

## 지능형 무선 센서네트워크 구현을 위한 USN/RFID 모듈의 설계 및 제작에 관한 연구

### Design and Fabrication of USN/RFID Module for Intelligent Wireless Sensor Network

강이구<sup>1,a</sup>, 정현석<sup>1</sup>, 이준환<sup>1</sup>, 현득창<sup>1</sup>, 황성일<sup>2</sup>, 송봉섭<sup>2</sup>, 이상훈<sup>2</sup>, 김영진<sup>2</sup>, 오상익<sup>2</sup>, 주송호<sup>3</sup>, 이세창<sup>4</sup>  
(Ey Goo Kang<sup>1,a</sup>, Hun-Suk Chung<sup>1</sup>, Jun-Hwan Lee<sup>1</sup>, Deuk Chang Hyun<sup>1</sup>, Sung-Il Hwang<sup>2</sup>, Bong-Seob Song<sup>2</sup>, Sang-Hun Lee<sup>2</sup>, Young-Jin Kim<sup>2</sup>, Sang-Ik Oh<sup>2</sup>, Seung-Ho Ju<sup>3</sup>, and Se-Chang Lee<sup>4</sup>)

#### Abstract

This paper was proposed Intelligent and wireless USN/RFID module system that can overcome disadvantage of existing RFID system with no sensing module and wire communication. The proposed USN/RFID system was designed and fabricated. After fabricating new system, we analyzed the characteristics of USN/RFID module. After design VCO block that is point circuit to develop next generation system one chip of RFID system, we were carried out simulation and verified the validity. this paper was showed that VCO system was enough usable in wireless network module. USN/RFID Reader module shows superior result that validity awareness distance corresponds to 30 M in the case of USN and to 5 M in RFID Reader's case and 900 MHz of commercial frequency does practical use enoughly in range of high frequency. The USN/RFID Reader module is considered to act big role to Ubiquitous industry offering computing surrounding of new concept that is intelligence type service and that was associated to real time location system(RTLS), environment improvement/supervision, national defense, traffic administration etc.

**Key Words** : RFID reader, Tag, USN/RFID module, Wireless sensor network, Voltage controlled oscillator

#### 1. 서론

현재, 정보 통신 분야뿐만 아니라 산업 전반에 걸쳐 유비쿼터스 컴퓨팅 환경으로 가기 위해 통신망의 광대역화 및 기술의 융합화를 가속화하고 있으며, 이에 따라 유비쿼터스 환경하에서 무선센서네트워크(USN)가 근간이 되는 솔루션을 연구개발, 제품화에 노력하고 있으며, 또한 모든 사물에 전파

식별(RFID)등과 같은 컴퓨팅 기능이 부가되고 있고, 하나의 네트워크로 연결되는 유비쿼터스 센서네트워크(USN)시대 구현을 위해 노력하고 있다 [1-3].

이러한 유비쿼터스 네트워크의 핵심기술인 USN/RFID는 국내·외 시장에서 건설, 의료, 물류, 생산, 등 일부 분야에 활용되고 있으며, 앞으로는 칩의 저가화, 소형화 및 지능화의 추세에 따라 사회 전 분야로 확대·적용될 예정이며, USN/RFID를 병행하는 과도기적 단계를 거쳐 결국에는 지능형 유비쿼터스 센서 네트워크로 진화할 전망이다.

현재까지의 RFID 기술 수준이 근거리에서 Tag 내에 있는 정보를 Read 하여 데이터 송수신 기능만 할 뿐 센싱 기능이 없어 주변 환경변화를 감지하지 못하고 Tag사이간 통신이 이루어지 않아 능

1. 극동대학교 정보통신학부  
(충북 음성군 감곡면 왕장리 산 5)  
2. (주) 맥스포 기술연구소  
3. (주) 넥스트아이디 연구개발부  
4. (주) 이라인비즈 연구개발부  
a. Corresponding Author : keg@kdu.ac.kr  
접수일자 : 2005. 11. 8  
1차 심사 : 2005. 12. 12  
심사완료 : 2006. 1. 3

동적인 기능을 실시간으로 수행하지 못해 많은 응용분야 기술개발 및 필드 제품에 한계를 갖고 있는 것이 주지의 사실이다. 또한, Tag와 Reader는 무선 통신을 하지만 Reader와 서버 간의 네트워크 구성은 대부분 굵은 케이블(RS-232,RS-422, RS-485)로 연결되어 데이터를 송수신하고 있어 고 비용, 저효율을 초래하여 수 많은 네트워크를 구성할시 많은 어려움이 있다[4,5].

