

무정차 다차로 기반의 통신시스템 개발

Communication System development based on Free Flow, Multi Lane

우 예 나*
(Rye-na Woo)

이 기 한**
(Ki-han Lee)

요 약

단차로 하이패스시스템의 지·정체로 인한 교통 혼잡, 안전사고, 유지보수 등 매년 발생하는 문제를 해결하기 위해 무정차 다차로 고속주행기반 시스템의 개발이 필요하게 되었다. 하이패스 통신시스템은 단차로 환경에서 선입선출 방식이므로, 다차로 환경에서 발생하는 군집주행 및 차로전환 등 다양한 주행패턴을 처리할 수 없다. 본 논문에서는, 기존의 하이패스 단말기를 수용하면서 다차로 주행이 가능한 통신시스템을 개발했다. 능동형 RF/IR 통신 안테나를 이용해 중첩 영역은 넓히고, 오류범위를 최소화 하는 기술을 구현했다. 체험도로를 다차로 실 환경처럼 구축하여 테스트한 결과 하이패스시험기준을 통과했을 뿐 아니라, 속도별, 차로별, 차로전환별 주행시험 및 단말기 위치별 시험 결과 통신 정확도도 99.9%로 하이패스시스템의 성능을 만족했다. 무정차 다차로를 위한 통신시스템은 향후 고속도로 및 유료도로에서도 사용할 수 있을 뿐 아니라, 주차장에서도 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

핵심어 : 무정차 다차로, 통신시스템, 능동형RF, 능동형IR, 스마트톨링시스템

ABSTRACT

The Electronic Toll Collection System based on Free-Flow Multi-Lane is needed to solve some yearly problems such as traffic congestion, safety accident, maintenance by hold-up of one way hi-pass system. The hi-pass communication system is first-in, first-out method in one way environment so, it can't handle various running patterns such as vehicle platoon, switching lane and passing in multi-lane environment. In this thesis we compared and analyzed the communication system of foreign countries ETCS operating system and domestic hi-pass communication system, then studied communication system which can run in multiple-way accepting existing hi-pass OBU. And we formed the communication system of Free-Flow Multi-Lane environment as a plan using incoherent of IR antenna and coherent of RF antenna. The communication system in Free-Flow Multi-Lane environment can be used not alone in parking garages but in expressways of ETCS and toll roads from now on.

Key words : Free-Flow Multi-Lane, Communication System, Active RF, Active IR, SMART Tolling System

† 본 논문은 국토해양부 지원을 받는 건설기술혁신사업의 지원에 의하여 이루어진 것입니다. (스마트 하이웨이 사업 (07 기술 혁신 A01))

* 주저자 : 서울여자대학교 컴퓨터학과 석사

** 교신저자 : 서울여자대학교 컴퓨터학과 교수

† 논문접수일 : 2014년 04월 22일

† 논문심사일 : 2014년 06월 23일

† 게재확정일 : 2014년 07월 31일

I. 서 론

하이패스시스템은 단차로 고속도로 톨링시스템으로, 주행상태의 차량에서 무선통신에 의해 통행료를 처리하는 자동전자요금징수시스템이다.[1,2] 하이패스 통신시스템은 단차로 환경에서 차로별 1개의 안테나가 최대 2개의 OBU(On Board Unit)와 통신을 수행하며 선입선출 방식으로 처리하는 근거리 전용 통신기술을 사용했다.[3,4] 최초 2006년 6월수동주과수 방식으로 시작되어 현재 ISO/IEC18000-5에 근거한 5.8GHz 대역의 능동형 RF(Radio Frequency)와 850nm 능동형 IR(Infrared Ray) 및 기존 TCS(Toll Collection System)를 동시에 제어할 수 있는 듀얼 통신시스템으로 개발하여 운영 중이다.[5,6]

하이패스 이용 차량은 2007년 12월 전국 개통 이후 5년 동안 이용률이 15.7%에서 56.6%로 급증했고, 하루 49만대에서 206만대로 4배 이상 늘어나 전국 개통 당시의 595 차량의 261개 톨게이트에 설치했던 하이패스가 328개 톨게이트의 871 차량에서 이용 중이다. 하이패스 이용률은 증가했지만 단차로로 인한 지·정체 및 안전사고, 사고 후 처리로 인한 교통 불편 등의 문제는 여전히 해결되지 않았다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 무정차 다차로 고속주행환경 기반의 톨링시스템 개발이 필요하다.

