

# 초저전력 무선통신을 위한 패킷 예측 알고리즘을 이용한 능동형 RFID 시스템 구현

이 경 훈\*, 이 배 호\*, 김 영 민<sup>o</sup>

## Implementation of Active RFID System Using Prediction Packet Algorithm for Ultra Low Power Wireless Communication

Kyung-hoon Lee\*, Bae-ho Lee\*, Young-min Kim<sup>o</sup>

### 요 약

본 논문에서는 무선 통신에 사용되는 저 전력 통신 기법들에 대해 살펴보고 초 저 전력 무선통신이 가능한 능동형 RFID(Radio Frequency Identification) 시스템에 적용할 수 있는 새로운 프로토콜과 알고리즘을 제안한다. 제안된 기술을 바탕으로 MCU와 RF Transceiver, 칩 안테나 등을 이용하여 송수신 모듈을 구성하였고 내부 전원을 위해 리튬 코인 배터리를 사용하였다. 구현된 리더와 태그의 실험을 통해 송신 시 초당 약  $10\mu\text{A}$  이하, 수신 시 초당 약  $30\mu\text{A}$  이하의 소비 전류를 측정하였고 이를 바탕으로 초 저 전력 무선통신이 가능함을 확인하였다. 이러한 결과는 수신되는 패킷의 도착 시간을 동적으로 예측하는 알고리즘으로 가능하며 장 시간 통신할 때에도 방전되지 않는 조건 하에 링크가 끊어지지 않은 장점을 가지고 있어 오작동을 막고 응답성을 향상시킬 수 있음을 나타낸다.

**Key Words** : Active RFID, Ultra Low Power, Prediction, Protocol, Transceiver

### ABSTRACT

In this paper, we introduce the low power wireless communication method and propose new protocol and algorithm for wireless communication which can be applied Active RFID system. Transceiver module is composed of MCU, RF transceiver and chip antenna. and it used the lithium coin battery for power supply. The experimental result is confirmed minimum power consumption which show average  $10\mu\text{A}$ (packet transmit) and  $30\mu\text{A}$ (packet receive) per second. It can be used ultra low power wireless communication. this result is possible for using the algorithm which predict the arrival time of packet. and it indicates that are possible to prevent malfunction and enhance responsiveness.

### I. 서 론

RFID는 유비쿼터스 사회를 구현하는 핵심기술로 각종 물품에 소형 칩을 부착하여 사물의 정보와 주변 환경정보를 무선주파수로 전송하여 처리하는

비접촉식 인식시스템으로써 기존 바코드의 단점을 보완하여 사물의 정보화를 촉진시키고 있다.

리더와 태그로 구성되는 RFID 시스템은 전력 공급 방식에 따라 수동형(Passive)과 능동형(Active)로 구분한다. 수동형은 리더로부터 수신

※ 본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

◆ 주저자 : 전남대학교 전자컴퓨터공학과 회로시스템 연구실, naikid.kh@gmail.com, 정회원

° 교신저자 : 전남대학교 전자컴퓨터공학과 회로시스템 연구실, kym@jnu.ac.kr, 정회원

\* 전남대학교 전자컴퓨터공학과 인공지능/컴퓨터비전연구실, bhlee@jnu.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2012-02-099, 접수일자 : 2012년 2월 29일, 최종논문접수일자 : 2012년 7월 5일

되는 전파로부터 에너지를 받아 데이터 저장, 및 RF 송신을 수행하는 반면에 능동형은 별도의 배터리로 에너지를 공급받아 자체적으로 정보를 송신한다. 식별기능만을 제공하는 수동형 태그에 비해 센서 등을 이용하는 능동형 태그는 식별기능 뿐만 아니라 센서를 통해 다양한 정보를 제공해 줄 수 있으며 배터리와 같은 내부 전력 공급원 사용함으로써 수동형에 비해 먼 거리까지 사용이 가능해 짐으로써 공항이나 항만의 Pallet, 컨테이너 관리, 공장의 부품관리 등과 같이 긴 인식거리가 필요한 다양한 분야에 적용되고 있다.