따라서 본 논문에서는 센싱기능이 없고, Reader와 서버 구간에 존재하는 유선통신의 기능을 제거하기 위하여 센싱기능을 포함한 USN/RFID 및 Reader와 서버간에 무선기능을 탑재한 새로운 모듈을 제안하여, 특성분석을 통하여 기능의 타당성을 검증하였다. 또한 모듈의 원집화를 추구하기 위하여 모듈 내에 들어가는 VCO 블록을 포함한 기본회로에 대한 설계 및 시뮬레이션을 수행하여, USN/RFID 모듈의 SoC를 위한 기반을 구축하였다.

## 2. USN/RFID 모듈의 기본구조 및 동작원리

기본적으로 RFID시스템 구성은 고유정보를 저장하는 RFID Tag와 판독 및 해독기능을 수행하는 RFID Reader, 태그로부터 읽은 데이터를 처리할 수 있는 서버, 응용 소프트웨어 및 네트워크로 구성되어 있다.

그림 2.1은 기존의 RFID 시스템과 본 논문에서 제안한 무선 USN/RFID 시스템의 구성을 보여주고 있다. 그림에서 나타난 것처럼 기존의 RFID 시스템은 RFID Tag와 Reader사이에는 무선으로 연결되어 있지만 데이터를 수신하는 RFID Reader와 서버간에는 통신 케이블로 연결되어 있어 시스템의 결합을 저해하는 요소로 구성되어 있다. 또한 Tag와 Reader사이에서 이루어지는 통신자체도 센싱기능이 없기 때문에 Ad-hoc 통신도 불가능하다고 할 수 있다. 이와 반면에 본 논문에서 제안한 새로운 USN/RFID 시스템은 Tag와 Reader사이 무선네트워크가 구성될 뿐만 아니라 다른 Tag와 Reader 또는 Tag와 Tag 사이에도 네트워크가 연결되는 Ad-hoc 네트워크가 가능하다. 또한 서버단에도 USN 센싱모듈 기능이 추가되어 Reader와 서버사이에도 무선 통신이 충분히 이루어지게끔 구성되어 있다.

RFID/USN 통합모듈은 크게 USN 모듈과 RFID 모듈로 구성되어 있으며, 두 모듈간의 통신규격을 호환되게 하기 위한 Gateway가 존재하는 구조로 구성되어 있다. 그림 2.2는 USN/RFID 통합모듈의 기본 구성도를 보여주고 있다.

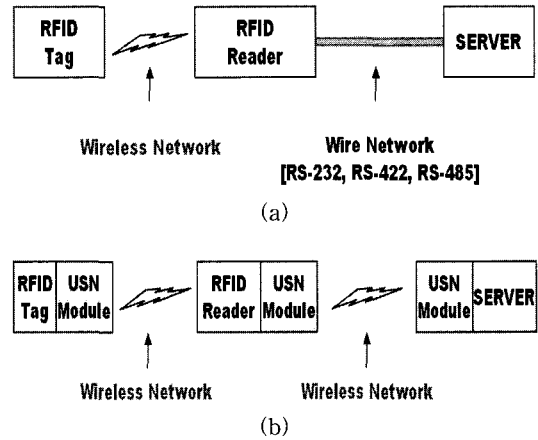


그림 2.1. 기존의 RFID 시스템 및 제안한 USN/RFID 시스템의 구성도.

Fig. 2.1. Existing RFID system and wireless USN/RFID system.

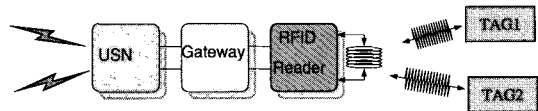


그림 2.2. USN/RFID 통합모듈 구성도.

