

논문 2008-45SD-10-9

# HF/UHF 멀티밴드 RFID 리더의 SiP 설계 및 구현

## ( Design and Implementation of System in Package for a HF/UHF Multi-band RFID Reader )

안 광 덕\*, 이 경 일\*, 김 지 끈\*, 조 정 현\*, 김 시 호\*\*

( Kwangdek An, Kyeong-il Yi, Jigon Kim, Junghyun Cho, and Shiho Kim )

### 요 약

UHF 대역과 13.56MHz를 동시에 지원하는 단일 패키지의 Multi band RFID 리더를 설계하고 SiP (System in Package)로 구현하였다. 제안된 리더 시스템은 UHF 대역에서 많이 사용되는 EPC Class1 Gen.2 표준과 HF대역인 13.56MHz에서 사용하는 ISO14443 A/B, ISO15693 프로토콜을 지원하고, RISC 코어에 탑재된 내장형 S/W에 의하여 동작 모드를 선택하도록 설계되었다. 제작된 시스템은 40mm × 40mm, 4 layer의 SiP 위에 구성되어 있으며 3.3V의 단일 공급전압으로 최대 210mA의 전류 소모를 통해 13.56MHz의 경우 최대 5cm, UHF 대역의 경우 최대 20cm 인식거리를 실현하였다.

### Abstract

We have proposed a UHF/HF multi-band RFID reader, and have implemented it into a system in a package(SiP). The proposed SiP RFID reader has been designed to support both for EPCglobal Class1 Generation2 protocol of UHF band, and 13.56MHz RFID protocols of ISO14443 A/B type, and ISO15693 standards. The operating mode is controlled by embedded RISC core, and the mode can be selected by users. The area of implemented SiP is 40mm × 40mm with 4 metal layers. The implemented reader SiP operates at single supply voltage of 3.3V. The maximum current consumption is 210mA. The operating distances are 5cm for 13.56MHz modes, and 20cm for UHF mode.

**Keywords :** RFID, Multi band, Multi protocol, RFID reader

### I. 서 론

RFID 시스템은 135KHz, 13.56MHz, 433MHz, 860~930MHz 그리고 2.4GHz의 여러 주파수 대역을 사용하고 있다. 그림 1은 RFID 사용 주파수별 특성과 주요 응용분야에 대해 나타내고 있다.

이러한 주파수의 차이에 따라 각 시스템 간의 장단점이 존재하고 이런 장단점으로 인하여 각기 응용되어지

는 분야에 차이를 두고 있다.

HF 대역인 13.56MHz의 저주파 RFID 시스템은 ISO14443 A/B type, ISO15693 표준을 통해 이미 우리 주위에 서교통카드, 주차관리, 출입관리 등의 용도로 폭 넓게 사용되고 있으며 ISO18092 표준은 NFC (Near Field Communication)에 사용되고 있다.

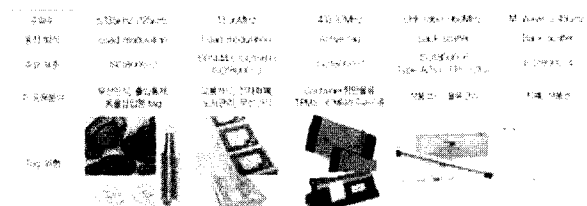


그림 1. RFID 사용주파수 대역 별 특성과 주요 응용분야<sup>[1]</sup>  
 Fig. 1. Frequency Band of RFID Systems and Main Applications<sup>[1]</sup>.

\* 학생회원, \*\* 평생회원, 충북대학교 전기전자컴퓨터 공학부

(School of Electrical & Computer Engineering Chungbuk National University)

※ 본 논문은 정부의 IT 연구개발프로그램 [2005-S-118-02, Development of SiP Technology]의 지원으로 수행된 정보통신연구개발사업의 위탁과제 연구결과이며 지원 기관에 감사드립니다.