대표적인 능동형 RFID 시스템의 ISO 18000-7 표준<sup>[1]</sup>은 433MHz 대역의 주파수를 사용하여 채널 대역이 200Khz인 단일 채널 시스템으로 군수품 관리, 항만자동화 분야에 도입되어 사용 중이며 응용 분야의 확대로 기본적인 식별 기능 이외에 사용자 또는 각종 센서의 정보 전달, 실시간 위치 측위(RTLS) 등의 추가 기능이 요구되고 있다. 하지만 이러한 기능을 수행하는데 ISO 18000-7 표준은 27.8kbps 수준의 낮은 전송속도와 채널 중복에 의한 간섭으로 인한 성능저하 가능성이 존재하며, 특히 433Mhz는 다중경로전파(Multi - Path Propagation)나 파장 등의 주파수 특성 상 2.4GHz 와 같은 다른 주파수에 비해 실시간 측위 측면에서 유리하지 못하다. 또한 국내 전파법에 의해 433Mhz는 항만 지역에서만 쓸 수 있도록 규제되어 있어 433Mhz 시스템 도입에 걸림돌이 되고 있다.

ISO 18000-7 능동형 RFID 표준의 기술적 한계를 극복하기 위해 ISO TC104에서 433MHz와 2.4GHz 대역을 동시에 사용하도록 표준을 수정하였고 433MHz 대역은 ISO/IEC 18000-7의 무선 인터페이스를 기본적으로 따르며, 2.4GHz 대역은 ISO/IEC SC31/WG5의 RTLS 표준인 ISO 24730-2의 무선인터페이스 규정을 준수하도록 하고 있다<sup>[2]</sup>. 2.4GHz 주파수 대역은 ISM 밴드로서 별도의 사용권한 획득이 필요 없으며 활용 가능한 주파수 대역이 100MHz 이상으로 하나의 채널에 ISO-18000-7 표준의 5배에 해당하는 1MHz를 할당하여도 100여개 이상의 다채널을 구성할 수 있다.

이러한 능동형 RFID 시스템 설계는 넓은 응용 범위에 사용할 수 있는 매우 작은 크기와 저비용, 저 전력 기기들로 점점 확대되어 가고 있다. 이에 따라 이들의 전력 소모는 큰 이슈가 되어가고 있고

특히 능동형 RFID 시스템은 리더와 태그가 지속적으로 통신이 유지되어야 하며 통신이 불가능할 때 이들을 복구하기 위해 많은 전력을 소모하게 된다.

본 논문에서는 이러한 전력 소모의 문제를 개선하기 위해 패킷 예측 알고리즘을 이용하여 2.4GHz 주파수 대역의 배터리와 같은 내부전원으로 동작하는 능동형 RFID 시스템을 구현하였다. 2장에서는 논문에서 제안하는 2.4GHz 능동형 RFID 시스템에서 사용한 초 저 전력 프로토콜과 알고리즘에 대해서 서술하고 3장에서 이를 이용하여 구현한 시스템을 소개하였다. 4장에서는 구현한 시스템을 검증 평가하였고 5장은 논문의 결론을 포함한다.

## II. 관련 연구

### 2.1. 저 전력 무선통신 기법

현재까지 전력 감소를 위한 여러 가지 기법들이 제안되어졌다. 첫 번째 전형적인 구조는 IEEE 802.15.4 Low-Rate WPANs 표준의 Media Access Control(MAC) 레이어 듀티 사이클 스케줄링(duty cycle scheduling) 이다<sup>[3]</sup>. 마스터-슬레이브 스타 토폴로지(Star topology) 네트워크에서 마스터는 주기적으로 비콘 프레임(beacon frame)을 전파하고, 슬레이브는 깨어나 비콘을 듣는다. 이러한 과정을 수행함으로써, 슬레이브는 각각의 주기 동안 비콘의 길이 동안 MAC processing unit과 RF 트랜시버를 깨운다. 이러한 메커니즘은 많은 문제점을 갖고 있다. 예를 들면 오직 한 개의 마스터를 갖는 스타 토폴리지만 이러한 구조를 뒷받침 할 수 있고, 비콘 길이는 MAC processing unit 만큼 꽤 길고, RF 트랜시버는 비콘을 받고 응답하기 위해 깨어나야 한다.