Fig. 2.2. USN/RFID integrated module.

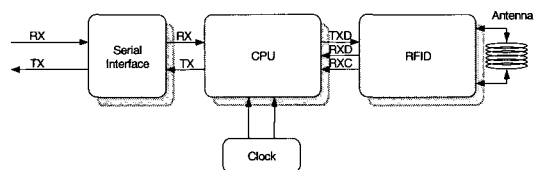


그림 2.3. RFID reader의 구성도.

Fig. 2.3. The block diagram of RFID reader.

그림 2.3은 USN/RFID 통합모듈에 포함되어 있는 RFID Reader의 내부 회로 블록도를 보여주고 있다. RFID Reader는 RFID 신호처리부와 CPU, Serial Interface로 구성되어 있는데, RFID 신호 처리부는 134.2 KHz 데이터 송신과 수신을 하게 되어 있으며 CPU로부터 tag data를 받아서 안테나를 통해 송신하고 tag로부터 수신되는 신호는 필터를 통과하여 신호처리부의 복조단에서 복조를

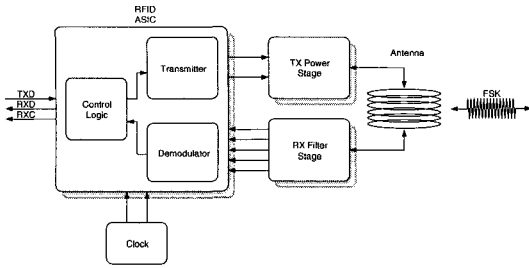


그림 2.4. RFID tag의 구성도.  
Fig. 2.4. The block diagram of RFID tag.

하게 된다. 복조된 데이터는 CPU에 전달되며 CPU에서는 tag 데이터의 이상 유무를 체크하게되며, 송신시에도 마찬가지로 데이터 이상유무 체크를 한다. 그리고 상위단과는 시리얼 인터페이스가 되어 있어 시리얼 데이터를 주고받으면서 동작을 수행한다.

그림 2.4는 RFID RF단은 RFID ASIC 칩과 송신 파워 앰프와 수신 필터로 구성되고 송수신 안테나가 연결된다. RFID ASIC은 한개의 칩에 송수신 기능을 결합시킨 칩으로 control logic에서 전력 전송을 위한 신호를 만들어내고 태그로 데이터를 전송하며 태그로부터 수신된 FSK 신호를 복조하고 증폭하는 기능을 가지고 있다. 또한 TX Power stage는 RFID ASIC로부터 나온 신호를 증폭하는 역할을 하며 P-channel과 N-Channel MOSFET으로 구성되어 있다. 그리고, 송신모드에서는 태그로 전력전송을 하고 ID코드 및 데이터를 송신한다. 데이터는 TXHI와 TXLO핀을 통해 MOSFET을 드라이브하고 LC공진 안테나를 통해 신호가 방사된다. 수신모드는 Demodulator에 있는 CMOS 인버터 태그로부터 수신된 FSK 신호를 증폭하여 필요한 레벨을 만들며, 태그로부터 오는 FSK 신호는 일정 신호 대역을 통과하도록 필터가 되어 있으며 수신부의 Binary discrimination은 FSK 신호에서 기준 주파수보다 크면 1로 하고 작으면 0으로 하여 이진 데이터를 추출해낸다. Demodulator에서 복조된 신호는 RXD핀을 통해 데이터가 출력되고 RXC핀의 클럭에 동기가 되어 있다. 이 두 핀의 데이터와 클럭을 CPU에서 처리하여 태그로부터 정보를 얻게 된다.

### 3. SoC를 위한 기본 회로 설계 및 결과

본 논문에서는 앞 절에서 서술한 RFID 시스템에 필수적으로 사용되는 VCO(Voltage Controlled

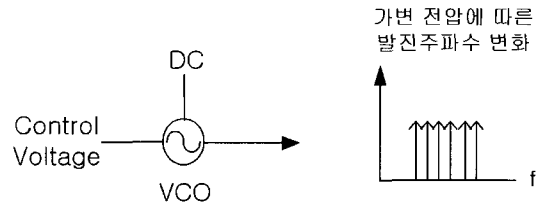


그림 3.1. 전압제어발진기 블록의 개념도.  
Fig. 3.1. The general concept of VCO.