하이패스 통신시스템은 단차로에서는 1차원 개념의 무선통신 환경이었지만, 다차로에서는 군집주행, 차로전환 등 단차로에서 발생하지 않았던 주행패턴과 주과수 간섭 및 페이딩 현상 등이 발생하여 다차로에서 사용하기에는 몇 가지 문제점이 있다. 기존 하이패스 통신시스템을 무정차 다차로에는 적용할 수 없어서, 본 연구에서는 RF/IR 안테나의 특징들을 재분석해 각각의 장점을 최대한 살리고, 단점을 최소화하여 통신시스템의 정확도를 높이기 위한 소프트웨어 개발 및 하드웨어를 구현했다.

II. 무정차 다차로 RF/IR 안테나 개발

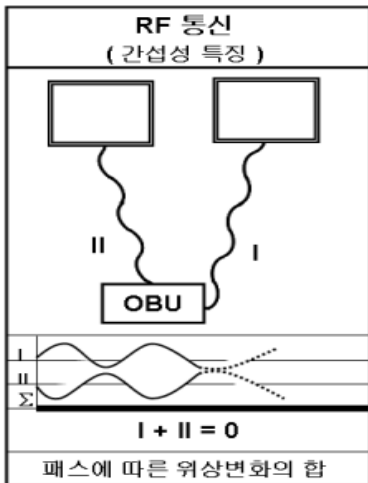
현재 해외 다차로 요금지불시스템은 수동형 통신방식으로만 구현되어 있다. 수동형 방식은 노변 기지국간 거리가 260m 이상이 되어야 하고 통신 셀 크기가 10m 이내인 점으로 인해, 현재 우리나라 ITS(Intelligence Transportation System) 서비스에는 제약이 된다. 무정차 다차로 고속주행환경 기반에서는 개방형구조, 고수준보안구조, 24시간 무중단 구조 등에 충족하면서 보다 나은 서비스를 요구하므로, 기존 하이패스 시스템 및 통신시스템에 대한 재분석을 통해 현 실정에 맞도록 개발했다.

무정차 다차로 기반에 사용하기 위한 통신시스템은, DSRC(Dedicated Short Range Communication) 방식과 VPS(Video Printing System) 방식이 있다. DSRC 방식은 ITS 환경 하에서 사용될 수 있도록 설계된 무선통신 기술로써, OBU와 RSE(Road Side Equipment)와의 양방향 무선통신기술을 기반으로 현재 하이패스시스템의 주과수 대역을 사용한다. VPS 방식은 차량위치추적시스템으로, 차량의 이동거리 및 이동경로를 확인하기 위해서 위성통신기술과 이동통신기술을 활용하는 방식이다. DSRC 방식은 VPS 방식에 비해 도시 환경과 고속도로 상에서 경쟁력 있는 이점을 갖추고 있는 반면, VPS 기반 통신 시스템은 유료도로망이 확장되는 경우나 다른 형태의 도로 추가되는 경우에 유연성과 가격경쟁력을 가질 수 있다. VPS 방식의 최대장점은 기 구축된 이동통신 기지국을 활용한다는 것이지만, 이동통신기술의 통신반경은 너무 넓어 유료도로와 무료도로를 구별하지 못하는 경우가 발생한다. 또한 차량 간 가시성, 위치정보의 통상적 부정확성, 신호품질 등에 의해 발생하는 위치 정보의 편차, 연산 오차, 위치정보의 낮은 정확도 등의 원인으로 DSRC 통신모듈을 보조적으로 사용한다. 따라서 본 논문에서는, DSRC 방식을 이용하여 무정차 다차로 고속주행기반 환경에서 모든 차량에 대해 통신이 가능하고, 24시간 무중단 서비스가 가능하도록 능동형 RF와 능동형 IR 안테나의 특성을 활용하여 통신영역을 형성하도록 통신시스템을 개발했다.