접수일자: 2008년6월16일, 수정완료일: 2008년10월6일

반면 UHF 대역의 주파수를 사용하는 RFID는 인식 거리가 길고 데이터 처리 속도가 빠르며 주변 환경의 영향 또한 저주파 RFID에 비해 적다는 장점이 있어 EPCglobal에서는 바코드를 대체할 차기 유통관리시스템으로 UHF 대역의 RFID를 선정하여 EPCglobal Class1 Generation2 프로토콜을 제정하여 ISO18000-6 A/B에 이은 Type C에 포함시켰다. 이러한 기술적 장점으로 인하여 UHF 대역의 RFID는 근시일 내에 유통관리 시스템으로서 그 역할이 확대될 것으로 예상되어진다.

이러한 추세로 인하여 RFID 시스템을 통해 개별적으로 상품의 정보를 취득하고 가공하여 이용할 수 있도록 하기 위한 수요자 중심의 서비스에 대한 필요성이 대두될 것이라고 예상되어진다. 특히, 국내를 기점으로 연구, 개발이 진행되고 있는 모바일 RFID 시스템은 이러한 수요에 대비하기 위한 학계와 산업계의 준비사료된다. 현재 RFID 시스템에 대한 많은 연구가 진행되어 다수의 대역을 동시에 지원하는 RFID 시스템을 위한 태그의 경우 상용화되어 출시되어 있으며 리더 또한 보고된 바가 있다.<sup>[2]</sup> 하지만 지금까지의 리더 연구는 고정형을 위한 것이 대부분으로 Matching circuit가 외부에 존재하고 프로토콜을 처리하기 위해 DSP(Digital Signal Processor)를 사용함으로써 Foot print와 비용효율에 단점을 지니고 있어 모바일 분야에 적용하기에 적절치 못하다. 따라서 이러한 문제들을 해결하여 모바일 분야에 적용이 용이한 솔루션을 연구할 필요성이 있다. 표 1을 통해 모바일 RFID 표준의 주요 항목을 표시하였다.

모바일에의 적용을 위한 시스템들은 그 응용분야의 특성으로 인하여 소형과 저전력을 실현하여야 한다. 이러한 요구를 만족시킬 수 있는 시스템 설계 방법으로 SoC가 대표적이지만 개발비용과 기간의 증가로 Time to Market을 만족시키기 힘들고 RFID 리더와 같이 Mixed signal을 다루는데 어려움이 많다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 시스템 설계 방법으로 새롭게 대두되고 있는 것으로 SiP(System in a Package)를 들

표 1. 모바일 RFID 표준의 주요사항<sup>[3]</sup>  
Table 1. Key Specifications of Mobile RFID Standard<sup>[3]</sup>.

항목	Mobile RFID standard	국가별 주파수 허용 다름 국제 표준
Frequency (Reader)	902.5MHz~914MHz	
Frequency (Tag)	860MHz~960MHz	
Modulation	ASK, BPSK	
Data coding	Reader to Tag : P1E Tag to Reader : FMO, Miller	EPC Global Class 1 Gen 2
Frequency channel	200KHz, 27ee	Guard band 500KHz
Frequency selection	FHSS, LBT	미국과 유럽 방식 모두 수용
Transmit power	ERP 30dBm	

수가 있다.

본 논문에서는 SiP 기술을 이용하여 기존 산업계 및 생활에 폭넓게 사용되고 있는 13.56MHz의 ISO14443 A/B type와 ISO15693 그리고 추 후 산업계를 중심으로 확산될 UHF 대역의 EPCglobal Class1 Generation2를 동시에 지원하면서 단일패키지에 아날로그와 디지털 그리고 개별 소자들을 집적하여 모바일에 적용이 가능한 단일 패키지 솔루션을 제시하고자 한다.

## II. 본 론

### 1. 멀티밴드 RFID 리더 구조의 제안

그림 2는 HF RFID 리더의 전형적인 시스템 블록 다이어그램으로 물리적 인터페이스를 위한 안테나 및 아날로그 부분과 디지털 부분 그리고 외부와의 통신을 위한 MCU로 구성되어 있다.

그림 3은 UHF RFID 리더 시스템의 전형적인 블록 다이어그램으로 물리적 인터페이스를 위한 안테나와 RF 및 아날로그 부분 그리고 Base-band 처리를 위한 DBM (Digital Base-band Modem)과 처리된 데이터를 외부에 전달하기 위한 MCU로 구성되어 있다.

