

## 지하철 역사내 무선 센서네트워크 환경구축을 위한 무선 스펙트럼 분석 및 전송시험에 관한 연구

안태기<sup>1</sup>, 김갑영<sup>2</sup>, 양세현<sup>2\*</sup>, 최갑봉<sup>3</sup>, 심보석<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국철도기술연구원, <sup>2</sup>(주)휴텍이일, <sup>3</sup>서울메트로

### Performance Evaluation of Wireless Sensor Networks in the Subway Station of Workroom

Tea-Ki An<sup>1</sup>, Gab-Young Kim<sup>2</sup>, Se-Hyun Yang<sup>2\*</sup>, Gab-Bong Choi<sup>3</sup> and Bo-Seog Sim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Korea Railroad Research Institute, <sup>2</sup>Hutech21, <sup>3</sup>Seoul Metro

**요약** 지하철 역사에 화재, 테러 등의 내 외부 위협요인을 감시하기 위하여 CCTV와 각종 센서를 이용한 감시시스템이 구축되어 왔으며, 최근 최신의 IT기술인 센서네트워크기술을 이용한 감시시스템기술 도입이 여러 분야에서 시도되고 있다. 2007년부터 정부 주도하에 지하철 역사의 경우에도 최신의 IT기술인 무선 센서네트워크기술 및 지능형영상감시기술 등과 접목하여 화재, 제한지역 침입, 승객 혼잡도, 우범지역, 역사 건전성 등을 종합적으로 감시하는 도시철도지능형종합감시시스템 개발 및 구축이 추진 중에 있다.

이를 위하여 본 연구에서는 개발 중인 도시철도 지능형 종합감시시스템의 현장 역사 적용에 앞서 무선센서네트워크의 대표라 할 수 있는 ZigBee기반의 현장 무선통신환경 시험을 서울지하철 충무로 역사에서 수행하였고, 본 논문에서 충무로역사 내부 승강장 및 대합실에서의 ZigBee기반의 무선통신환경 시험결과를 정리, 분석하였다. 승강장 및 대합실의 무선 스펙트럼분석 결과 ZigBee기반의 센서네트워크의 주파수와 중첩되는 주파수는 없었으며 인접 주파수 또한 10MHz 이상 이격되어 주파수 간섭을 받지 않는 것으로 나타났다. ZigBee를 이용한 무선데이터 전송 시험 결과, 데이터 전송은 열차의 승강장 진출입시의 영향보다 승강장 혹은 대합실의 이용승객 수 및 유동량에 의한 멀티패스 페이딩(multi-path fading) 효과에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타나, 역사에 지능형종합감시시스템 구축 시 이를 고려하여야 할 것으로 판단된다.

**Abstract** In order to monitor internal risk factors such as fire, terror, etc. on the subway station, the surveillance systems using CCTV and various kinds of sensors have been implemented and recently, introduction of surveillance systems using an advanced IT technology, sensor network technology is tried on several areas. Since 2007, Korean government has made an effort to develop the intelligent surveillance and monitoring system, which can monitor fire, intrusion, passenger congestion, health-state of structure, etc., by using wireless sensor network technology and intelligent video analytic technique.

For that purpose, this study carried out field wireless communication environment test on Chungmuro Station of Seoul Metro on the basis of ZigBee that is considered as a representative wireless sensor network before field application of the intelligent integrated surveillance system being developed, arranged and analyzed and ZigBee based wireless communication environment test results on the platform and waiting room of Chungmuro Station on this paper. Results of wireless spectrum analysis on the platform and waiting room showed that there is no radio frequency overlapped with that of ZigBee based sensor network and no frequency interference with adjacent frequencies separated 10MHz or more. As results of wireless data transmission test using ZigBee showed that data transmission is influenced by multi-path fading effect from the number and flow rate of passengers on the platform or the waiting room rather than effects from entrance and exit of the train to/from the platform, it should be considered when implementing the intelligent integrated surveillance system on the station.

**Key Words** : Wireless spectrum, Wi-Fi, Wireless Sensor Network

본 논문은 한국철도기술연구원 연구과제로 수행되었음.