Oscillator) 블록에 대해 연구하였으며, RFID/USN 모듈의 원칩화에 대한 기반기술을 구축하고자 하였다. 따라서 시스템의 핵심 회로에 해당하는 VCO 블록을 설계한 다음, 시뮬레이션을 수행하여 타당성을 검증하였다.

RF 시스템에서는 특정한 하나의 주파수만을 쓰는 경우는 거의 없고 정해진 대역 내에서 여러 주파수를 선택하여 사용하는 경우가 많다. 이러한 요구를 충족시키기 위해 외부에서 인가되는 전압의 변화에 의해 발진주파수를 조절할 수 있는 형태의 전압제어발진기(Voltage-Controlled Oscillator, VCO)의 설계가 요구되어진다. 시스템에서 필요로 하는 주파수를 만들기 위해 일일이 해당되는 주파수들을 만들어내는 발진기를 설계하기보다 발진기의 주파수를 결정하는 공진부를 가변 함으로써 발진 주파수를 바꿀 수 있도록 설계하는 것이 용이하기 때문이다. 공진은 기본적으로 인덕턴스(L)와 캐패시턴스(C) 성분의 에너지교환에 의해 이루어진다. 그러므로 공진부의 특성을 가변하려면 L이나 C에 해당할 만한 성분을 가변하게 된다. 가장 일반적으로 사용되는 방식은 공진부의 캐패시턴스를 가변시키는 방식이다. 이것은 배랙터(varactor)라는 편리한 다이오드를 이용하여 이루어진다. 배랙터 다이오드에 의해 가해지는 전압에 따라 캐패시턴스 값이 변하도록 적용한 것이다. 즉, 전압변화 -> 배랙터의 캐패시턴스 변화 -> 공진부의 공진주파수 변화 -> 발진주파수 변화와 같은 과정으로 발진기의 발진주파수를 가변할 수 있게 되며, 이와 같은 원리를 이용하여 만들어지는 것이 전압제어발진기이다. 이렇듯 시스템에서 원하는 주파수를 생성해내기 위해서는, 정해진 사용 주파수대역 범위내의 어떤 주파수라도 생성해낼 수 있는 VCO가 필요하다. 그림 3.1은 전압제어발진기에 의해 여러 가지 주파수가 출력되는 것을 보여준다.

이러한 원리로 본 연구에서 설계하고 있는 전압제어 발진기인 VCO는 외부에서 인가되는 전압의

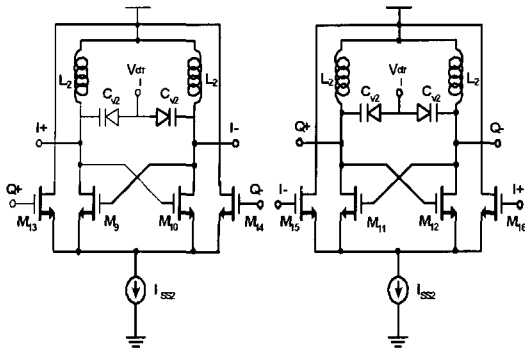


그림 3.2. 차동형 900 MHz 전압제어발진기.  
Fig. 3.2. Difference 900 MHz VCO.

변화에 의해 발진주파수를 조절할 수 있는 형태이며, 그림 3.2와 같다. 설계된 VCO는 부성저항을 이용한 차동형 구조이다. 즉 이 차동형 구조가 LC 탱크의 회로 손실과 발진을 위한 부성저항을 상보시켜주는 역할을 하여 지속적인 발진을 유도할 수 있게 된다.