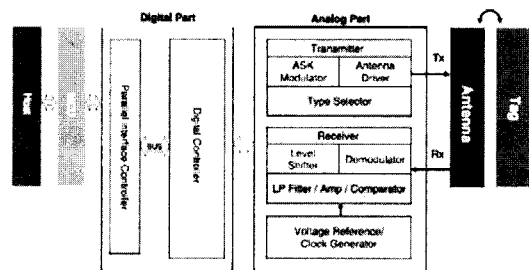


그림 2. 전형적인 HF RFID 리더의 블록 다이어그램<sup>[4]</sup>  
Fig. 2. Block Diagram of Conventional HF RFID Reader<sup>[4]</sup>.

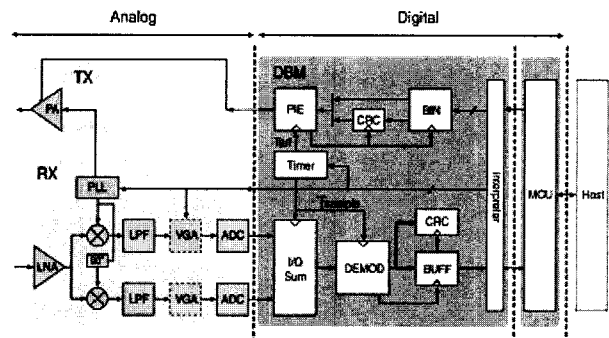


그림 3. 전형적인 UHF RFID 리더의 블록 다이어그램<sup>[3]</sup>  
Fig. 3. Block Diagram of Conventional UHF RFID Reader<sup>[3]</sup>.



인식과 처리된 데이터를 MCU로 전달하여 외부에서 활용될 수 있도록 하는데 목적이 있다. 본 논문에서는 해당 기능을 위한 DBM을 고성능 ARM7 core를 내장한 프로세서를 사용하였다. 이를 통해 13.56MHz의 프로토콜 제어와 동시에 UHF 대역의 DBM을 Software가 담당하게 된다.

UHF 대역의 RFID 리더는 Direct Conversion 구조를 채택하고 있으며 송신을 위한 부분과 태그로부터 응답을 받고 이를 Base-band로 변환하기 위한 수신 부분으로 나눌 수 있다. 그림 3.에서 보였던 것과 같이 변조를 위한 캐리어 주파수를 생성하기 위한 PLL, 변조된 RF의 파워를 증폭시키기 위한 PA (Power Amplifier), RX부와 TX를 분리하기 위한 Directional Coupler, RF신호를 Base-band 신호로 변환하기 위한 Mixer 그리고 노이즈를 처리하기 위한 필터가 있다.

TX 기능을 위해 중요한 부분은 ASK Transmitter와 PA가 있다. DBM에서 생성된 PIE 심볼 형태의 Base-band 신호를 ASK 변환하기 위하여 TI사의 CC1070 계열의 칩을 사용하였다. 그림 7은 해당 칩의 주요 블록 다이어그램으로 각 종 레지스터 세팅을 위한 Digital Modulator 부와 주파수 합성기, 멀티플렉서 등으로 구성되어 있다. TX단은 integer NPLL을 내장하여 Processor에 의해 원하는 채널의 주파수를 생성할 수 있도록 Frequency Hopping 기능을 가지고 있으며 전송하고자 하는 Data를 ASK변조하여 PA(Power Amplifier)에 직접 전달할 수 있는 기능 또한 지니고 있다. 고정형 Reader는 1W의 출력이 필요하며 모바일 Reader는 300mW의 출력이 필요하므로 PA는 이러한 범위를 만족하도록 구성하였다. VCO(Voltage Controlled Oscillator)의 출력 단이 PA의 입력과 Direct Conversion Mixer의 Local Osc.입력으로 사용되도록 회로를 설계하였다.

RX단은 Direct Conversion I/Q Demodulator 구성을 가진다. 이러한 기능설계를 위한 응용된 회로를 그림 8에 보이고 있다.