\*교신저자 : 양세현 (shyang@hutech21.com)

접수일 11년 06월 03일 수정일 (1차 11년 06월 14일, 2차 11년 07월 01일, 3차 11년 07월 06일) 게재확정일 11년 07월 07일

## 1. 서론

최근 유비쿼터스에 대한 관심이 높아지면서, 저속의 근거리 Zigbee 통신이 크게 주목 받고 있다. 그러나 ZigBee 통신이 사용하는 2.4GHz 대의 비면허 주파수 대역 (ISM-Band)은 무선랜 (WLAN : Wireless Local Area Network)이나 블루투스 (Bluetooth) 등의 다른 통신 기술도 사용하는 대역이므로, 이들 통신간 주파수 간섭 문제가 발생한다.

ZigBee 기술은 저전력 송수신기를 센서와 결합하여 하나의 커다란 네트워크를 구성할 수 있게 해주는 기술로 각종 건물, 문화재 등의 화재 및 침입 감지에 ZigBee를 도입함으로써 원격지 및 모바일 단말기를 통해 감시할 수 있다[1].

또한 IT 기술이 발전함과 동시에 스마트 폰과 같이 각종 모바일 기기의 보급이 늘어나면서 2.4GHz 대역의 Wi-Fi 서비스가 확대되고 있다. 하지만 이동통신 서비스들의 무분별한 2.4GHz 주파수 채널 설정을 통해 채널간 주파수 간섭 등에 대한 대책은 미미한 실정이다. 2.4GHz 대역의 신규 이동통신장비 설치 시에도 주파수 채널 할당 정책이 없어 Wi-Fi 서비스용 장비는 늘어나는데 반면 주파수 중첩으로 인한 채널 간섭으로 서비스의 질은 소비자의 만족도를 크게 충족시키지 못하고 있는 것이 현실이다[2,3].

이에 본 논문에서는 지하철 역사내 무선랜과 지그비가 혼재하는 네트워크 상황에서 주파수 스펙트럼을 측정함으로써 기존 2.4GHz 대역의 Wi-Fi 주파수 채널과 지그비 주파수 채널 간의 간섭을 일으키지 않도록 지능형 종합 감시시스템 센서네트워크 구축 시 2.4GHz대역을 사용하는 ZigBee 기반 센서네트워크 주파수 채널 선정에 적용하고자한다[4].

## 2. 본론

### 2.1 충무로역사 승강장 무선 스펙트럼 측정

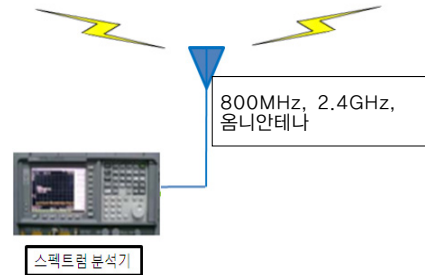
#### 2.1.1 시험 환경 구성

무선 주파수를 측정하기해 스펙트럼 분석기를 그림 1과 같이 800MHz~11GHz 대역의 옴니 안테나(Omni Antena)와 연결하여 측정하고자하는 주파수 대역에 따라 안테나를 선택하여 측정하였으며 측정에 사용된 스펙트럼 분석기는 Agilent Technologies 의 PSA E4440A 모델을 사용하였다.

시험조건은 안테나의 높이는 지면으로부터 1.5m 높이

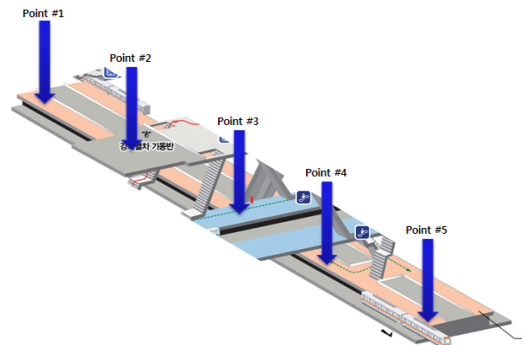
에서 측정 하였으며 각 승강장 당 측정 간격은 70m로 총 3군데 지점에서 주파수를 측정 하였다.

측정 위치는 충무로역사 3, 4호선 승강장에서 측정 하였으며 해당 장소의 측정 지점은 그림 2, 그림 3과 같다.