1. 무정차 다차로 RF 안테나 개발

기존의 RF 안테나는 간섭에 의해 통신영역을 정확하게 확정지을 수 없고, 데이터 동기화가 안 될 경우 단말기 측에서 수신감도 차이가 나는 현상이 발생할 수 있어 다차로 통신시스템에 적용하기에는 문제가 있다.[7,8]

RF 안테나는 통신 영역이 넓어 타 부가 통신 서비스와 연동이 용이하며, TTAS.KO-06.0025/R1 표준 규격 및 공개 프로토콜을 사용한다. <그림 1>과 같이, 통신 영역의 전력밀도가 낮아 전파간섭이 없는 특성이 있고, 기후 변화, 먼지 및 진동이 많은 도로 환경에서 적합하도록 방진, 방습, 방열 기능을 지원한다. 무정차 다차로 RF 안테나는 5.8GHz 대역의 하이패스와 동일한 주파수를 사용하는 방식으로, RF모듈의 주파수제어 시그널을 이용하여 채널을 고정하여 사용할 수 있도록 개발했다.

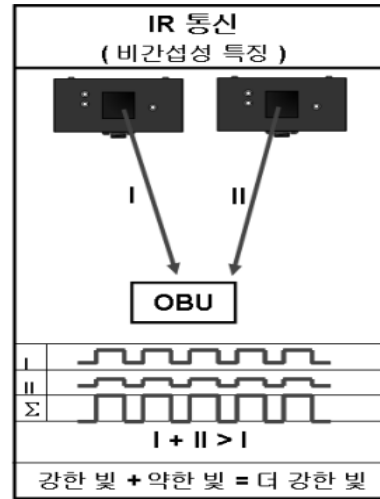


<그림 1> RF 안테나 간섭성특징
<Fig. 1> RF antenna Coherent

하이패스 단말기의 일반적인 복사 각도를 고려하여 원활한 통신영역을 확보하기 위해 수평부를 2-배열로 구성하고, 다차로 통신 환경을 확보하기 위해 2개 차로를 커버하도록 수직빔폭도 2-배열로 구성했다.

2. 무정차 다차로 IR 안테나 개발

기존 IR 방식은 다차로에서 적용하기에는 통신거리가 짧고 방향의 영향을 받아, 한정된 거리나 단거리 통신에서 사용이 가능하다. IR 안테나는 IEC 60825 Part1 “Infrared protection class approval”의 기준에 따라 설계되어 <그림 2>와 같이, 적외선 매체 사용 시 무선통신을 이용하는 다른 차량이나 장비 등의 영향을 받지 않는 비간섭성 물리적 특징이 있다.



<그림 2> IR 안테나 비간섭성 특징
<Fig. 2> IR antenna Incoherent

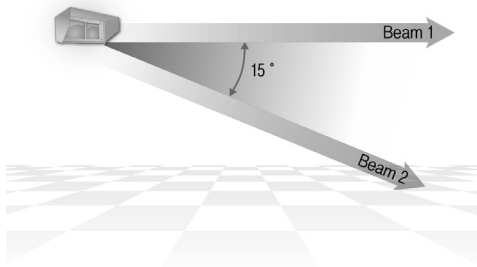
IR 안테나는 차로 간 안테나의 통신 영역이 중첩되는 부분에서 빛의 세기에 의해 통신 데이터의 에러율이 올라가는 문제가 발생할 수 있다.[9,10]

IR 안테나 방식의 문제점은 차량 내 말기의 통신 추적 기능을 구현하거나 알고리즘으로 해결할 수 있지만, 차로 안테나 간 중첩영역으로 인한 데이터 비동기화나 전송상의 문제가 발생한다.