일반적으로 I signal과 Q signal를 이용하여 Tag의

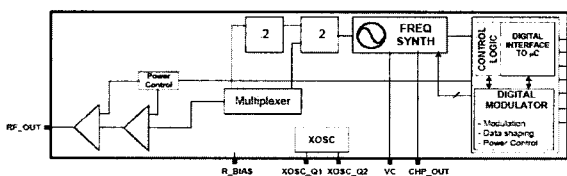


그림 7. ASK Transmitter의 Block Diagram  
Fig. 7. Block Diagram of ASK Transmitter<sup>[6]</sup>

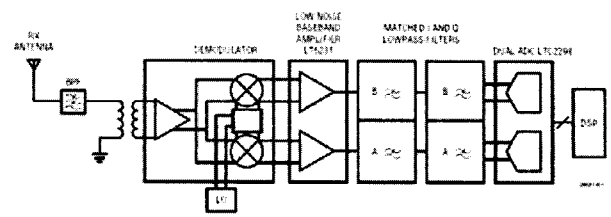


그림 8. RFID Reader용 I/Q Direct Conversion Demodulator 응용 등가회로<sup>[7]</sup>  
Fig. 8. I/Q Direct Conversion Demodulator Application Circuit for RFID Reader<sup>[7]</sup>

응답을 복구하게 되는데 I, Q signal에서 DC를 제거한 이후 ADC를 이용하여 digital 신호로 변환을 하고 DSP에 의하여 I, Q signal 간의 합과 차를 이용하여 data를 복구한다. 하지만 DSP를 사용하게 될 경우 상당히 복잡한 신호처리 과정과 Chip을 필요로 하므로 적당하지 않다. 따라서 본 논문에서는 DSP를 사용하지 않고 RX단의 Analog 부에  $\Sigma-\Delta$  회로를 구성하여 I signal과 Q signal의 합 또는 차를 산출하여 Processor에 입력함으로 Processor가 Tag의 응답신호를 복구하는데 어려움이 없도록 하였다. 이러한 경우 Processor는  $\Sigma-\Delta$  회로로부터 전달받게 되는 I signal과 Q signal의 합 또는 차의 값을 입력으로 선택할 수 있도록 설계하였다.

Processor는 내장된 Software에 의해 UHF대역의 EPCglobal Class1 Generation2 프로토콜을 위한 DBM

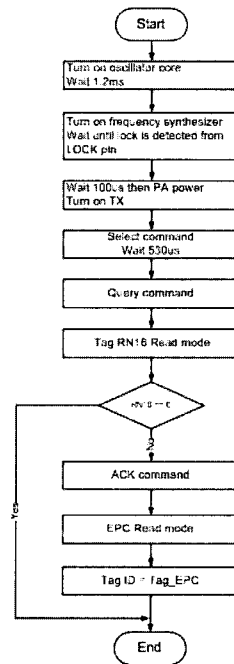


그림 9. SW에 의한 UHF 대역 프로토콜 제어 Flow Chart  
Fig. 9. Flow Chart for UHF Band Protocol Control.

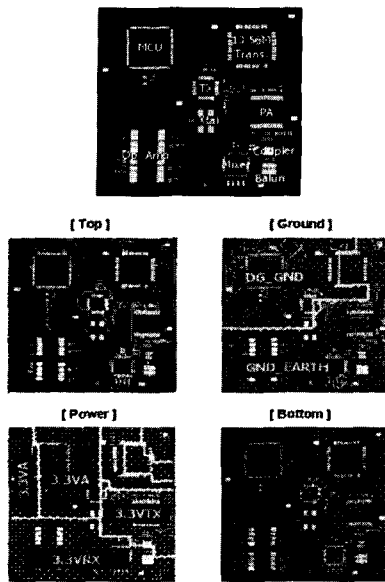


그림 10. 제작된 SiP RFID Reader의 Layout  
Fig. 10. Layout of Fabricated SiP RFID Reader.

표 2. 제작된 SiP RFID Reader의 주요사항  
Table 2. Main Specification of Fabricated SiP RFID Reader.

Item	Target Spec
Package type	PBGA
Package size	40mmx40mm
Chip stack	1
Package substrate layers	4
Package substrate stack	Top/Ground/Power/Bottom
Package pin out	1508 balls
Ball pitch/size	1mm/600um
Substrate material	BT
# of dies	10
# of passives	80
Substrate thickness	60um/300um/60um

의 역할을 수행하게 된다. 그림 9는 Software에 의해 해당 프로토콜이 처리되는 과정을 보이고 있다.

