

지능형 무선통신용 가스 센서 모듈 구현

The Realization on GAS Sensor Module for Intelligent Wireless Communication

김 호 찬* 원 영 수** 조 형 래***
(Hyo-Chan Kim) (Young-Su Weon) (Hyung-Rae Cho)

요 약

가스센서는 그 용도에 따라서, 자동차용(배출가스, 연료혼합 가스, 산소, 분진), 농수산·식품산업용(신선도, 저장, CO₂, 습도, NH₃, 질소산화물 가스, 유기가스, 농약 및 살충제로부터 방출되는 유독가스), 산업·의료용(석유화학제품 가스, 수소, 산소, 유독가스), 군사용(화학무기 가스), 환경 측정용(CO를 비롯한 황과 질소 등으로 구성된 대기오염가스), 가정용(LNG, LPG, 부탄, 실내공기, 습도) 등으로 매우 다양하게 사용하고 있다. 산업 현장의 유해물질 종류는 약 700종으로 알려져 있으며 이들 중 대다수의 물질은 일반적인 환경 조건에서 가스 형태로 존재한다.

본 연구에서는 이러한 유독 가스들 중에서 차량 내부 등의 밀폐된 공간에서 발생하기 쉬운 중요한 탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 암모니아(NH₃)의 세 가지 가스를 검출하는 휴대용 가스센서 모듈을 구현하고자 한다. 유독 가스 중에서도 가장 인명 사고의 중요한 요소인 NH₃, CO₂, CO의 3종류 가스를 검출하는 다중 가스검출 센서에 대해 연구한다.

핵심어 : 암모니아, 이산화탄소, 일산화탄소, 가스센서, 지그비, 네트워크

Abstract

Gas sensors has been used very differently that depending on following purposes; Automotive (exhaust gas, fuel mixture gas, oxygen, particulates), agriculture / food industry (fresh, stored, CO₂, humidity, NH₃, nitrogen oxide gas, organic gas, toxic gas emitted from pesticides and insecticides), industrial / medical (chemical gas, hydrogen, oxygen and toxic gases), military (chemical weapon), environmental measurements (CO and other air pollution consisting of sulfur and nitrogen gas), residential (LNG, LPG, butane, indoor air, humidity). The types of industrial toxic substances are known about 700 species and many of these exist in gaseous form under normal conditions. he multi-gas detection sensors will be developed for casualties that detect the most important and find easy three kinds of gases in marine plant; carbon dioxide(CO₂), carbon(CO), ammonia(NH₃).

Package block consists of gas sensing device minor ingredient, rf front end, zigbee chip. Develope interworking technology between the sensor and zigbee chip inside a package. Conduct a performance test through test jig about prototype zigbee sensor module with rf output power and unwanted emission test. This research task available early address when poisonous gas leaked from large industrial site and contribution for workers' safety at the enclosed space.

Key words : CO₂, NH₃, CO, GAS Sensor, ZigBee, Network

* 주저자 : 해군

** 공저자 및 교신저자 : 경남대학교 정보통신공학과 교수

*** 공저자 및 교신저자 : 한국해양대학교 전과공학과 교수

† 논문접수일 : 2012년 10월 10일

† 논문심사일 : 2012년 10월 31일

† 게재확정일 : 2012년 10월 31일

I. 서론

정부에서는 국민의 건강보호를 위하여 범정부 차원의 실내 공기질 관리 중장기('09~'13) 실천계획인 「2차 실내공기질 관리 기본계획」을 수립하였다. (2009.01.31) 이번 계획은 “실내 공기질 관리 기본계획”(‘04~’08)에 이어 환경성 질환 증가 및 기후변화문제 대응 등 그간 변화된 국내·외 여건에 적극 대응하고자 마련하였고, 기획재정부, 교육과학기술부, 보건 복지 가족부, 국토해양부, 노동부 등 관련부처와 협의를 거쳐 수립하였다.

유독가스는 대부분은 사람이 냄새에 의하여 인지하지 못하므로 부지불식간에 의식을 잃거나 치명적인 사태에 이르기도 한다. 차량내부 등의 밀폐된 공간에서의 가스, 도로의 맨홀 작업 중에 발생하는 유독가스, 호텔 등 숙박업소에 일어날 수 있는 화재로 인한 가스 발생, 가정에서의 가스 사고 등 여러 가지 형태의 위험이 존재하고 있다.

이러한 유독가스로부터 인명의 안전을 보호하기 위해 조기에 가스 노출을 감지하고 대처하는 것이 필요하다. 사람이 인지하지 못하고 접근할 경우 치명적 인명손상을 입을 수 있는. 위험한 가스의 유출 여부 및 산업용 공해가스의 배출을 감시하는 분야 등에서 여러 가지 형태의 GAS 센서들의 개발의 중요성이 대두되고 있다.