이 VCO는 바이어스 전압 변화에 따른 RF VCO에 백터로 사용된 MOS 트랜지스터의 Capacitance 변화로 원하는 주파수 Tuning을 가능하게 하는 capacitive feed back을 통해 부성저항을 갖는 차동형 VCO 회로이다. capacitive coupling을 갖는 상호 결합된 차동형 구조가 LC 탱크회로의 손실과 지속적인 발진을 위한 부성저항을 공급하고 있다. 공진부에서는 컬렉터와 연결된 인덕터가 백터와 함께 공진을 하여 발진 주파수를 결정하고 안정화 시킨다. 그리고 공진부의 백터에 역방향 전압을 증가시키면 공간 전하 영역이 넓어져서 백터의 캐패시턴스가 작아지고, 역방향 전압을 감소시키면 공간 전하 영역이 좁아져서 캐패시턴스가 커지기 때문에 역방향 전압의 의한 캐패시턴스의 크기에 의하여 공진주파수를 결정할 수 있다. 이 캐패시턴스 값은 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$C_j = \frac{A}{2} \left[ \frac{2q\epsilon N_d}{V_0 - V} \right]^{1/2} \quad (3.1)$$

즉, 식 3.1에 의해 역방향 전압에 따라서 집합 캐패시턴스가  $[1/V_0 - V]^{1/2}$ 에 비례하는 특징을 가지며, 이와 같이 역방향 전압에 의한 백터의 캐패시턴스 변화에 따라 공진주파수를 변화시켜서

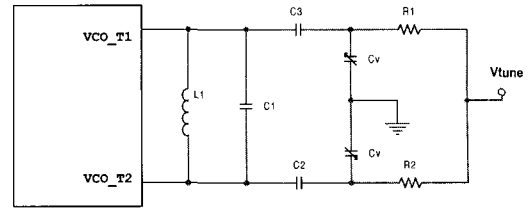


그림 3.3. VCO 외부의 LC 공진회로.  
Fig. 3.3. The LC resonant circuit of VCO.

튜닝레인을 얻을 수 있게 된다. 설계된 RF VCO의 버퍼에는 외부 변동으로부터 공진기를 격리시키고, 높은 입력 임피던스와 낮은 출력 임피던스를 제공하여 부하에 전달되는 전력이 최대가 되도록 하는 이미터-폴로워 형태를 사용하였다. 입력 포트의 임피던스는 원하는 공진주파수에 의해 결정된다. 실제로 VCO는 전압에 의해 가변되지만, 온도변화나 전압불안정과 같은 외부적 영향에 약하다는 문제점이 있다. 즉 원하는 발진주파수가 고정되지 않고 흔들리게 되는데, 원천적인 source가 흔들려 버리면 시스템이 정상적으로 동작할 수가 없다. 그래서 VCO는 주파수안정성을 향상시키기 위한 각종 기술이 필요한데, 이런 일련의 과정을 통하여 locking이 이루어진다. 이러한 원리에 의하여 설계된 VCO는 그림 3.3에서와 같이 칩 외부의 LC 공진회로와 함께 동작한다. VCO의 발진 주파수를 조절하기 위해 인가 전압에 따라 가변 용량 특성을 갖는 varactor 다이오드가 많이 사용되고 있다. 그림 3.3에서 L1과 C1은 LC 공진회로의 inductance와 capacitance를 나타내며, C2와 C3는 dc blocking을 위한 커패시터이다. Cv는 varactor 다이오드의 가변 용량 (variable capacitance)을 나타낸다.

설계된 VCO는 860 MHz에서 950 MHz사이의 동작 주파수 범위를 갖는 CMOS VCO이며, LC 공진회로의 quality factor에 무관하게 항상 일정한 진폭의 발진이 가능하다. 설계된 RF VCO의 모의 실험을 RF Spectre 및 ADS를 이용하여 수행하였다. 모의실험 결과 설계된 VCO는 900 MHz의 주파수에서 -117 dBc@1 MHz의 위상잡음 특성을 보였다. 그림 8에 설계된 RF VCO의 Transient 특성을 나타내었다. 약 40 ns 후에는 안정된 출력 파형을 얻을 수 있다. 그림 3.4에 설계된 RF VCO의 위상잡음 특성을 나타내었다. 1 MHz의 오프셋에서 117 dBc/Hz의 위상잡음의 특성을 확인할 수 있다. 이를 통하여 충분한 Noise-Margin이 확보됨을 알