두 번째 구조는 wake-up-by-signal RF 트랜시버 설계이다<sup>[4]</sup>. 만약 마스터가 슬립모드 상태에서 슬레이브와 통신하는 것을 원한다면, 첫 번째로 필요시 되는 것은 슬레이브를 깨울 수 있는 wake-up signal을 보내는 것이다. 이 방법에서, 슬레이브는 전력 소모를 극적으로 줄이기 위해 주기적으로 스스로 깨우는 것 대신에 요구에 따라 깨어난다. 하지만 이러한 수동형 RF 트랜시버와 같은 것은 여전히 설계가 어려운 과제를 갖고 있다.

세 번째 구조인 프리앰블 샘플링(preamble

sampling) 기술<sup>5)</sup>은 각각의 RF 트랜시버는 Received Signal Strength Indicator(RSSI)의 정보에 근거한 채널이 사용 되어 지는지 아니지를 판단하여 주기적으로 매우 짧은 시간 만에 스스로 깨어난다. 만약 채널이 사용되어 졌다면 RF 트랜시버는 해당 채널의 신호를 수신하기 위해 다른 기기의 부품들을 깨울 것이다. 이 구조의 장점 중에 하나는 샘플링을 위해 필요한 시간이 IEEE 802.15.4 표준에서 명시된 비콘을 듣는 것보다 훨씬 짧다는 것이다. 하지만 Wake Up Preamble(WUP) 구조의 다른 문제점은 긴 WUPs를 전송에 따른 추가 전력 소모와 프리앰블의 전송에 따른 낮은 채널 용량 효율성이다.

또한, WUP 방법에 기반을 둔 WiseMAC 프로토콜이 제안되었다<sup>6,7)</sup>. 이 프로토콜에서 각 노드는 이웃하는 노드로부터 가장 마지막에 수신한 패킷에 따라오는 이웃 노드의 샘플링 스케줄을 저장한다. 이렇게 저장된 스케줄 정보에 기반하여 이웃 노드를 깨우기 위해서 매우 짧은 WUP를 사용한다. 그러나 이러한 절차 수행을 위해서는 시작 단계에서 매우 긴 WUP를 전송하는 것이 요구된다. 작은 기기들에서는 클럭의 불안정성이 시간 이동(time drift)을 야기하는데, 특히 이미 오래전에 스케줄이 수신된 경우에는 시간 이동을 보상하기 위해서 프리앰블의 길이가 길어져야만 한다.

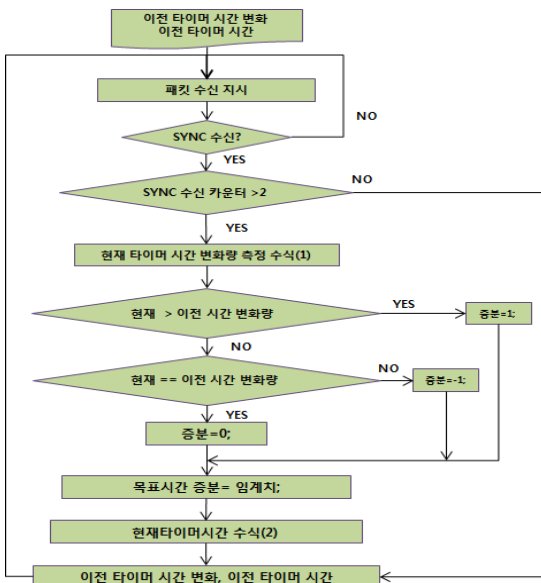


그림 1. 수신 패킷 도달 시간 예측 알고리즘  
Fig. 1. Prediction algorithm of packet arrival time

## 2.2. 패킷 예측 알고리즘

본 논문에서 구현한 시스템은 저 전력 패킷 송수신을 위하여 패킷 도달 시간을 예측하는데 그림 1에 주어진 순서도의 알고리즘으로 구현한다. 이 알고리즘은 맨 먼저 이전 타이머 시간 변화량을 현재 타이머 시간 변화량 초기 값 그리고 이전 타이머 시간을 현재 타이머 시간 초기 값으로 초기화 한다.