가스센서는 그 용도에 따라서, 자동차용(배출가스, 연료혼합 가스, 산소, 분진), 농수산·식품산업용(신선도, 저장, CO₂, 습도, NH₃, 질소산화물 가스, 유기가스, 농약 및 살충제로부터 방출되는 유독가스), 산업·의료용(석유화학제품 가스, 수소, 산소, 유독가스), 군사용(화학무기 가스), 환경 측정용(CO를 비롯한 황과 질소 등으로 구성된 대기오염가스), 가정용(LNG, LPG, 부탄, 실내공기, 습도) 등으로 매우 다양하게 사용하고 있다. 산업 현장의 유해물질 종류는 약 700종으로 알려져 있으며 이들 중 대다수의 물질은 일반적인 환경 조건에서 가스 형태로 존재한다[1].

본 논문에서는 이러한 유독 가스들 중에서 차량 내부 등의 밀폐된 공간에서 발생하기 쉬운 중요한

탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 암모니아 NH₃의 세 가지 가스를 검출하는 휴대용 가스센서 모듈을 개발하고자 한다. 유독 가스 중에서도 가장 인명 사고의 중요한 요소인 CO₂, CO, CH₄의 3종류 가스를 검출하는 다중 가스검출 센서를 개발하기로 한다.

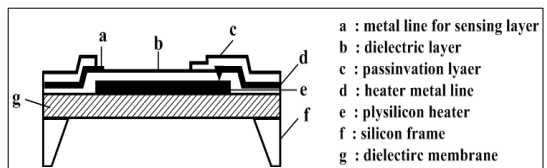
II. 가스센서 기술

1. 감지 물질을 이용한 가스센서 기술

1) 반도체 감지재료를 이용한 방식

스위스 MiCS (MicroChemical Systems)에서 2001년에 실리콘 플랫폼상에 산화주석 감지물을 도포(dropping)하여 마이크로 가스센서를 제조하였다.

본딩(bonding) 패드와 감지층이 놓이는 부분을 제외한 부분을 절연층으로 형성하여 용이하게 감지층이 도포될 수 있도록 유도하였으며, 감지물은 용매에 산화주석 나노분말을 분산시켜 제조하였다. MiCS의 새로운 dropping 증착방식은 CO 및 CH₄ 가스감지 특성 확인을 통해 매우 우수한 감도와 신뢰성을 보이는 것으로 확인되었다[2].



〈그림 1〉 마이크로 가스센서를 위한 실리콘 플랫폼단면도
(Fig. 1) The Silicon for micro-gas sensor platform sections

국내에서는 2002년부터 2007년까지 산업자원부의 지원을 받아 전자부품연구원과 경북대가 공동으로 유독가스를 감지하기 위한 마이크로 센서를 개발하였는데, 멤브레인 형태의 MEMS 구조물상에 적층형 구조의 마이크로발열체와 감지전극을 형성한 후 감지 전극상에 감지물질을 형성시켜 제조하였다. 또한, 2006년부터 정보통신부의 지원을 받아 전자부품연구원은 참여기관과 함께 공동으로 32개의 센서 어레이를 하나의 칩상에서 구성하여 반도체

체 특성을 나타내는 산화물 및 고분자나노선, 카본 나노튜브(carbon nanotubes) 감지재료를 이용하여 다종의 가스를 동시에 감지할 수 있는 가스센서에 대한 연구를 수행되고 있다.

2007년 APL(applied physics letter)에 발표된 내용에 따르면, 캠브리지대학교와 한국전자통신연구원에서 공동으로 SOI(silicon-on-insulator)-CMOS와 SWCNT(single-walled carbon nanotubes) 및 전도성 고분자의 나노재료 기술이 결합된 가스센서를 개발하였다. 이 가스센서는 100°C에서 10mW 이하의 저전력으로 10ppb(1ppm=1000ppb) 정도의 낮은 가스농도도 감지가 가능한 것으로 알려져 있다. 가스감지는 질소, 수소, 암모니아, 아세톤에 대하여 수행되었다[2].

1) SAW(Surface Acoustic Wave) 소자를 이용한 구동 방식

1979년에 처음으로 SAW 소자가 가스센서로 이용되었으며, 음파센서는 일반적으로 활성 표면에 달라붙는 물질의 질량에 의하여 공명주파수가 감소되는 원리를 이용한다. 고분자, sol-gel 및 높은 표면적을 갖는 물질을 코팅하여 물질의 흡착 및 탈착을 향상시키고 화학적 선택성을 부여함으로써 가스에 대한 화학적 정성 및 정량 분석이 가능하다.

