가 실시하였으며 그 결과를 확인하였다 [7].

### 3. 국외 연구

미국은 지방부 신호제어를 위해 1960년대 초반부터 루프검지기를 이용한 Area-Detection 방식의 감응식 제어를 시작하였으며, Point-Detection 방식이 개발되면서 두 개의 방식을 혼합한 형태로 신호기를 설치 운영하였다. 그러나 속도가 높은 국도는 감응식 제어가 효과적으로 운영되지 않았으며, 고속주행의 차량 안전성 문제가 대두되어, 1970년대 Multi-Point Detection 방식의 개발과 더불어 딜레마 감응제어를 실시하였다. 검지기 설치 방식중 하나인 SSITE Method는 여섯 개의 검지기를 Parsonson에 의해 정의된 딜레마 영역 상류부 경계 이후까지 설치하여 운영함으로써 저속 뿐만 아니라 고속의 차량을 검지하여 딜레마 감응제어를 실시하였다 [8].

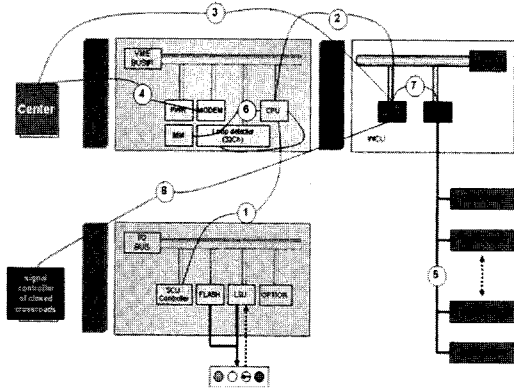
또한 스웨덴의 LHOVRA 신호제어 시스템은 루프검지기를 이용한 딜레마 감응제어 기능을 가지고 있으며, 이는 미국의 Multi-Point Detection 방식과 유사한 방식으로 이루어져 있다 [9].

## III. 동적 딜레마 경고 시스템 개발

### 1. WISDOM 시스템

WISDOM 신호제어시스템은 표준화 신호제어기 기반 위에 최신의 단거리 전용 무선 통신 방식을 적용하여 ID 기반의 차량 검지 기술과 신호제어기법을 개발하고자 <그림 2>와 같은 하부구조로 구성되었다.

WISDOM은 MCU (Main Control Unit), SCU (Signal Control Unit)와 WCU (WISDOM Control Unit)로 구성된다. WCU는 차량 개별정보를 수집하고 제공하기 위해 물리적으로 현장 검지기와 연계하여 통신을 수행하는 SIO 모듈과 신호 제어를 위해 정보를 관리하고 처리하는 HOST로 구성된다. SCU와 MCU는 기존의 교통 신호 제어기의 구성 요소 실질적인



<그림 2> WISDOM의 구조  
<Fig. 2> Structure of WISDOM

신호 제어를 담당하는 부분이다.

기존의 신호 제어기와 WISDOM의 차이점은 HOST의 역할에 있다. HOST는 기존 제어기에서 수행하던 모든 기능을 수행하고 소규모 지역 센터로서의 역할을 수행하기 때문에 독립 교차로나 지역적인 연동 신호 제어의 역할을 수행 할 수 있다 [10].