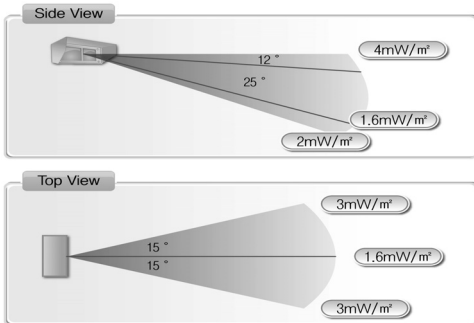
본 논문에서는, 다차로 고속주행 기반 통신시스템에 사용하는 IR 안테나는 비간섭성 물리적 특징을 이용해 차로별로 안테나 통신영역을 개별화했다.

무정차 다차로 IR 안테나는 <그림 3>과 같이 1sr 당 15° 로 출력하고, 수신 강도는 <그림 4>와 같이 1.6mW/m2 로 외부 적외선 또는 빛으로부터의 잡음

을 최소화하기 위하여 ALNRS(Ambient Light Noise Reduction System) 기술을 사용했다.



〈그림 3〉 IR 안테나 Beam
〈Fig. 3〉 IR Beam Antenna



〈그림 4〉 IR 안테나 수신
〈Fig. 4〉 IR antenna reception

무정차 다차로 IR 안테나는 통신영역의 중첩부분을 최소화하고, 차량 단말기로부터 통신데이터가 어떤 차로에 설치된 안테나와 수신했는지를 기준으로 차량의 위치를 파악하도록 개발하여 통신시스템의 신뢰성을 높였다.

III. 무정차 다차로 RF/IR 안테나 구현

무정차 다차로 고속주행환경에서의 통신시스템은 다양한 차량통과 패턴 및 군집 주행 등을 수용할 수 있어야 한다. RF/IR 통신안테나의 간섭으로 인한 오류범위는 최소화하고, 중첩영역을 최대한 활용하며 통신 속도를 개선하여, 무정차 다차로 통신시스템의 신뢰성을 보장하기 위해 환경 변화에

취약하다고 판단되는 부분들의 하드웨어적 요소들을 보완하면서 구현했다.

무정차 다차로 고속주행기반 환경에서의 통신시스템은 다음과 같은 세 가지 방식으로 구현할 수 있다. 첫 번째로, 정밀한 단말기 위치 파악이 중요한 SDSA(Space Division Single Access)는 차로별 다수 안테나를 이용해 안테나와 OBU가 1:1로 통신하는 방식이다. 두 번째로, 현재 단차로 하이패스통신 시스템에서 사용하는 SDMA(Space Division Multiple Access)는 차로별 1개의 안테나가 다수의 OBU와 통신하는 방식이다. 세 번째로, RTDMA(Random Time Division Multiple Access)는 전체 1개의 안테나가 다수의 OBU와 통신하는 방식으로, DSRC, CDMA, WAVE 등과 통신할 수 있으나, 인접도로와의 구별이 필요하다. SDSA 방식은 위반차량 적발에 용이하지만, 다수안테나를 이용하므로 제어가 복잡하고 제한된 시스템 성능으로 통신시스템의 고도화가 어렵다. SDMA 방식은 최상의 시스템 성능을 가지는 통신방식이지만, 인접차로와 통신이 가능해 차선 간 혼선문제가 발생한다. RTDMA 방식은 간편한 시스템 구성을 가지지만, 위반차량 적발이 난이하다.

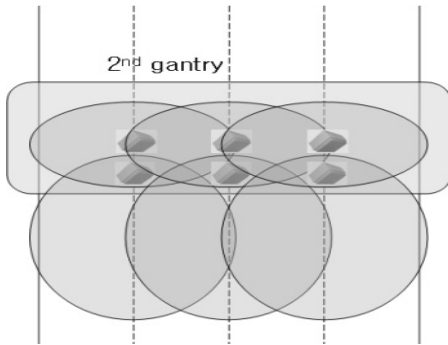
본 논문에서는, 기존의 방식인 SDMA 방식과 타 통신시스템에서 주로 활용해왔던 RTDMA 방식으로 구현했다. 단차로 단일/다중 통신 기술과 다차로 다중/랜덤 통신기술을 능동형 RF/IR 듀얼 통신방식으로 구현해, OBU의 위치를 확인하고 추적할 수 있게 정확한 통신영역을 설정했다. 또한, 차선 간 혼선문제를 해결한 시분할 처리기술과 복수의 RF/IR 통신 모델의 동시처리 기술을 구현해 통신시스템의 신뢰성을 높였다.