SAW 소자를 이용한 가스센서는 포화알칸, 방향성 탄화수소, 염소화탄화수소, 알코올, 케톤, 유기인화합물 및 물의 감지용도로 활발하게 응용이 이루어지고 있다. 여기에는 DC 전류를고주파 펄스로 변화시키고 반대로 주파수 변화를 그에 비례하는 DC 변화로 변환시켜주는 ASIC(application specific intergrated circuit) 기술의 발전이 가장 큰 역할을 하고 있다.

3) Micro/Nano 공진자를 이용한 방식

감지재료가 형성되어 있는 진동자가 일정한 공진주파수로 진동하고 있는 동안 외부로부터 특정한 유해물질을 감지재료가 흡착하게 되면 진동주파수의 변화가 생기게 되는데, 그 변화량을 측정함

으로써 특정 유해물질의 양을 계산하여 대기에 있는 유해가스를 측정하는 센서이다.

일반적으로 QCM(quartz crystal microbalance)이라는 소자가 많이 사용되고 있으나, 최근 MEMS 기술을 이용하여 마이크로 캔틸레버, 마이크로멤브레인, 마이크로브리지 형태의 구조물상에 PZT(plumbum-zirconate-titanate) 등의 압전재료를 형성시켜 공진자를 제조하고, 그 위에 특정 유해가스를 흡착하는 특성을 갖는감지물질을 형성시켜 센서소자를 제조한다. 최근 연구 결과들에 의하면, 이론적으로femto gram: 10-15g) 이하의 초극미량도 측정 가능한 것으로 보고되고 있다. 따라서 이와같은 형태의 센서는 선진국은 물론 국내에서도 KIST 등에서 최근 바이오 센서용도로 응용하기 위한 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다.

2. 광학 방식을 이용한 가스센서 기술

광투과방식을 이용한 측정장치로는 DOAS(differential optical absorption spectrometer), FTIR(fourier transform infrared spectrometer), TDLAS(tunable diode laser absorption spectrometer), NDIR(non dispersive infrared), 마이크로폰을 이용한 광음향(photo acoustic) 방식 등이 있다. 비분산적외선(NDIR) 방식과 광음향(photo acoustic) 방식의 가스센서는 MEMS 기술을 적용함으로써 보다 소형화가 가능하여 제조원가를 줄일 수 있기 때문에 넓은 소비자층에 공급할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

1) 적외선 흡광 방식

적외선 흡광 방식의 가스센서는 비분산적외선, 스펙트로미터, FTIR 등의 다양한 방식을 이용하고 있는데, 특히 비분산 적외선방식은 비교적 소형화된 제품으로 상용화 되어있으며 기본적으로 적외선 광원, 밴드패스필터(band pass filter), 적외선센서, 그리고 가스셀로 구성된다.

가스들은 서로 다른 고유의 흡수 스펙트럼을 갖고 있기 때문에, 비분산 적외선방식의 대기센서

는 측정가스의 흡수 스펙트럼에 맞는 밴드패스 필터를 사용함으로써 특정가스만을 선택적으로 측정이 가능하다는 장점을 갖고 있다. 그리고 비분산 적외선방식의 대기센서를 소형화하기 위해서는 저 소비 전력을 갖는 소형의 적외선광원, 적외선흡수를 최대화할 수 있는 가스셀의 최적화 설계, 주변 온도변화에 따른 보상회로 설계 등의 기술들이 요구된다.

2) 광음향 방식

광음향 방식의 가스센서는 최근 소형의 고효율 적외선 반도체 레이저의 개발과 함께 연구가 활발히 진행되고 있다. 광음향 방식은기체뿐만 아니라 액체, 고체시료에 대해서도 측정을 할 수 있는 방법으로 원리적으로는 단파장에서 원적외선 그리고 마이크로파, X-ray 등의 다양한 광원을 이용할 수 있고 레이저와 같은 간섭성 광원 모두를 이용할 수 있다. 광음향 방식의 가스센서는 적외선 광원, 광변조기, 가스셀, 마이크로폰 등으로 구성된다.