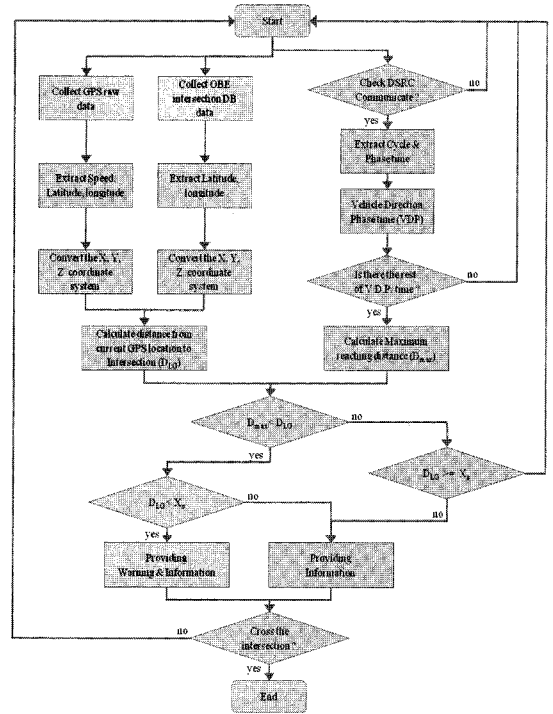
## 2. 동적 딜레마 감응 시스템

동적인 신호 시간을 바탕으로 접근 차량에게 딜레마 서비스를 처리하기 위하여 본 논문에서는 딜레마 상태 결정 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 <그림 3>과 같이 WISDOM을 통해 최적화된 교통 신호 잔여 시간을 단거리 전용 무선 통신을 통하여 개별 차량에게 전송해 줌으로써 개별 차량 단말기는 최대 도달거리( $D_{max}$ )를 현재 위치에서 교차로까지의 거리( $D_{LG}$ )와 비교함으로써 차량이 딜레마 영역에 있다고 추정하고 “경고” 또는 “안전 주행”를 표시한다.

제안된 동적 딜레마 상태 결정 알고리즘은 다음 형식에 따라  $D_{max}$ 와  $D_{LG}$ 사이의 관계를 계산함으로써 적용된다.

### ① If, $D_{max} < D_{LG}$

- Activating Information Frame :  $D_{LG} \geq X_S$
- Activating Dilemma Warning & Information Frame :  $D_{LG} < X_S$



<그림 3> 동적 딜레마 경고 알고리즘  
<Fig. 3> Algorithm of dynamic-dilemma zone warning

### ② If, $D_{max} < D_{LG}$

- Activating Information Frame :  $D_{LG} < X_S$

- No Action :  $D_{LG} \geq X_S$

- $D_{max}$  = maximum reaching distance at the rest of vehicle direction signal time (m)
- $D_{LG}$  = calculating distance from current GPS location to the intersection (m)
- $X_S$  = Stop distance (m)

$$D_{max} = \frac{V_{GPS} \times T_{LC} \times 1000}{3600} (m) \quad (1)$$

$$X_S = V_{GPS} \cdot \tau + \frac{V_{GPS}^2}{2(d + G \cdot g)} (m) \quad (2)$$

$$D_{LG} = \sqrt{(X_{GPS} - X_{INT})^2 + (Y_{GPS} - Y_{INT})^2 + (Z_{GPS} - Z_{INT})^2} (m) \quad (3)$$

- $V_{GPS}$  : current vehicle speed of GPS
- $T_{LC}$  : the rest of vehicle direction signal time from communicated module of DSRC
- $\tau$  : driver's reaction time (sec)

- d : deceleration of vehicle (m/sec<sup>2</sup>)
- G : vertical grade (%)
- g : acceleration of gravity (9.8 m/sec<sup>2</sup>)
- X, Y, Z<sub>GPS</sub> : GPS location converted by X, Y, Z coordinate system
- X, Y, Z<sub>INT.</sub> : Intersection location converted by X, Y, Z coordinate system

<표 3> 평가 시나리오  
<Table 3> Test scenario

시나리오	교통조건	주행조건	측정
Scenario 1	비포화상태	(0~30Km/h)	딜레마 상태 결정 및 시스템 동작 정확도
Scenario 2	비포화상태	(31~60Km/h)	
Scenario 3	비포화상태	(61~90Km/h)	

#### IV. 평가 및 분석

제안된 시스템의 신뢰성 및 실용성을 평가 하기 위한 서비스에 대한 기능적 아키텍처는 <그림 4>와 같이 구성 하였다. 본 구성에서는 100m 이상의 통신 영역을 가지는 단거리 전용 무선 통신 시스템을 활용하여 WISDOM 시스템과 멀티 차량 단말기간의 정보 수집 및 제공에 초점을 맞추었다.