1. 무정차 다차로 RF 안테나 구현

무정차 다차로 RF 안테나 특성을 고려해 RTDMA 방식으로, 차선에 설치한 RF 안테나와 단말기 간 통신영역을 구현했다. 통신 속도에 있어서 RF 스위칭 영역 크기에 차이가 날 경우 위험 요소가 될 수 있으므로, RF 저 잡음 증폭기 및 앰프의

시정수 값을 조절하며 스위칭 영역을 구현했다.

무정차 다차로 RF 안테나는 <그림 5>와 같이, 차선 사이사이에 설치하여 통신영역을 형성했다. RF 안테나의 특성을 이용하여 2개 차로와 통신이 가능하도록 안테나의 출력을 높여주었다. 또한 RF 통신 영역은 표준 설치 기준에 따라, 도로조건과 차량조건을 고려해 가로 3m, 세로 14m 내외, 5.5m 높이와 약 30°~70° 사이의 설치각도로 구성했다.



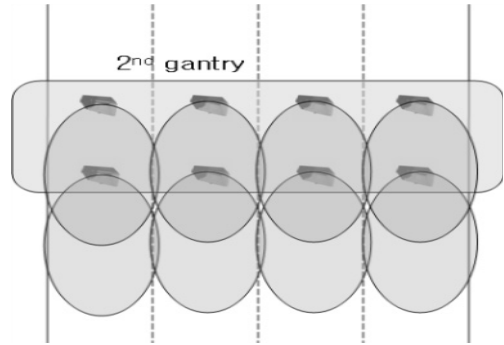
<그림 5> RF 안테나 통신 영역
<Fig. 5> RF antenna communication area

통신 속도측면에 있어서도 만족할 수 있도록 지속적인 통신 모니터링을 통해, 주행거리와 주행 시 필요한 통신영역까지의 거리, 정상적인 통신 가능 차량의 최대속도 및 통신 오차율을 고려하여 통신 영역을 설정했다.

2. 무정차 다차로 IR 안테나 구현

무정차 다차로 IR 안테나는 차로 간 중첩영역을 최소화 하고 단말기와 안테나 간 통신 기능을 극대화하기 위해 단차로 시스템보다 출력을 낮추어 구현했다.

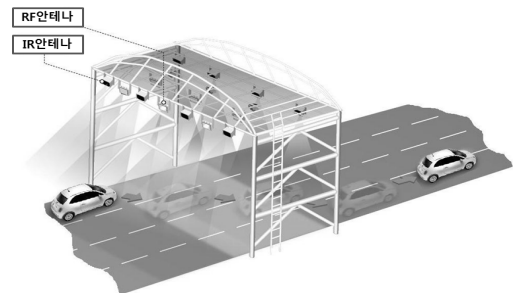
다차로 환경에서 IR 안테나의 특성 상 주변 차로와의 간섭을 최소화하여 안테나에 장착된 가드 루프를 활용하여 통신영역을 조정하도록 구현하여, <그림 6>과 같이, 각 차선 사이사이에 설치해 통신영역을 형성했다.



<그림 6> IR 안테나 통신 영역
<Fig. 6> IR antenna communication area

IV. 시험 및 시험 결과

무정차 다차로 고속주행기반 통신시스템의 성능 시험을 위한 체험도로를 구축했다. 체험도로란, <그림 7>과 같이, 실 도로와 비슷한 주행환경으로 만들어 무정차 다차로에서 자동요금징수시스템이 가능하도록 갠트리를 설치한 도로이다.