그림 10은 본 연구를 통해 설계한 SiP 리더의 패키지 Layout이다.

안테나를 제외한 13.56MHz와 UHF reader의 구성에 필요한 부품을 40mm × 40mm의 단일 패키지에 집적하였다. Chip들과 matching을 위한 저항, capacitor, balun, inductor 등의 수동소자는 패키지 내부에 flip chip 방식으로 soldering하였다. 제작된 Reader는 총 4층의 layer로 구성되어 있으며 표 2를 통해 그에 대한 주요사항을 제시하고 있다.

### 3. Dual-band 안테나의 구현

구현된 SiP RFID 리더에 적용을 하기 위한

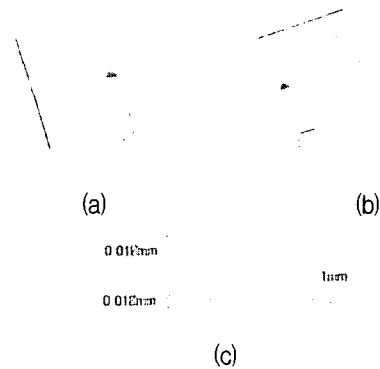


그림 11. 설계된 Dual-band 안테나 (a)UHF 안테나, (b)13.56MHz 안테나, (c)기판의 두께  
Fig. 11. Outline of Dual-band Antenna (a) UHF Antenna, (b)13.56MHz Antenna and (c)The thickness of materials.

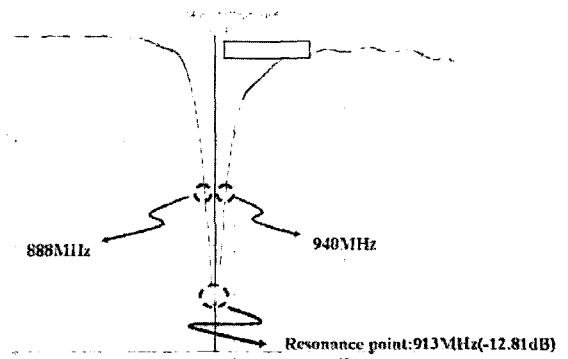


그림 12. UHF 안테나 패턴의 S-Parameter 시뮬레이션 결과  
Fig. 12. S-Parameter Simulation Result of UHF Antenna Pattern.

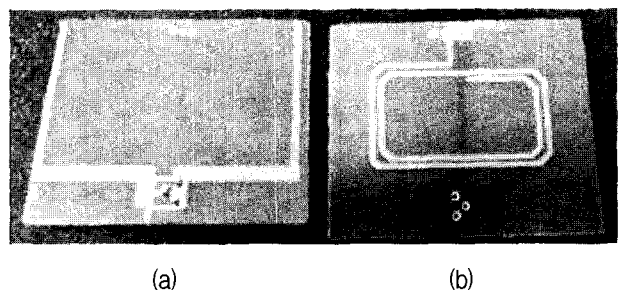


그림 13. 제작된 Dual-band 안테나 (a)UHF 안테나 패턴, (b)13.56MHz 안테나 패턴  
Fig. 13. Fabricated Dual-band Antenna (a)Antenna Pattern of UHF and (b)Antenna Pattern of 13.56MHz.

Dual-band 안테나를 CST Wave 설계 도구를 이용하여 설계하였다. 그림 11을 통해 설계된 Dual-band 안테나를 보이고 있다. 설계된 Dual-band 안테나는 FR4 재질을 기준으로 1mm의 두께에 패턴에 사용된 copper

의 두께는 0.018mm로 양면 설계되었으며 888~940MHz를 목표로 하는 안테나 패턴을 가진 면과 반대편 면에는 13.56MHz를 목표로 하는 안테나 패턴을 가지도록 하였다.

설계된 Dual-band 안테나의 UHF 안테나 패턴에 대한 S-Parameter 시뮬레이션 결과를 그림 12를 통해 보이고 있다. S11의 Resonance point가 913MHz에 -12.98dB로 나타나는 것을 시뮬레이션을 통해 확인 할 수 있었다.