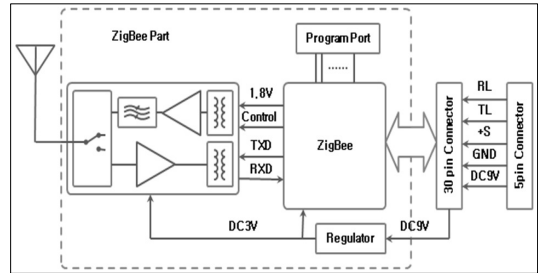
광음향 방식의 가스센서의 원리는, 가스셀내의 가스에 특정한 파장의 광을 조사하면 광에너지를 흡수한 가스분자들이 들뜬 상태로 여기되어 운동에너지가 증가하게 되며, 이렇게 가스분자들의 운동에너지 증가로 인해 분자들간의 충돌이 증가되어 가스셀에서 압력이 상승하게 된다. 이때 외부에서 변조된 광을 조사하면 이에 따른 가스분자들의 운동에너지의 변화도 주기적인 변조가 발생하여 결국 가스셀 내부의 압력은 주기적인 팽창 및 수축이 이루어져 압력의 변화인 음향이 발생하게 되는 것이다.

따라서 이러한 음향의 변화를 압력센서 또는 음향센서를 이용하여 측정함으로써 가스를 감지할 수 있게 되며, 음향의 변화크기를 측정함으로써 가스의 농도를 측정할 수 있다. 광음향 가스센서는 음향센서, 적외선 광원 등을 MEMS 기술을 이용하여 소형화와 함께 제조비용을 절감할 수 있는 기술에 대한 연구가 이루어지고 있다[2].

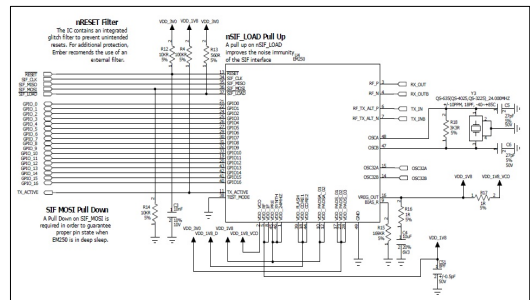
III. 가스 감지 무선 센서 시스템

1. 시스템의 설계

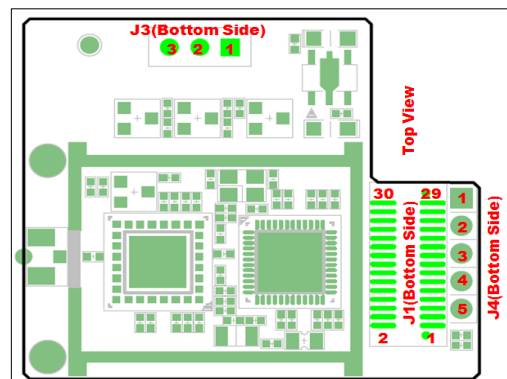
본 연구에서는 ZigBee를 이용하여 네트워킹을 구성하고, NH₃, CO, CO₂ 센서를 장착하여 각 가스를 감지하도록 구성하였다.



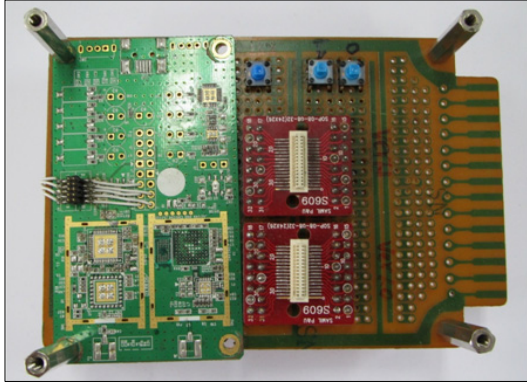
〈그림 2〉 블록 다이어그램
〈Fig. 2〉 Block diagram



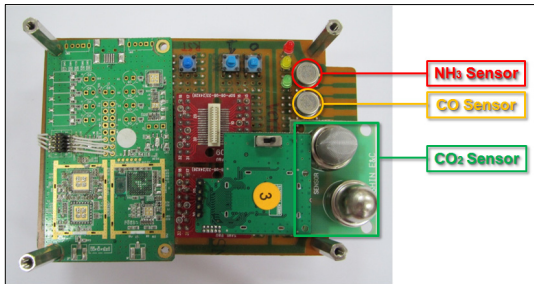
〈그림 3〉 ZigBee 회로도
〈Fig. 3〉 The Schematics of ZigBee main part.



〈그림 4〉 ZigBee 센서 모듈 PCB Layout
〈Fig. 4〉 The PCB Layout of ZigBee sensor module



〈그림 5〉 테스트 지그
〈Fig. 5〉 Test Jig



〈그림 6〉 제작된 ZigBee 센서 모듈
〈Fig. 6〉 The produced ZigBee sensor module

IV. 실험 결과

1. General Specification

〈표 1〉 일반적인 항목
〈Table 1〉 General Item.

Items	Specifications	Remarks
Communication Form	Half Duplex	-
Carrier Frequency Range	2405~2480MHz	-
Channel Spacing	5MHz	-
Number of Channel	16CH (11th~26th)	-
RF In/Output Impedance	50Ω /50Ω	Transmit / Receive

〈표 2〉 측정 조건
〈Table 2〉 Test Conditions.