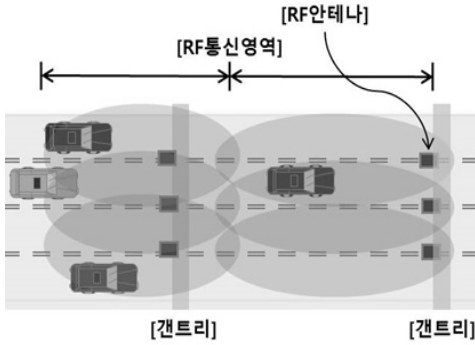
<그림 7> 무정차 다차로 체험도로 구축
<Fig. 7> Free-Flow Multi-Lane road building

구축한 체험도로에서는 무정차 다차로 고속주행기반에서의 통신시스템의 성능시험을 위해, 현재 하이패스 성능시험을 기준으로 시험을 진행했다.

ITSK(Intelligence Transportation System Korea)의 ETCS(Electronic Toll Collection System) 성능시험의 표준으로 기존 하이패스 단말기와의 호환성을 유지하기 위한 시험 뿐 아니라, 다차로에서 요구되는 속도별, 차로별, 차로전환 등의 다양한 차량통과 패턴

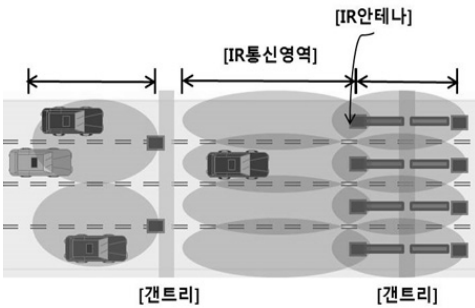
과 단말기 부착위치 별 통신시스템을 시험했다.[11,12]

무정차 다차로 RF 안테나는 <그림 8>과 같이, 체협도로의 차로 사이사이 설치하여 통신시스템의 성능시험을 했다.



<그림 8> RF 안테나 중첩영역 활용 스위칭 방안
<Fig. 8> RF antenna switching scheme utilizes overlapping area

IR 안테나는 차로마다 1개씩 <그림 9>와 같이, 설치하여 통신시스템의 성능시험을 했다.



<그림 9> IR 안테나 중첩영역 회피 개별화 방안
<Fig. 9> IR antenna personalized avoid overlapping area plan

무정차 다차로 환경에서의 속도별 주행시험은 160km/h 까지 시험을 진행했고, 차로 전환은 1차로에서 2차로, 2차로에서 1차로로 차로를 전환하면서 주행했다. 차로별 주행시험은 RF/IR 안테나의 설치 위치를 고려해 1차로, 2차로, 1차로와 2차로 중간지점으로 나누어 진행했다. <그림 10>과 같이, 단말기

부착 위치에 따라 차량에 1개, 2개 혹은 4개의 OBU를 부착하여 시험했다.



<그림 10> 단말기 부착 위치별 주행 시험
<Fig. 10> OBU position by driving test

통신시스템의 단위별 시험은 시도회수와 성공회수를 비교해 보았을 때 <표 1>과 같이, 하이패스의 성능시험을 모두 만족했다.

<표 1> 테스트 결과
<Table 1> Test Results

Test Conditions	Division	Attempt (Times)	Success (Times)	Result
Speed	RF	560	560	Pass
	IR	502	502	Pass
Lane	RF	560	560	Pass
	IR	502	502	Pass
Switch car	RF	85	85	Pass
	IR	85	85	Pass
OBU position	RF	90	90	Pass
	IR	90	90	Pass
Sum	RF	1295	1295	Pass
	IR	1170	1170	Pass

V. 결론

단차로 시스템에서는 무시될 수 있는 무선통신 환경이 다차로 시스템에서는 통신 예외상황으로 영향을 끼칠 수 있기 때문에 이를 보완하여 간섭해소 방안연구를 통해 통신시스템을 개발했다.