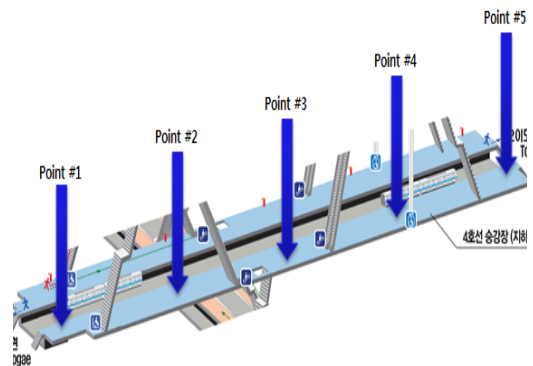
[그림 1] 무선 주파수 측정 시험 구성도

[Fig 1] The Test configuration of Radio Frequency Measurement



[그림 2] 3호선 승강장 측정 지점

[Fig 2] Platform Measurement Point of Line No.3

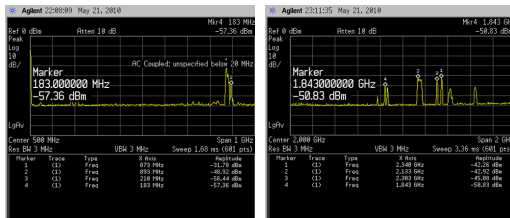


[그림 3] 4호선 승강장 측정 지점

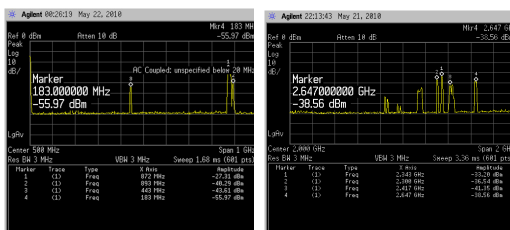
[Fig 3] Platform Measurement Point of Line No.4

### 2.1.2 3호선 승강장 무선 스펙트럼 측정 결과

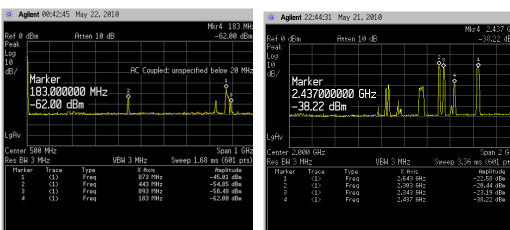
3호선 승강장의무선 스펙트럼 측정 결과 800MHz 대역과 2GHz 대역의 주파수가 확인 되었다. 800MHz 대역에서는 TRS(Trunked Radio Service) 및 아날로그 휴대전화의 주파수와 동일 한 대역이었다. 2GHz 대역에서는 Wi-Fi, WiBro의 주파수가 감지되었다. 그림 5, 그림 6과 같이 2.417GHz, 2.437GHz의 주파수가 발견이 되었으나 2.417GHz는 ZigBee 채널 13번과 2MHz가 이격되어 있으며 2.437GHz는 ZigBee 채널 17번과 2MHz 이격되어 있어 직접적인 간섭이 없는 것으로 판단된다.



[그림 4] 3호선 승강장 Point #1  
[Fig 4] Point #1 of Line No.3 Platform



[그림 5] 3호선 승강장 Point #3  
[Fig 5] Point #3 of Line No.3 Platform

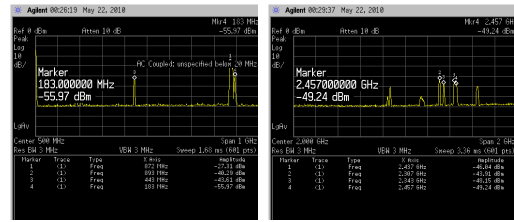


[그림 6] 3호선 승강장 Point #5  
[Fig 6] Point #5 of Line No.3 Platform

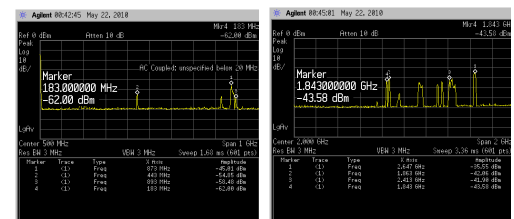
### 2.1.3 4호선 승강장 무선 스펙트럼 측정 결과

4호선 승강장에서 3호선과 유사하게 800MHz에서는 TRS 및 아날로그 휴대전화의 주파수와 동일한 대역의 주파수가 감지 되었다. 또한 2GHz 대역에서도 Wi-Fi,