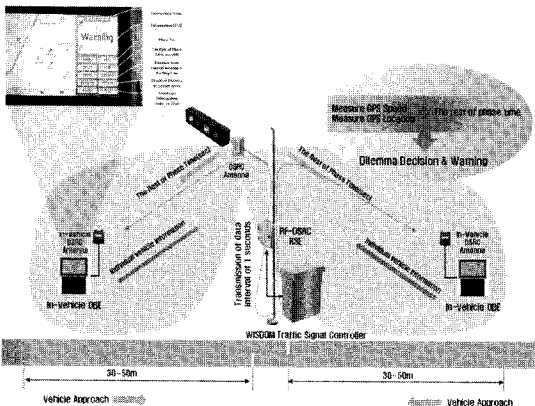
현장 평가는 다양한 속도를 가지는 다차선 환경에서 데이터 수집에 기초하여 시나리오에 따라 2시간씩 평가 하였다. 실질적인 현장 평가의 특성상 동적이 교통흐름을 전제로 WISDOM의 동적 신호 주기를 산출하였으며 이로 인해 딜레마 영역이 제한적이라는 것을 전제로 두었다. 각 시나리오는 저속, 중속, 고속으로 <표 3>과 같은 조건으로 구성하였으며 실험차량이 딜레마 경고의 결정에 따라 경고 및 안내 서비스를 표출하는 것을 평가 기준으로 하였다.

<표 4> 동적 딜레마 경고 서비스 평가 결과  
<Table 4> Result of dynamic-dilemma zone warning service

Result of Scenario I						
No	TLC (sec)	DLG (m)	DMAX (m)	VGPS (km/h)	XS (m)	Warning
1	14	132.4	94	24	14	△
2	6	114.8	42	25	14	△
3	11	123.7	55	18	9	△
4	5	38	35	25	14	△
5	15	114.9	75	18	9	△
6	2	16.6	16	28	17	○
7	14	114	98	25	14	△
8	13	118.1	78	21	11	△
9	12	110.8	72	21	11	△
10	7	95.6	56	28	17	△
11	1	12.2	7	25	14	○
12	3	123.2	10	12	5	△
13	6	73.3	36	21	11	△
14	11	78.99	77	25	14	△
15	9	79.3	63	25	14	△

Result of Scenario II						
No	TLC (sec)	DLG (m)	DMAX (m)	VGPS (km/h)	XS (m)	Warning
1	9	122	90	36	26	△
2	5	121.0	45	32	21	△
3	4	115.4	36	32	21	△
4	6	108	90	54	50	△
5	4	66.7	56	50	44	△
6	8	85.3	80	36	26	△
7	4	68.9	48	43	34	△
8	7	117.7	105	54	50	△
9	3	56.7	33	39	29	△
10	1	43.5	14	50	44	○
11	3	110.3	33	39	29	△
12	8	113.5	72	32	21	△
13	7	99.3	63	32	21	△
14	2	24.5	20	36	26	○
15	9	154	132	52	47	△

Result of Scenario III						
No	TLC (sec)	DLG (m)	DMAX (m)	VGPS (km/h)	XS (m)	Warning
1	3	78.5	63	75	89	○
2	7	130	128	66	71	△
3	5	120.4	111	80	99	△
4	4	105.4	93	84	108	○
5	5	110.1	96	69	77	△
6	6	108.1	103	62	64	△
7	4	102.9	98	88	118	○



<그림 4> 동적 딜레마 경고 서비스 기능 아키텍처  
<Fig. 4> Functional architecture for dynamic-dilemma zone warning service

## V. 결 론

지능형 교통 시스템 산업의 발전은 도로 및 차량으로 구성된 교통 체계에 전자, 기계, 통신, 컴퓨터 기술 등을 도입함으로써 교통 체계를 효율적으로 운영하고 안전주행을 지원함으로써 인·물적 손실을 절감하고 있다.

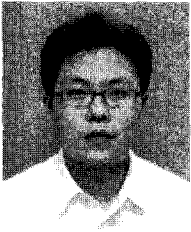
본 논문에서는 국토해양부 국가교통기술개발 프로젝트 개발된 WISDOM를 기반으로 교차로 안전 지원 시스템을 개발하고 현장 평가를 통하여 신뢰성과 적합성을 평가하였다. 특히, 자동 요금 징수 시스템을 통해 활발히 보급되고 있는 단거리 전용 무선 통신 단말을 활용하였다는 것은 시스템의 확장성에서 많은 장점을 가진다.