그림 13는 제작된 Dual-band 안테나의 모습이다.

### III. 실험

#### 1. 13.56MHz 측정 결과

그림 14는 제작된 멀티밴드 RFID reader가 13.56MHz ISO 14443 A 모드로 작동하는 경우 안테나 단을 측정할 모습과 RS-232를 통해 Host에서 Tag의 정보를 출력하는 모습이다.

13.56MHz 모드로 작동할 경우 최대 동작 거리는 최대 5cm이며 3.3V전원으로 Idle시 150mA, 작동 시 최대 170mA를 소모하는 것을 확인할 수 있었다.

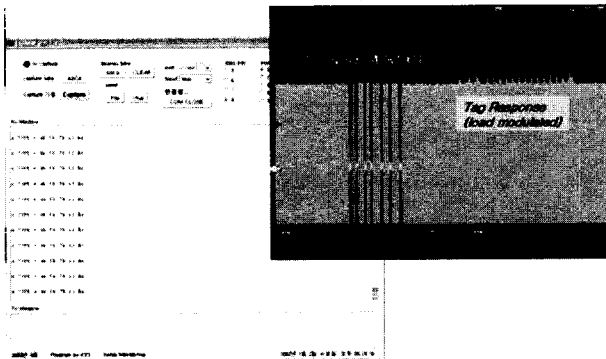


그림 14. 13.56MHz ISO 14443-A mode 측정 결과  
Fig. 14. Measurement Result of 13.56MHz ISO14443-A mode.

#### 2. 900MHz 측정 결과

그림 15는 제작된 멀티밴드 RFID reader가 EPC Class1 Gen.2 모드로 작동할 때를 측정할 결과이다. 위에서부터 mixer에서 나온 신호를 증폭하기 전의 LPF\_OUT과 안테나 그리고 Processor로 입력되는 신호를 측정할 모습이다.

900MHz 모드로 작동할 경우 최대 인식거리는 20cm이며 3.3V전원으로 Idle시 180mA, 작동 시 최대 210mA를 소모하는 것으로 나타났다.

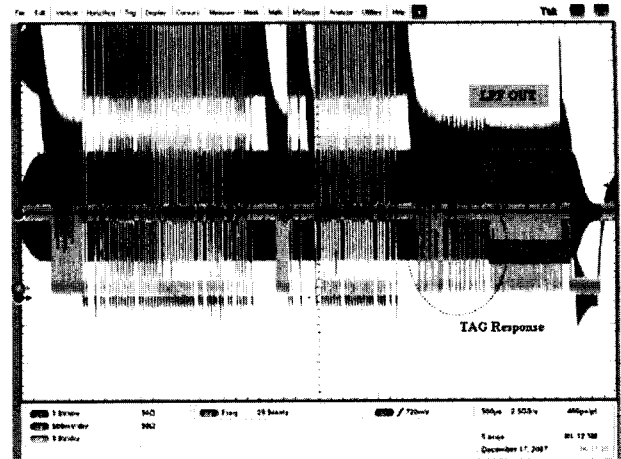


그림 15. UHF대역 EPC C1G2 mode 측정결과  
Fig. 15. Measurement Result of UHF EPC C1G2 Mode.

### IV. 결론

13.56MHz과 UHF대역을 위한 멀티밴드 RFID 리더를 SiP기술을 이용하여 설계함으로써 기존 제품대비 70%정도의 크기 감소를 실현하였다. ISO 14443A/B, ISO15693과 EPC C1G2의 다중프로토콜을 동시에 지원하는 멀티밴드 RFID SiP 기술을 제시하고 구현하였으며 3.3V의 전원에서 최대 210mA의 전류 소모를 통해 13.56MHz 대역의 Tag의 경우 인식거리 최대 5cm, EPC C1G2의 경우 인식거리 최대 20cm를 실현하였다. UHF 밴드의 RF 입력단의 잡음 특성이 부족하여 UHF mode에서의 동작거리가 다소 부족하지만 제작된 Multi-band RFID 리더는 Hand-held 내지는 Mobile 기기의 장착가능성을 확인하였다.