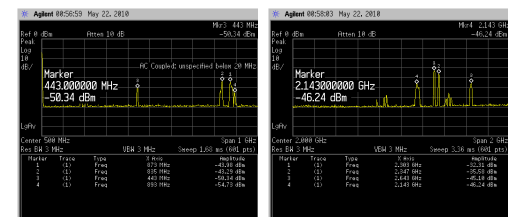
WiBro, WCDMA의 주파수가 감지되었으며 직접적인 간섭을 일으킬 수 있는 주파수는 없었다[5,6].



[그림 7] 4호선 승강장 Point #1  
[Fig 7] Point #1 of Line No.4 Platform



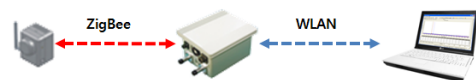
[그림 8] 4호선 승강장 Point #3  
[Fig 8] Point #3 of Line No.4 Platform



[그림 9] 4호선 승강장 Point #5  
[Fig 9] Point #5 of Line No.4 Platform

## 2.2 총무로역사 승강장 무선전송시험

### 2.2.1 시험 환경 구성



[그림 10] ZigBee 전송시험 및 WLAN Throughput 측정시험 구성  
[Fig 10] Test Configuration of ZigBee transmission and WLAN Throughput measurement

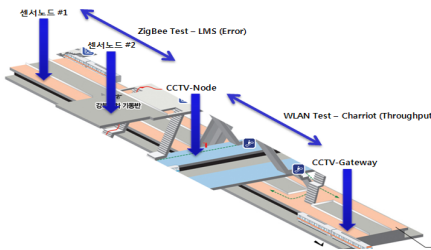
승강장에서의 무선전송 시험은 ZigBee 기반의 센서노드와 게이트웨이 간 데이터 송수신 에러율을 측정하였다. 이는 ZigBee 기반의 센서네트워크는 속도나 전송용량보다 주기적으로 감지하는 값들을 얼마나 에러없이 전송할 수 있느냐가 관건이다[7,8].

이를 위해 에러율 측정은 게이트웨이 측에서 송신요청 프레임에 센서노드로 보냈을 때 센서노드가 응답하여 게이트웨이 측으로 프레임을 송신했을 때를 송신 성공으로 판단하고 만약 센서노드로부터 프레임이 도착하지 않거나 게이트웨이가 이를 받지 못했을 경우 오류로 처리하였다.

또한 게이트웨이에서 수집된 데이터를 무선을 통해 전송할 수 있는 능력을 측정하기 위해 WLAN Throughput 을 측정하였다.

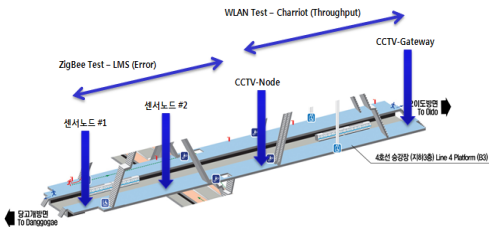
[표 1] 시험 조건  
[Table 1] Test condition

	항목	내용
ZigBee 전송 시험	안테나 높이	2m
	안테나 이득	0dB
	측정시간	16:04 ~ 17:08 18:03 ~ 19:02
	측정주기	60분 (송수신프레임 : 360)
WLAN Throughput	안테나 높이	2m
	안테나 이득	13 dB (패치형)
	측정도구	NetsTumbler NetIQ Charriot



[그림 11] 3호선 승강장 ZigBee 전송시험 및 WLAN Throughput 측정 구간

[Fig 11] Test section in the Line No.3 of ZigBee transmission and WLAN Throughput measurement



[그림 12] 4호선 승강장 ZigBee 전송시험 및 WLAN Throughput 측정 구간

[Fig 12] Test section in the Line No.4 of ZigBee transmission and WLAN Throughput measurement