Items	Remarks
Standard Test Condition	IEEE 802.15.4, ZigBee specification
Power Supply Voltage	DC 9.0V Input.
Module Mode	ZigBee: RF test mode (RF Evaluation Firmware)

〈표 3〉 동작 조건
〈Table 3〉 Operation Conditions.

Items	Remarks
Operating	Temperature : -40°C ~ +85°C Humidity : 5%~95%(No condensing)
Storage	Temperature : -50°C ~ +85°C Humidity : 5%~95%(No condensing)

2. Environmental Test

〈표 4〉 환경 측정
〈Table 4〉 Environmental Test

Items	Results	Remarks
Long term temperature test	Freq. accuracy : 100KHz typ. Output power : 20.0dBm max. RX sensitivity : -100dBm min.	20°C(-10°C)와 +50°C에서 각각 1시간 방치 후 그 온도에서 규정된 전원전압을 가하여 동작
Long term humidity test	Freq. accuracy : 100KHz typ. Output power : 20.0dBm max. RX sensitivity : -100dBm min.	+35 °C의 상대습도 95%에서 4시간 방치 후 상온상습에 복귀 후 규정된 전원전압을 가하여 동작
Continuance Test	Freq. accuracy : 100KHz typ. Output power : 20.0dBm max. RX sensitivity : -100dBm min.	통상의 사용상태로 8시간 동작 시켰을 때
Vibration test	Freq. accuracy : 100KHz typ. Output power : 20.0dBm max. RX sensitivity : -100dBm min.	규정에 의한 진동 시험 후 정격전압을 가하여 파손, 발화, 발연 등 이상 없이 동작
Drop test	Freq. accuracy : 100KHz typ. Output power : 20.0dBm max. RX sensitivity : -100dBm min.	규정에 의한 진동 시험 후 정격전압을 가하여 파손, 발화, 발연 등 이상 없이 동작

3. Electronic Characteristics

〈표 5〉 공급 전원
〈Table 5〉 Power Supply.

Items	Specification			Unit	Remark
	Min.	Typ.	Max.		
Operating Voltage	-	9	-	V	
ZigBee sleep mode	-		-	uA	Not Tested
ZigBee RX mode	-	30	-	mA	
ZigBee TX mode	-	240	-	mA	

〈표 6〉 송수신 성능
〈Table 6〉 Transmit/Receive Performance

Items	Specifications			Unit	Remarks
	Min.	Typ.	Max.		
Output power	-	20	21	dBm	TX power only
Frequency accuracy	-	-	200	KHz	
Frequency drift	2	5	7	KHz	
Receive sensitivity	-106	-	-	dBm	

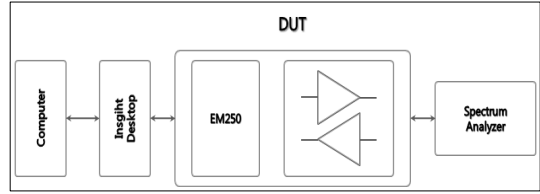
4. 출력 측정

1) 시험구성(RF Cable Insert Loss :

2.7dBm@2440MHz ; 2.8dBm@4000MHz.)

〈표 7〉 스펙트럼 아날라이저 설정상태
〈Table 7〉 The set state of spectrum analyzer.

Items	Value/Request
Ref. Level	30dBm
Center freq.	2405MHz, 2440MHz, 2480MHz
SPAN	100MHz
RBW/VBW	Auto(1MHz)
Sweep time	Auto(4ms)
Sweep Mode	Continue
Marker	해당 채널에서 Max Peak
Marker table	On

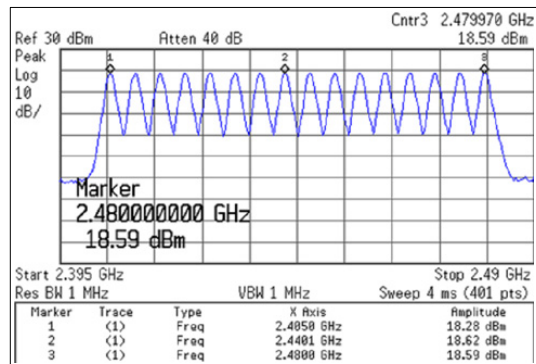


〈그림 7〉 시험 구성
〈Fig. 7〉 The test configuration.