트랜시버에 패킷 수신을 지시한 후 송신기와 동일한 SYNC 워드를 가진 패킷이 RX 버퍼에 입력될 때 SYNC를 감지한 상태가 된다. SYNC 워드가 감지되지 않으면 계속 수신 상태로 유지되거나 감지되면 RX를 개시한 이후 SYNC가 감지될 때까지의 시간을 타이머를 이용하여 측정한다. 여기서 현재 타이머 시간 변화량은 타이머가 동작하는 시스템 클럭에 따라 변화하며 또한 시스템 클럭은 전원 VDD의 함수이다 현재 타이머 시간 변화량은 VDD의 함수가 되며 VDD가 감소할수록 감소하게 된다. 이러한 VDD의 감소에도 불구하고 동일한 현재 타이머 시간 변화량을 얻기 위해서는 다음과 같은 실험적인 수식 (1)을 사용한다.

$$\text{Variation of the New Current Timer} = 0.95 * \text{Variation of the Current Timer} - 10 \quad (1)$$

여기서 구해진 현재 타이머 시간 변화량은 이전 타이머 시간 변화량과 비교하여 클 때는 증분=1 만큼 작게, 작을 때는 1 만큼 크게 같을 때는 증분을 0 으로 하여 미세조정을 수행한다. 이것은 피드백 루프를 형성하여 송신기 패킷 전송주기가 변하더라도 이를 추적해 낼 수 있게 된다.

타이머를 설정할 현재 타이머시간을 구하기 위해서는 이 경우 루프 내에 내재하는 기본 시간 지연인 목표시간 증분을 추정하고 다음과 같은 수식 (2)를 사용한다.

$$\text{Current Timer} = \text{Variation of the Previous Timer} - (\text{Variation of the Current Timer} - \text{Add Target Time}) - \text{Add} \quad (2)$$

여기서 목표시간 증분은 초기 값으로 설정이 가능하다. 여기서 계산된 현재 타이머 시간으로 타이머를 설정하고 타이머를 작동시킨다. 마지막으로 이전 타이머 시간은 현재 타이머 시간으로 설정하고 이전타이머 시간 변화량은 현재타이머 시간 변화량으로 설정한다.

이러한 예측 알고리즘을 사용하기 전 초기 상태

즉 SYNC 위드를 3개 이하 수신한 상태에서는 현재 타이머 시간은 현재 타이머 시간 초기 값, 현재 타이머 시간 변화량은 현재 타이머 시간 변화량 초기 값을 사용하며 이 두가지 초기 값들은 송신패킷이 도달하기 훨씬 이전으로부터 RX를 작동시키도록 충분히 작은 값으로 설정하여 초기에 100% 패킷 수신이 가능하다.

수신기에서 송신 패킷 도달시간을 예측하게 되면 송신 패킷이 존재하는 시간 구간에서만 수신기가 작동하도록 하고 나머지 시간은 송신기 수신기 모두가 최소 전력 소모 상태로 될 수 있다. 최소 전력소모 상태는 수신기 측의 RF transceiver와 MCU를 적절한 시간에 sleep 모드로 세팅함으로써 가능하다. 이러한 저 전력 알고리즘은 먼저 MCU를 초기화 후 Idle 모드를 해제하고 MCU I/O를 활성화 시킨다. 다음으로 MCU clock을 고주파수로 변경한 후 RF transceiver를 수신 상태로 보낸다. transceiver가 수신 상태가 되면 전력을 많이 소모하지만 송신패킷 도달시간예측 알고리즘에 의해 짧은 시간 안에 수신이 완료된다. 수신이 완료되면 예측된 미래 수신시간을 타이머에 부여한 후 RF transceiver를 sleep 모드로 설정, MCU 시스템 클럭을 저주파로 만든 후 MCU 의 I/O 포트를 비활성화 하고 타이머를 가동시킨 후 MCU도 Idle 모드로 들어간다. 예측 미래 수신시간이 도달하면 타이머는 MCU에 인터럽트를 걸어 Idle 모드로부터 빠져나와 다시 수신 상태로 들어가게 된다.