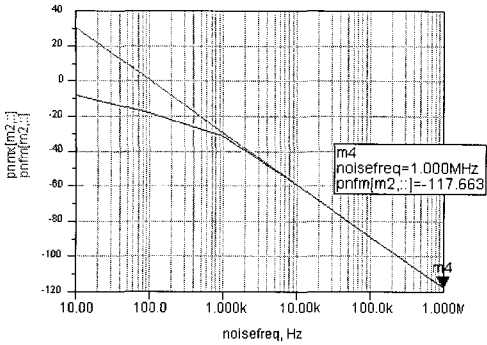


그림 3.4. 설계된 RF VCO의 transient 해석.  
Fig. 3.4. The transient analysis of RF VCO.

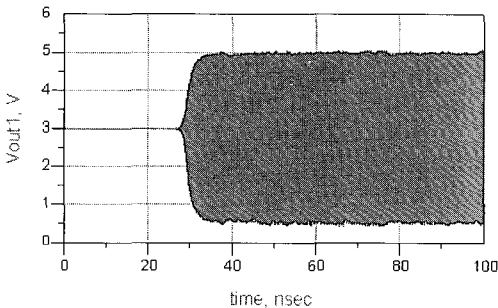


그림 3.5. 설계된 RF VCO의 위상잡음 특성.  
Fig. 3.5. The phase noise characteristics of RF VCO.

표 3.1. 설계된 RF VCO의 특성.  
Table 3.1. The characteristics of RF VCO.

항목	결과
공급전원	1.25 V
Center Frequency	900 MHz
Tuning 전압	0.5 ~ 1.0 V
Tuning 범위	850 ~ 960 MHz
Output Power	> -9 dBm
위상잡음	> -117 dBc/Hz (@1 MHz Offset)

수 있다. 이는 발진 주파수에서 -9 dBm의 출력 전력과 캐리어 대비 -27 dBc 정도의 고조파 억압 특성을 얻을 수 있었다. 만약 역위상 출력을 갖는 차동형 구조에서 한쪽 출력단이 180° 위상차를 가지며 결합 될 경우 출력 신호의 크기가 두 배로 증가되는 효과가 있게 된다.

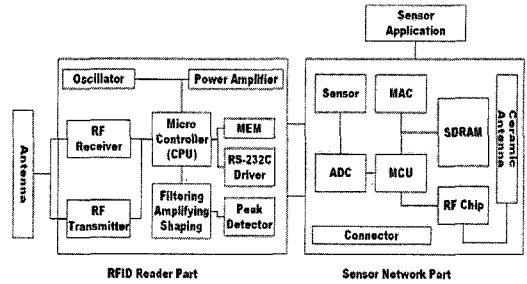


그림 4.1. 설계한 USN/RFID reader의 전체 시스템 블록 다이어그램.

Fig. 4.1. The block diagram of designed USN/RFID reader system.

표 3.1에 설계한 RF VCO의 특성을 요약하였다. Output Power는 -9 dBm 이상으로 나타났고, 원하는 주파수인 900 MHz에서 정확히 발진함을 알 수 있고, RFID Reader 부분의 원칩화를 이루는데 충분히 활용할 수 있다고 판단된다.

#### 4. USN/RFID 모듈의 설계 및 제작

본 논문에서는 지능형 무선 센서 네트워크에 사용할 수 있는 USN/RFID Reader를 우선적으로 설계하여 제작한 다음, 그 특성을 분석하였다. 사용된 CPU는 8 bit Core를 채용하고, RISC 아키텍처로 형성되어 있다. 즉 130 명령, 싱글 사이클 명령을 수행하며, 32개 일반 레지스터를 갖고 있다. 또한 16 MHz에서 16 MIPS Throughput을 하며, 2-사이클 멀티플라이어 내장하고 있다. 그리고 비휘발성 프로그램 및 데이터 메모리를 갖고 있는데, 8 K Byte Flash, 512 Byte EEPROM 및 1 K Internal SRAM으로 구성되어 있다. 그림 4.1은 USN/RFID Reader의 전체 블록다이어그램을 보여주고 있으며, 그림 4.2는 관련된 RFID Core의 회로도도를 보여주고 있다.