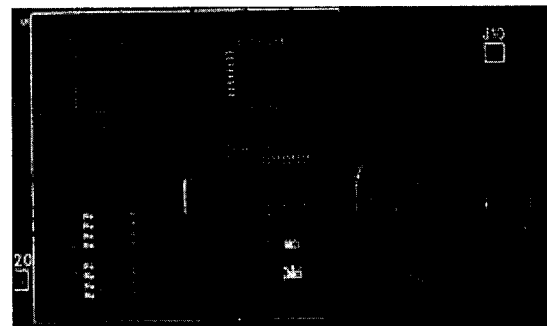


그림 16. 구현된 멀티밴드 RFID 리더 SiP의 실물모습  
Fig. 16. Fabricated Multi-band RFID Reader.

### 참고 문헌

[1] 김시호, "RFID의 동작원리와 종류", IDEC 뉴스레

터 103호, 2006. 01, 반도체설계교육센터

[2] Matthew Reynolds, Joseph Richards, Sumukh Pathare, Harry Tsai, Yael Magguire, Rehmi Post, Ravikanth Pappu, Bernd Schoner, "Multi-Band, Low-Cost EPC Tag Reader", White Paper, AUTO-ID Center, June 2002, <http://autoid.mit.edu>

[3] 김정호, 심유정, "Mobile RFID Reader의 설계", IDEC 뉴스레터 108호, 2006. 06, 반도체설계교육센터

[4] 김시호, "13.56MHz RFID Tag와 Reader의 설계", IDEC 뉴스레터 105호, 2006. 03, 반도체설계교육센터

[5] Datasheet, "TRH031M 13.56MHz Multi-Protocol Reader IC Version 2.4", 3ALogics, Dec. 2005.

[6] Datasheet, "Single-Chip Low Power RF Transmitter for Narrowband Systems", Texas Instruments, <http://www.ti.com>

[7] Datasheet, "SKY73009 400-3000MHz Direct Quad Demodulator", Skyworks, Jan. 2006.

[8] EPC Global Standard Class-1 Generation-2 RFID Version 1.0.9. Jan 2005.

저 자 소 개

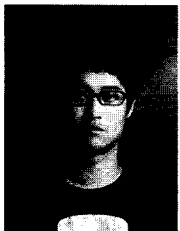


안 광 덕(학생회원)  
 2006년 원광대학교 반도체학과  
 학사졸업.  
 2008년~충북대학교  
 전기공학과 석사졸업.  
 2008년~삼성전자

<주관심분야 : System on Chip Design, HCI,  
 Embedded System, Ubiquitous Network>



이 경 일(학생회원)  
 2007년 원광대학교 전기전자  
 학사졸업.  
 2006년~현재 충북대학교  
 전기공학과 석사과정.  
 <주관심분야 : Power IC, Analog  
 circuit>



김 지 곤(학생회원)  
 2007년 원광대학교 전기전자  
 학사졸업.  
 2006년~현재 충북대학교  
 전기공학과 석사과정.  
 <주관심분야 : RFID, System on  
 Chip Design, High Speed I/O  
 Transceiver, Low Power Analog  
 IC Design>



조 정 현(학생회원)  
 1997년 원광대학교 전기전자  
 학사졸업.  
 2004년 원광대학교 반도체학과  
 석사졸업.  
 2006년~현재 충북대학교  
 전기공학과 박사과정.  
 <주관심분야 : System on Chip Design, RFID,  
 Analog Mixed Signal>



김 시 호(평생회원)  
 1986년 연세대학교 전자공학과 학사졸업.  
 1988년 KAIST 전기 및 전자공학과 석사졸업.  
 1988년~1991년 LG반도체 중앙연구소 주임연구원.  
 1991년~1995년 KAIST 전기 및 전자공학과 박사졸업.  
 1995년~1996년 LG반도체 중앙연구소 책임연구원.  
 1997년~2005년 원광대학교 전기전자공학부 부교수.

2005년~현재 충북대학교 전기전자공학부 교수.  
 <주관심분야 : SoC/SiP Design, RFID Reader 및 tag 개발, Thermo Electric Generator, Embedded  
 memory>