2) DUT의 시험조건

최대출력, 무변조반송파로 전체대역에 대하여 최저, 중간, 최대주파수 측정

3) 측정결과 (2405MHz, 2440MHz, 2480MHz에서 측정)

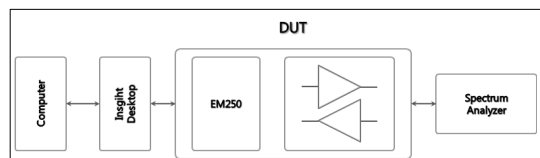


〈그림 8〉 측정결과(2405, 2440, 2480MHz)
〈Fig. 8〉 The measured results.(2405, 2440, 2480MHz)

5. ZigBee Unwated Emission Test

1) 시험구성(RF Cable Insert Loss :

2.7dBm@2440MHz ; 2.8dBm@4000MHz.)



〈그림 9〉 시험 구성
〈Fig. 9〉 The test configuration.

〈표 8〉 스펙트럼 아날라이저 설정상태
 〈Table 8〉 The set state of spectrum analyzer.

Items	Value/Request
Start Freq.	30MHz
Stop Freq.	6.7GHz
RBW	Auto(3MKHz)
VBW	Auto(3MHz)
Detector mode	Max Peak at spurious frequency
Trace	Max hold
Sweep time	Auto(16.7ms)
소인횟수	10회 이상
Mark table	On

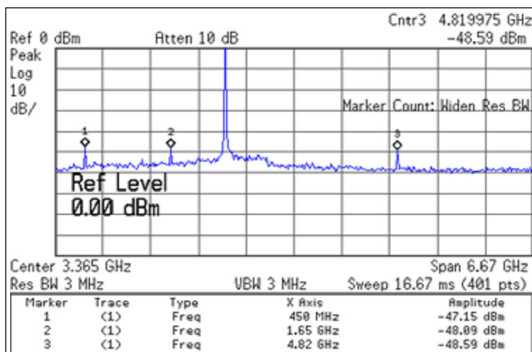
2) DUT의 시험조건

최대출력, 무변조반송파로 최저주파수(2405MHz), 중간주파수(2440MHz), 최고주파수(2480MHz)에 대해서 시험

3) 측정결과

(1) 30MHz~6.7GHz까지 탐색

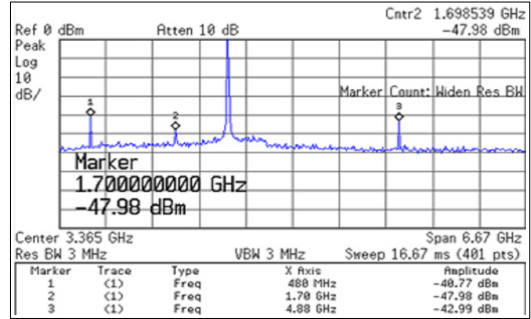
DUT최저주파수 2405MHz에서 송신 시 Spurious and 2ndHarmonic측정



〈그림 10〉 측정결과(30MHz~6.7GHz)
 〈Fig. 10〉 The measured results. (30MHz~6.7GHz)

(2) 30MHz~6.7GHz까지 탐색

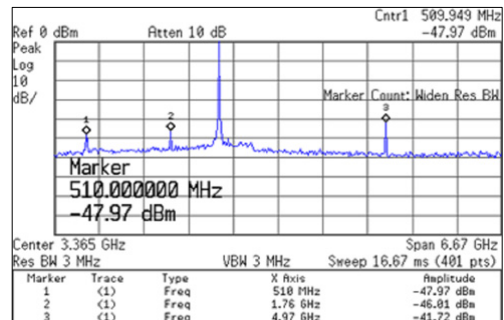
DUT중간주파수 2440MHz에서 송신 시 Spurious and 2ndHarmonic측정



〈그림 11〉 2440MHz 송신시 불요파, 2차 하모닉
 〈Fig. 11〉 Spurious and 2nd Harmonic for transmit at 2440MHz

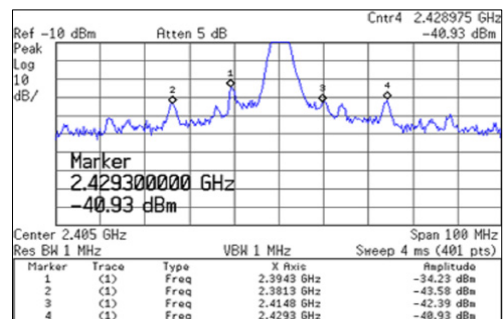
(3) 30MHz~6.7GHz까지 탐색

DUT최고주파수 2480MHz에서 송신 시 Spurious and 2ndHarmonic측정



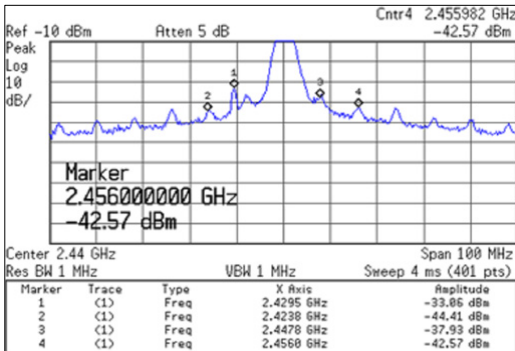
〈그림 12〉 2480MHz 송신시 불요파, 2차 하모닉
 〈Fig. 12〉 Spurious and 2nd Harmonic for transmit at 2480MHz