RF 안테나와 IR 안테나의 특성을 고려하여 중첩 영역을 활용하고, 통신처리 속도와 신뢰성을 높이도록 구현했다. 기존 하이패스 시스템의 SDMA 방식과 실시간 처리방식인 RTDMA 방식으로 무정차 다차로를 위한 통신시스템을 구현했다. 무정차 다차로 RF 안테나는 차선에 설치하여 단말기 간 통신 영역을 구현하고, 무정차 다차로 IR 안테나는 차로 간 중첩영역을 최소화하기 위해 차선 사이사이에 설치하여 통신영역을 형성했다.

이를 체험도로에서 실 환경으로 하이패스 성능 시험 및 다차로에서 요구되어 지는 다양한 주행패턴을 시험한 결과 속도별 주행테스트, 차로별 주행테스트, 차로전환 주행테스트 및 단말기 부착 위치별 통신 정확도 모두 99.9%로 하이패스시스템의 성능만큼 뛰어남을 알 수 있었다.

국내 하이패스 시스템의 성능시험 뿐 아니라, 다차로 환경에서의 통신시스템 성능시험의 시험기준 및 표준화가 이루어진다면 더욱 신뢰성이 높은 통신시스템 개발이 가능할 것이라 기대한다. 또한, 무정차 다차로를 위한 통신시스템의 개발은 향후 고속도로 및 유료도로 뿐 아니라 주차장에서도 사용 가능할 것이라 기대된다. 통신시스템의 백업과 유지보수에 대한 방안을 마련하고, 좀 더 슬림화된 하드웨어 설계를 통해 발전할 수 있을 것이라 전망한다.

REFERENCES

- [1] A Global Strategic Business Report '*ELECTRONIC TOLL COLLECTION SYSTEM*', 2009.
- [2] KS X 6915 - Intelligent Transportation Systems (ITS) applications for service-only short-range infrared communication (DSRC) technology.
- [3] Korea Highway Corporation, 2009 High Pass Business White Paper, 2009.
- [4] Notice of Land, Transport and Maritime Affairs, dedicated short range communication (DSRC) using the automatic fare collection system (ETCS) technology based on the exchange of information (Fireside - end-to-end) no. 2009-806. 2009
- [5] Han-Byuk Cho, 5GHz band, Present and Future of ITS Communications, *Journal of Korea Society of ITS* Volume 2, Issue 1, 2004.7.
- [6] B.Cash, North American 5.9GHz DSRC operational concept/band plan, IEEE 802.11-03/0750r0, IEEE 802.11 Wave SG, 2004.5.
- [7] Korea Radio Promotion Association, DSRC and ITS services using the ETC service plan formulation, 2000.5.
- [8] Korea Information Society Development Institute, '*ITS A study on the design and construction of components for*', 2004. 12
- [9] Information and Communications group standard, '*TTAS.IS-DIS15662 ITS management information for long distance wireless communication protocols*', 2004.12.
- [10] Korea Standard Association, KS X 6915 - ITS sector dedicated short-range communication standard in the infrared,
- [11] Korea Standard Association, KS X 6916 - ITS sector conformity assessment in the way of the infrared communication technology.
- [12] ITS standards meeting, '*ETCS performance standards on test methods*'

저자소개



우 예 나

2012년 ~ 현재 : 서울여자대학교 대학원 컴퓨터학과 석사과정
2004년 : 서울여자대학교 컴퓨터학과(학사)
관심분야 : 의료정보/스마트카드/모바일
(wyn0611@swu.ac.kr/ 02-970-7820)



이 기 한

1994년 ~ 현재 : 서울여자대학교 컴퓨터학과 교수
1993년 : 서울대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(공학박사)
1989년 : 서울대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(공학석사)
1987년 : 서강대학교 전산학과 졸업(학사)
2007년~현재 : 서울여자대학교 RFID/USN 센터 센터장
2006년~현재 : 서울대 IC 카드 연구센터 센터장
(knight@swu.ac.kr/ 02-970-5698)