### 2.2.2 3호선 승강장 ZigBee 전송시험 결과

[표 2] 승객 유동량 범위  
[Table 2] Passengers Range

판단	승객 인원수	비고
A	0~7명	스크린도어 1개당 승하차하는 승객 수
B	7~15명	
C	15~20명	
D	승객 20명 이상	

[표 3] 3호선 승강장 ZigBee 전송시험 결과  
[Table 3] ZigBee transmit test results in the Line No.3 Platform

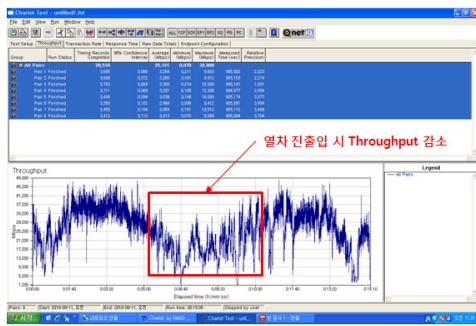
측정 시간	구분	Error Rate (%)	승객 유동량
16:04	열차 진출입 시	0.03	A
4분	정상시	0.05	A
16:09	열차 진출입 시	0.20	C
5분	정상시	0.27	C
16:15	열차 진출입 시	0.00	A
4분	정상시	0.00	A
16:20	열차 진출입 시	0.20	C
5분	정상시	0.18	B
16:26	열차 진출입 시	0.67	D
4분	정상시	0.26	C
16:31	열차 진출입 시	0.00	A
5분	정상시	0.25	C
16:37	열차 진출입 시	0.17	B
4분	정상시	0.16	B
16:42	열차 진출입 시	0.14	B
5분	정상시	0.06	B
16:48	열차 진출입 시	0.30	C
4분	정상시	0.13	B
16:53	열차 진출입 시	0.00	A
4분	정상시	0.11	B
16:58	열차 진출입 시	0.25	C
4분	정상시	0.08	B
17:03	열차 진출입 시	0.06	B
4분	정상시	0.00	A

승강장에 사람이 많을 경우 평균 ZigBee 센서 전송의 에러율은 약 0.5%를 보였으며 승강장에 사람이 없을 경우 평균 ZigBee 센서 전송의 에러율은 약 0.05%를 보여 양호한 송수신 상태를 보였다.

플랫폼에 사람이 많이 서있는 경우 멀티패스 페이딩이 발생하여 데이터 에러율이 증가하나 통신에 문제가 될 정도의 에러율이 발생하지는 않았다.

### 2.2.3. 3호선 승강장 WLAN Throughput 측정 결과

정상시 Throughput은 약 35Mbps를 보이며 열차 진출입 시 Throughput은 약 10Mbps를 보였다.



[그림 13] 3호선 승강장 Throughput 측정 결과  
[Fig 13] Throughput Measurements in the Line No. 3 Platform

3호선 승강장의 구조가 곡선구간으로 무선 CCTV 노드의 위치와 게이트웨이 간의 위치가 LOS(Line Of Sight)가 확보되지 않기 때문에 직선 구간에 비해 Throughput이 감소하는 현상이 보였다.

열차의 진출입시에는 승하차하는 승객들로 인한 멀티패스 페이딩이 발생하여 Throughput이 떨어지는 현상 발생하였다.

#### 2.2.4 4호선 승강장 ZigBee 전송시험 결과

승강장에 사람이 없을 경우 평균 ZigBee 센서 전송의 에러율은 약 0.06%를 보였으며 사람이 매우 많았을 경우 약 0.67%의 에러율을 보였다. 3호선의 결과와 마찬가지로 지하철 승차를 위해 대기 중인 승객이 무선 통신 패스에 있어 일종의 장애물로 작용하여 멀티패스가 형성되는 것으로 분석된다.