(4) DUT최저주파수(2405MHz) 바로 바깥쪽에서 발생하는 불요발사



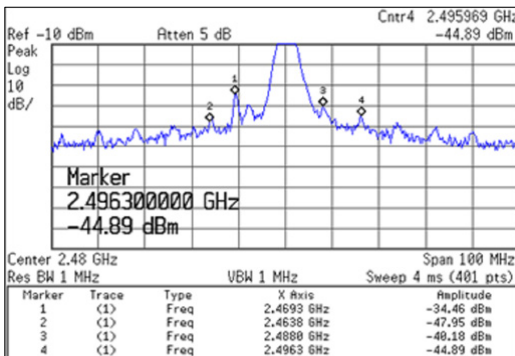
〈그림 13〉 2405MHz 불요파
 〈Fig. 13〉 Spurious at 2405MHz

(5) DUT 최저주파수(2440MHz) 바로 바깥쪽에서 발생하는 불요발사



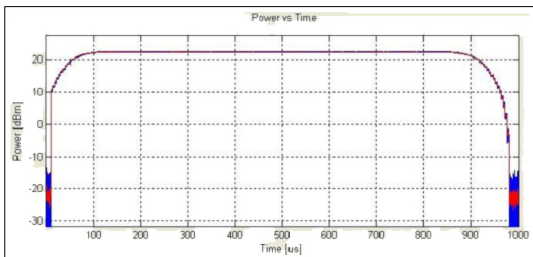
〈그림 14〉 2440MHz 불요파
〈Fig. 14〉 Spurious at 2440MHz

(6) DUT 최저주파수(2480MHz) 바로 바깥쪽에서 발생하는 불요발사

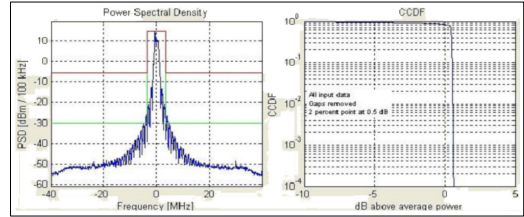


〈그림 15〉 2480MHz 불요파
〈Fig. 15〉 Spurious at 2480MHz

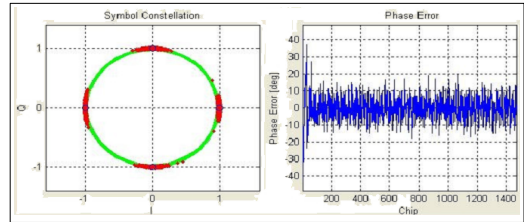
6. 기타 특성 측정



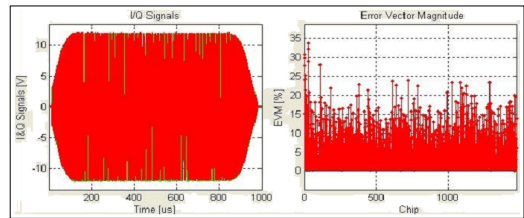
〈그림 16〉 RF 출력
〈Fig. 16〉 The RF output



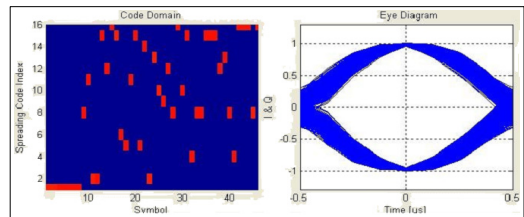
〈그림 17〉 마스크, 보완 누적분포 함수
〈Fig. 17〉 Mask, CCDF



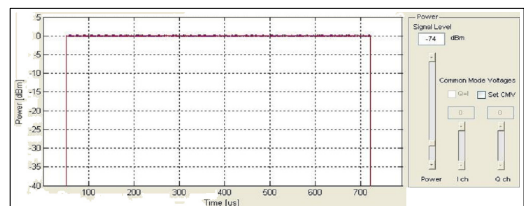
〈그림 18〉 심벌 성상도, 위상 오차
〈Fig. 18〉 Symbol Constellation, Phase Error