### III. 시스템 설계

#### 3.1. 프로토콜의 구조

본 논문에서 설계한 시스템은 저 전력으로 동작하는 기술적 요구사항을 만족하고 초소형 안테나를 사용함으로써 크기가 작으면서 충분한 전송거리가 확보되도록 한다. 또한 ASK, MSK 등의 디지털 변조 방식을 사용하여 동 대역을 사용하는 장치들로부터 잡음에 강하며 고유의 식별 번호와 다른 주파수 채널을 사용함으로써 주파수 활용 효율을 높일 수 있다.

각각의 태그들은 각각 다른 Time Slot에서 송신 신호를 발생하게 되고 이러한 Time Slot은 미리 설정되어 있어 리더가 해당 Time Slot에서 수신을 하게 되면 해당 태그를 식별 가능하게 되고 리더와 각각의 태그는 일정한 시간 간격으로 짧은

Time Slot을 설정하여 송수신을 함으로써 불필요한 전력소모를 최소화 한다. 이러한 송수신시 특정 패킷을 사용하여 무선 전송을 수행하며 패킷 형태는 그림 2와 같다.

Preamble (4 Byte)	Sync Byte (4 Byte)	Payload (4 Byte)	CRC Byte (2 Byte)
----------------------	-----------------------	---------------------	----------------------

그림 2. 아이디 데이터를 전송하는 초기 송신 패킷  
Fig. 2. Packets used for Initial Transmission(Bursting) of ID data to the Article Tag

본 패킷은 4개의 Preamble byte와 4개의 SYNC byte 그리고 1 byte data 2 byte CRC로 구성된다. Preamble byte 수 혹은 Sync byte, Payload byte, CRC byte 수는 임의로 정할 수 있다. Sync byte는 고유 식별번호 전송의 수단으로 사용하여 data byte 전송을 불필요하게 하여 전송시간의 단축 즉 전력소모를 최소화 할 수 있다. 이러한 초기화시 송신장치 혹은 수신 장치들은 Wake On Radio 기법<sup>[8]</sup>을 사용하여 송수신을 진행하여 상시 전력소모를 최소화 시켜야 한다. 이런 기술적 특성의 구현을 위해서는 초기화시 리더는 초기에 송신장치로 작동하고 태그들은 수신 장치로 작동해야 한다.

초기화시 리더는 일정시간동안 일정 시간 간격으로 패킷을 반복적으로 Bursting하고 태그는 일정 시간마다 일정 수신창문으로 패킷을 받아들여 한 개의 패킷이 수신 완료 될 때까지 반복한다. 초기화시 전송되는 패킷은 미리 정해놓은 2개의 Sync byte를 Sync로 사용하여 주고받는다. 이때 태그는 고유의 32 bit 식별번호를 패킷의 Payload로 부여하여 리더에 보내고 이를 수신한 리더는 다음 송신 시 Sync Byte로 사용한다.

Bursting이 완료된 리더는 즉시 수신모드로 전환하여 마찬가지로 전송했던 Payload data를 추후 수신패킷의 Sync byte로 설정한다. 이러한 Payload data는 초기화시 random number 발생 장치로부터 받아 설정할 수 있다. Payload data는 초기화시 리더에 무선으로 입력시켜 고유 번호로 제공하고 수신 되는 Payload data는 고유 식별 번호로서 Flash memory등 non volatile memory에 저장하여 건전지 교체 혹은 시스템 리셋 시 변하지 않도록 한다.