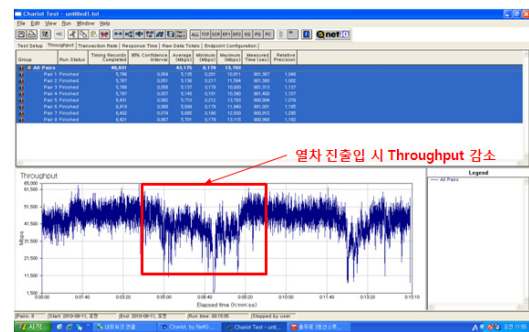
[표 4] 4호선 승강장 ZigBee 전송시험 결과

[Table 4] ZigBee transmit test results in the Line No.4 Platform

측정시간	구분	Error Rate (%)	승객 유동량
18:03	열차 진출입 시	0.17	B
2분	정상시	0.06	A
18:06	열차 진출입 시	0.15	B
2분	정상시	0.13	B
18:09	열차 진출입 시	0.21	C
2분	정상시	0.14	B
18:12	열차 진출입 시	0.62	D
2분	정상시	0.30	C
18:15	열차 진출입 시	0.64	D
2분	정상시	0.25	C
18:18	열차 진출입 시	0.61	D
2분	정상시	0.28	C
18:21	열차 진출입 시	0.59	D
2분	정상시	0.29	C

18:24	열차 진출입 시	0.61	D
2분	정상시	0.26	C
18:27	열차 진출입 시	0.65	D
2분	정상시	0.54	D
18:30	열차 진출입 시	0.59	D
2분	정상시	0.54	D
18:33	열차 진출입 시	0.61	D
2분	정상시	0.60	D
18:36	열차 진출입 시	0.65	D
2분	정상시	0.56	D
18:39	열차 진출입 시	0.60	D
2분	정상시	0.49	D
18:42	열차 진출입 시	0.58	D
2분	정상시	0.47	D
18:45	열차 진출입 시	0.69	D
2분	정상시	0.56	D
18:48	열차 진출입 시	0.70	D
3분	정상시	0.51	D
18:52	열차 진출입 시	0.68	D
2분	정상시	0.50	D
18:55	열차 진출입 시	0.70	D
3분	정상시	0.61	D
18:59	열차 진출입 시	0.69	D
2분	정상시	0.60	D
19:02	열차 진출입 시	0.68	D
2분	정상시	0.57	D

#### 2.2.5 4호선 승강장 WLAN Throughput 측정 결과



[그림 14] 4호선 승강장 Throughput 측정 결과

[Fig 14] Throughput Measurements in the Line No. 4 Platform

정상시 Throughput은 약 46Mbps를 보이며 열차 진출입 시 Throughput은 약 37Mbps를 보였다. 3호선 승강장에 비해 곡선이 완만하여 다소 증가된 Throughput이 측정되지만 역시 LOS 환경이 아니기 때문에 직선 구간에 비해 Throughput이 감소하는 현상이 보였다. 열차의 진출입시에는 승하차하는 승객들로 인한 멀티패스 페이딩이 발생하여 Throughput 떨어지는 현상 발생하는 것을 볼 수 있었다.

### 3. 결론

지능형 종합 감시 시스템 센서네트워크를 구성하기 전 무선 환경측정을 통해 센서노드와 게이트웨이의 ZigBee 채널을 선정하고 무선전송시험과 Throughput을 측정하여 결과를 분석하기 위해 본 논문과 같은 시험을 진행하였다. 무선 주파수 측정결과 ZigBee 기반의 센서네트워크와 Wi-Fi 주파수 대역이 동일 대역이긴 하지만 Wi-Fi 주파수 채널과 센서네트워크 주파수 채널간 최소 2MHz 이상의 이격되어 있어 인접 주파수로 인한 주파수 간섭의 영향은 없는 것으로 판단되었다. 하지만 ZigBee 기반의 센서네트워크 전송시험에서는 이동하는 승객보다는 고정적으로 서있는 승객에 의한 멀티패스 페이딩의 영향이 더 크게 작용하는 것으로 분석되지만 에러율이 5%미만으로 센싱 데이터를 송수신하는 데는 크게 문제는 되지 않는다.

무선데이터 전송 및 Throughput 측정 결과 열차 진입 전의 대기 승객과 발차 후의 유동 승객에 의한 멀티 패스 페이딩과 동일채널 간섭이 Throughput 감소의 주 원인으로 판단되며 이는 게이트웨이 안테나 위치 등으로 개선할 수 있는 요소이다.