〈그림 19〉 I/Q 신호, 벡터 에러 진폭
〈Fig. 19〉 I/Q Signal, Vector Error Magnitude



〈그림 20〉 Code Domain, 아이 패턴
〈Fig. 20〉 Code Domain, Eye Diagram



〈그림 21〉 20dBm 감쇄기를 가지는 수신기감도측정
〈Fig. 21〉 RX Sensitivity Test with 20dBm Attenuator

V. 결 론

본 논문에서는 ZigBee 주파수 2.4GHz 신호를 기본으로 분주기와 체배기를 사용함으로 모듈은 대폭 간소화시킬 것으로 기대되며, 소형 저소비 전력화가 가능한 센서 노드로 개발이 가능하다.

본 논문에서 ZigBee CHIP과 가스 센서 소자 일체형의 경우 별도의 발진기가 필요 없고, 회로가 간단하므로 무선센서로서 저가형 상품이 가능하다.

또한, 유비쿼터스 센서 네트워크에 필수 디바이스로 사용이 가능하다.

유독가스의 발생위험이 큰 차량등에서 차량 이용자들이 유독가스 센서를 간단히 착용함으로써 가스 유출시 조기에 대처가 가능해지며, 네트워크 망을 구축하여 중앙통제실에서 유독 가스 노출에 대한 조기 경보 가능해진다.

차량내에서 발생하는 유독가스의 지속적인 감시를 할 수 있다.

또한, 지구 온난화에 대비하여 바이오 메탄올 시장규모는 증가 추세이다. 여기에는 바이오메이스 열병합 발전, 메탄가스 발전, 바이오 디젤 발전 기술들이 부상하고 있다. 이러한 발전 기술들은 폐수, 음식물쓰레기, 하수 슬러지, 산업 폐기물에 의하여 생산될 예정이다.

유독가스 검출 센서는 이러한 발전(發電) 과정에서 발생할 수 있는 유독가스로부터 인명을 안전하게 보호할 것이라 생각된다.

참고문헌

- [1] 중기청, 중소기업진흥공단 “가스센서의 시장기술 보고서”. 2009.
- [2] KETI, “대기센서”, 2008.
- [3] (주)휴인스 기술연구원, “유비쿼터스 무선네트워크 구조 및 응용”, 홍릉과학출판사, 2006.
- [4] 송면규, 오정균, 손성찬, “유비쿼터스 기반기술과 응용”, 석학당, 2008.
- [5] 심재창, 김익동, “지그비 기술의 응용과 실습”, 홍릉과학출판사, 2007.
- [6] 김명주, 광덕훈, “유비쿼터스의 이해”, 이한출판사, 2008.
- [7] 김완석, “세계 각국의 유비쿼터스 컴퓨팅 전략”, 전자신문사, 2003
- [8] 이기혁, “유비쿼터스 사회를 향한 기술과 서비스”, 진한엠엔비, 2005.
- [9] Keizo Watanave, 박환역, “유비쿼터스 RFID”, 성안당, 2005.
- [10] ZigBee Alliance, “ZigBee v1.0 Specification”, ZigBee Institute, 2005.

저자소개



김 호 찬 (Kim, Hyo-Chan)

2012년 1월 ~ 현 재 : 합참 지통부 체계연동과장
2010년 1월 ~ 2012년 1월 : 해군 교육사 정보통신학교장
2009년 1월 ~ 2010년 1월 : 해군 군수사 정보통신전대장
1988년 3월 ~ 1989년 2월 : 연세대학교 정보통신대학원
1979년 3월 ~ 1983년 2월 : 해군사관학교(공학사)



원 영 수 (Weon, Young-Su)

2010년 9월 ~ 현 재 : 경남대학교 공과대학 정보통신공학과(교수)
2007년 3월 ~ 2010년 2월 : 동아대학교 전자공학과 겸임교수
2003년 3월 ~ 2006년 2월 : 동명정보대학교 정보통신공학과 겸임교수
2001년 3월 ~ 2003년 2월 : 한국해양대학교 전파·정보통신공학부 겸임교수
1994년 10월 ~ 2007년 5월 : KNN부산방송기술국장 뉴미디어 정보센터장, 기술연구소장
1994년 10월 : KBS 한국방송 부장
2002년 2월 : 한국해양대학교 전자통신공학과(공학박사)



조 형 래 (Cho, Hyung-Rae)

1996년 ~ 현 재 : 한국해양대학교 전파공학과(교수)
2004년 ~ 2007년 : (재)한국조선기자재연구원(원장)
1993년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학박사)
1984년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학석사)
1982년 2월 : 광운대학교 응용전자공학과(공학사)