그림 4.2에서 나타난 것 처럼, RFID Reader 모듈을 구성하였고, 그것을 USN 모듈과 결합하였다. 그림 4.3 은 제작한 USN/RFID Reader 모듈의 실제 제작 사진을 보여주고 있으며, 표 4.1은 제작한 모듈의 특성을 나타내고 있다. 표에서 나타난 바와 같이 송신주파수는 125 KHz의 대역을 갖고 있고, USN 네트워크는 900 MHz의 범위에서 사용 가능

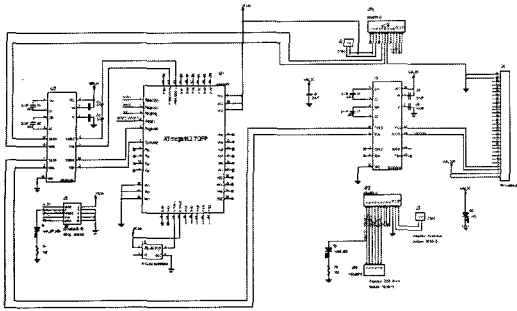


그림 4.2. RFID reader core 회로도.  
Fig. 4.2. The circuit of RFID reader core.

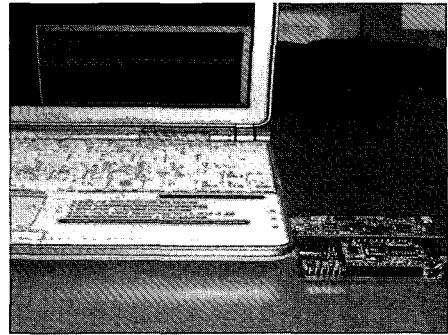


그림 4.4. 제작한 모듈의 서버 장착.  
Fig. 4.4. The installation of fabricated module.

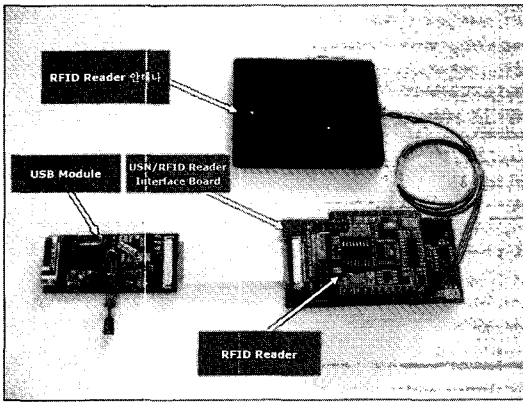
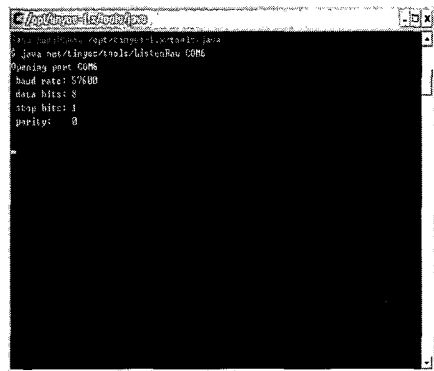


그림 4.3. 실제 제작한 USN/RFID reader 모듈.  
Fig. 4.3. The fabricated USN/RFID reader module.

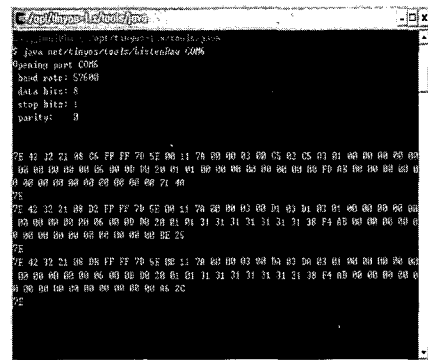
표 4.1. USN/RFID reader의 특성.  
Table 4.1. The characteristics of USN/RFID reader.