본 논문에서는 조건에 따른 동적 딜레마 경고 시스템의 동작의 정확성만을 판단하였다. 따라서 차량의 다양한 속도 변화와 이에 따른 제동 거리, 운전자 인지 능력 및 차량, 도로 조건 등 여러 요인에 대한 동적 딜레마 판단 알고리즘의 개선과 다양한 현장 평가가 더 이루어져야 할 것으로 보인다.

## 참 고 문 헌

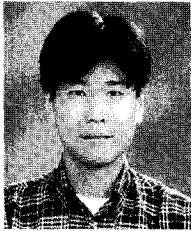
- [1] ISO/DIS 15628, *Transport information and control systems-DSRC-DSRC application layer*, ISO, Oct. 2003.
- [2] 한국정보통신기술협회, *5.8GHz 대역 노변기지구과 차량단말기 간 근거리전용 무선통신 표준*, TTA, Oct. 2000.
- [3] 한국교통연구원, *Development of Next Generation Traffic Signal Control System Utilizing Wireless Communications*, KOTI, June 2006.
- [4] 도로교통안전관리공단, *지역단위 실시간 교통신호제어체계 개발II*, 교통과학연구원, 2002.
- [5] P. S. Parsonson, *Signalization of High-Speed, Isolated Intersections*, TRR 681, 1978.
- [6] 건설교통부, *국도상의 신호교차로의 소통 및 안전기능 고도화를 위한 교통신호제어기 개발1, 2차*, 한국건설기술연구원, 2001, 2002.
- [7] 도로교통안전관리공단, *교통신호제어시스템 성능검사 및 평가 시뮬레이터 개발*, 교통과학연구원, 2000.
- [8] P. S. Parsonson, *Use of EC-DC Detector for Signalization of High-Speed Intersection*, TRR 737, 1979.
- [9] L. Omfelt and A. Larsson, *LHOVRA-A Traffic Signal Control Strategy for Isolated Junctions*, Swedish National Road Administration, 1991.
- [10] 정성대, 이상선, 윤영범, 김종복, 문영준, "WISDOM 개발을 위한 통신 프로토콜 설계," *한국ITS학회 논문지*, 제7권, 제1호, pp. 92-100, 2008. 2.

**저자소개**



**정 성 대 (Jung, Sung-Dae )**

2006년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 전자통신컴퓨터 공학박사 재학  
 2005년 2월 : 한양대학교 전자통신전과 석사  
 2003년 2월 : 부경대학교 제어계측공학과 졸업



**박 순 용 (Park, Soon-Yong)**

2008년 9월 ~ 현재 : 단국대학교 토목환경공학과 박사과정 재학  
 2008년 4월 : 한국교통연구원 첨단교통기술 연구실 연구원  
 2004년 8월 : 단국대학교 교통공학 석사  
 2000년 2월 : 단국대학교 토목공학과 졸업



**이 상 선 (Lee, Sang-Sun)**

2005년 ~ 현재 : 한국 통신 학회 ITS/Telematics 연구회 위원장  
 2005년 ~ 현재 : TTA PG310 ITS/Telematics 분과 의장  
 2007년 ~ 현재 : 한국 ITS 학회 이사  
 1993년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 교수  
 1993년 2월 : 전자부품종합기술연구소 선임 연구원  
 1991년 11월 : 생산기술원 선임 연구원  
 1990년 2월 : University of Florida, 전기 공학 박사  
 1983년 2월 : 한양대학교 전자 공학 석사  
 1978년 2월 : 한양대학교 전자 공학 학사



**김 종 복 (Kim, Jong-Bok)**

2004년 ~ 현재 : (주)세인시스템 대표이사  
 2003년 12월 : (주)트라테크 대표이사  
 1992년 11월 : 금성산전(주) 연구소 연구원  
 1985년 2월 : 연세대학교 전기공학과 졸업



**문 영 준 (Moon, Young-Jun)**

1999년 8월 ~ 현재 : 한국교통개발연구원 책임 연구원  
 1999년 7월 : 고등기술연구원 시스템 공학 인턴 연구원  
 1999년 4월 : Post Doctoral Research Associate, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign  
 1998년 1월 : Department of Civil and Environmental Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign 공학박사  
 1992년 7월 : 국방과학연구소 연구원  
 1987년 2월 : 아주대학교 산업공학과 석사  
 1985년 2월 : 아주대학교 산업공학과 졸업