본 논문과 같은 시험을 통해 ZigBee 채널 선정, 게이트웨이 안테나 위치 선정에 적용할 수 있는 근거를 마련할 수 있으며 체계적인 사전 시험을 통해 시스템 구축시간 단축 등의 효율적인 센서네트워크 구축 방안이 필요하다.

### References

[1] JongHo Ahn, Sung Choi, "Study on the Wireless Communication System Zigbee of RFID/USN for u-Health", 2008 Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society , pp.251-253, 2008

[2] L. Angrisani, M. Bertocco, D. Fortin, and A. Sona, "Experimental Study of Coexistence Issues Between IEEE 802.11b and IEEE 802.15.4 Wireless Networks," IEEE Transactions on instrumentation and Measurement, Vol. 57, No. 8, pp. 1514-1523. Aug. 2008

[3] K. Shuaib, M. Boulmalf, F. Sallabi, and A. Lakas, "Co-existence of Zigbee and WLAN, A Performance Study," In Proc. of WTS, pp. 1 - 6. Apr. 2006

[4] Dae-Woo Choi, "Implementation of a Testbed for Wireless Sensor Network ", 2011 Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 12, No. 1, pp. 445-450, 2011

[5] Rag-Gyo Jeong, Beak-Hyun Kim, Eui-Jin Joung, "A

Study on the Interference of Harmonic Frequency during the Change of Urban Transit's Signalling Systems", 2010 Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 11, No. 2, pp. 469-475, 2010

[6] Kang jeong yong, kim hwan yong,, "A Study On Suppressed Method for the Frequency Interference Within Wireless Communications Devices", Journal of the Korea Information and Communication cooperation Society, '03-1 Vol28 No 1A

[7] Jea Woo Hwang, Ho-Hyun Park, "ZigBee Network Formation Based on Trust Model and Trustworthiness Measurement", The Journal of the Korean Institute of Maritime Information and Communication Sciences, v.14, no.5, pp.1284-1294, 2010

[8] Jaehyun Kim, Soojung Hur, Yongwan Park, wonsda Kang, Dongha Lee, "Effective address assignment method in hirrarchical structure of Zigbee network", The Magazine of the IEEK, v.44 No.10 pp.20-28, 2007

### 안 태 기(Tea-Ki An)

[정회원]



- 1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사
- 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2008년 2월 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 (공학박사)
- 1996년 1월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

멀티미디어통신, 영상분석, 인공지능

### 김 갑 영(Gap-Young Kim)

[정회원]



- 1990년 2월 : 인하공업전문대학 금속학과 (전문학사)
- 2000년 9월 : 한림대학교 전자공학과 (공학학사)
- 1999년 7월 : (주)한미반도체 연구원
- 2001년 1월 : (주)바스네트워크 선임연구원
- 2003년 7월 ~ 현재 : (주)휴텍21 책임연구원

<관심분야>

무선이동통신, 센서네트워크, 멀티미디어 통신

**양 세 현(Se-Hyun Yang)**

[정회원]



- 2000년 2월 : 대구대학교 통신공학과 (공학학사)
- 2011년 2월 : 아주대학교 지식정보보안학과 (공학석사)
- 2010년 1월 ~ 현재 : (주)휴택21 연구원

<관심분야>

무선네트워크, 네트워크 보안, 멀티미디어 통신

---

**최 갑 봉(Gab-Bong Choi)**

[정회원]



- 1978년 2월 : 목포해양대학교 통신공학과 (공학학사)
- 1991년 2월 : 서울산업대학교 전자공학과 (공학학사)
- 1993년 8월 : 광운대학교 산업정보대학원 정보통신공학과 (공학석사)
- 2009년 2월 : 서울시립대학교 대학원 전자전기·컴퓨터공학부 졸업(공학박사)
- 1980년 4월 ~ 현재 : 서울메트로

<관심분야>

정보통신, 전자공학, 무선이동통신

---

**심 보 석(Bo-Seog Sim)**

[정회원]



- 2006년 8월 : 전남대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1993년 10월 ~ 현재 : 서울메트로

<관심분야>

멀티미디어, 정보통신,무선통신