항목	특성
송신주파수	125 KHz 대역(RFID), 900 MHz(USN 네트워크)
수신주파수	900 MHz(USN 네트워크)
유효인식거리	5 M(RFID인식거리), 30 M(USN 네트워크)
동시인식	80~100개
태그 Writing	가능
인터페이스	RS232

하다. 유효인식거리 또한 RFID 인식거리는 5 M, USN 네트워크의 인식거리는 30 M로 상당히 우수한 결과를 도출하였다. 또한 동시인식도 80-100개



(a) Tag로부터 정보를 읽기전의 초기화



(b) Tag로부터 전송된 정보 데이터

그림 4.5. USN/RFID 모듈의 tag 정보 전송.  
(a) Tag로부터 정보를 읽기전의 초기화  
(b) Tag로부터 전송된 정보 데이터  
Fig. 4.5. The tag data flow of USN/RFID module.

(a) Initialization  
(b) The transmitted information data

도 가능하여 Ad-hoc 네트워크도 충분히 가능하다는 것을 알 수 있다.

또한 그림 4.4는 본 논문에서 제작한 모듈을 컴퓨터에 장착하여 실제 Tag로부터 들어오는 정보를 읽을 수 있음을 보여주고 있으며, 제작한 USN/RFID 모듈은 그림 4.3에서 나타낸 것 처럼 USB 포트를 장착하여 손쉽게 서버에 장착이 가능함을 알 수 있다.

그림 4.5는 실제 USN/RFID 노드에서 인식하고 있는 것을 보여주고 있다. 그림 4.4(a)는 Tag의 정보를 읽기전의 모습을 보여주고 있으며, 그림 4.4(b) Tag로부터 정보를 읽을 후의 모습을 보여주고 있는데, 여러개의 노드에서 정보가 동시에 들어오고 있는 것을 보여주고 있어, 본 연구에서 개발한 USN/RFID Reader가 충분히 활용 가능하다는 것을 보여 주고 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 센싱기능이 없고, 서버와 Reader의 유선 시스템을 갖는 기존의 RFID 시스템의 단점을 극복하고, 대체할 수 있는 지능형 무선 센서 네트워크 모듈을 제작하여 그 특성을 분석하였으며, 차세대 시스템 온 칩 RFID 시스템을 개발하기 위하여 핵심회로인 VCO 블록을 설계한 다음, 시뮬레이션을 수행하여 그 타당성을 검증하였다. 기본 회로인 VCO 시스템은 무선 네트워크 모듈에 충분히 사용할 수 있다는 것이 검증되었으며, 제작한 USN/RFID Reader 모듈은 유효인식거리가 RFID Reader의 경우 5 M, USN의 경우 30 M에 해당하는 우수한 결과를 보여주고 있으며, 상용주파수도 900 MHz로서 고주파수에서도 충분히 활용 가능함을 보여주었다. 따라서 본 논문에서 제작한 USN/RFID Reader 모듈은 공공기관의 국가 물류

망 고도화, 환경개선/관리, 국방, 교통관리등과 민간부분의 건설, 유통, SCM, 자산관리 분야등에 연계된 지능형 서비스라는 새로운 개념의 컴퓨팅 환경을 제공하여 유틸리티 산업에 큰 역할을 할 수 있을 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 논문은 정부기관인 산업자원부에서 진행하는 2005 공통핵심기술개발사업의 지원에 의해 이루어 졌음.

## 참고 문헌

- [1] U. Kaiser and W. Steinhagen "A low power transponder IC for high performance identification systems", ĆICC, p. 335, 1994.
- [2] Kaiser, U. and Steinhagan W., "A low-power transponder IC for high-performance identification systems", IEEE JSCC, Vol. 30, No. 3, p. 306, 1995.
- [3] R. M. Hornby, "RFID solutions for the express parcel and airline baggage industry", in Proc. IEE Colloq. RFID Technology, London, U.K., p. 2/1 - 2/5, 1999.
- [4] K. V. S. Rao, "An overview of backscattered radio frequency identification system(RFID)", in Proc. Asia Pacific Microwave Conf., Singapore, Vol. 3, p. 746, 1999.
- [5] The Palomar Project, "Passive Long Distance Multiple Access UHF RFID System", European Commission, Public Report, Project Number IST1999-10339, 2002.