본 시스템은 스위치를 사용하여 인식거리 조정, 경고음량조절, 반응 속도 등을 변경할 수 있다. 특

히 반응속도는 태그의 이동 상태를 얼마나 빨리 감지하느냐를 결정하고 이것은 단위시간당 얼마나 자주 리더와 태그 간에 패킷을 주고받는지 그 시간 간격에 비례한다. 그러나 잦은 패킷 교환은 그만큼 전력소모를 야기 시키므로 배터리의 사용기간과 trade off 관계이며 이것은 사용자가 결정할 수 있도록 스위치 제어로서 가능하다.

### 3.2. 시스템 구성

본 논문에서 구현한 시스템은 관리장치 역할을 하는 리더와 물품에 부착하는 태그로 구성되며 각각은 단일 소형 PCB 상에 구현되었다. 각각의 블록 다이어그램은 그림3, 4와 같다.

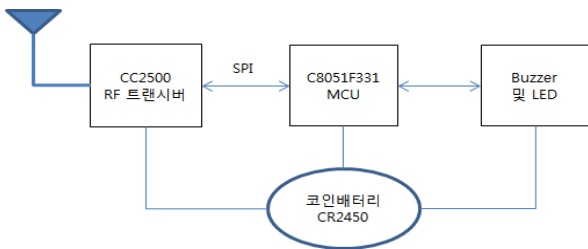


그림 3. RFID 리더의 구조  
Fig. 3. Block diagram of RFID Reader

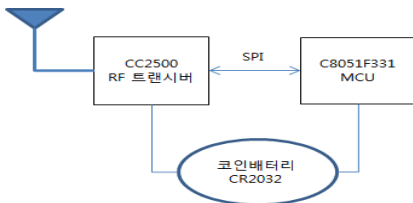


그림 4. 태그의 구조  
Fig. 4. Block diagram of Tag

RF 트랜시버로는 TI 사의 CC2500을 사용하였으며, 통신 제어 장치로서는 Silabs 사의 C8051F331을 사용하였다<sup>9,10</sup>. CC2500 트랜시버는 2.4GHz대 ISM band를 지원하는 RF 트랜시버로서 송수신 장치가 Half Duplex로 작동하며 FSK, OOK, MSK 등 다양한 변조 방식을 지원한다. 특히 Packet을 임의로 구성할 수 있도록 하기 위하여 Sync Word, Preamble, Packet Length 그리고 CRC 등을 선택적으로 프로그램 할 수 있도록 되어있다.

C8051F331은 통신프로토콜 제어용 MCU로서 내부에 8K Byte 의 플래시 메모리를 가지고 있으며 이 메모리를 사용하여 응용프로그램, 및 네트워크 및 data link 프로그램 등을 구성할 수

있다. 또한 SPI를 사용하여 CC2500과 고속 시리얼 통신을 수행할 수 있으며 다양한 통신 프로토콜 제어 및 송수신 제어를 실시간으로 수행할 수 있다. 또한 내부에 4개의 16bit timer가 있어 통신 주기 설정 및 timing을 제어할 수가 있으며 수신 slot을 설정하여 원하는 시간에 통신을 수행할 수 있도록 해준다. 특히 고속 clock 및 저속 clock을 임의의 시간에 자유자재로 스위칭 할 수가 있어 알고리즘에 따라 clock을 선택하여 저 전력 동작을 구현하기 용이하다. 그러므로 시스템이 Idle 상태에 진입하면 RF 트랜시버와 MCU를 power down 모드로 전환하여 초 저 전력 동작을 달성할 수 있다.

본 논문에서는 리더와 태그를 구현하는데 있어 동일한 하드웨어로 제작된 PCB 모듈을 사용하였고 각각에 고유의 프로그램을 작성하여 플래시 메모리에 다운로드 후 동작 테스트를 수행하였다. 프로그램 개발은 Keil 사의 마이크로비전 III 개발툴을 사용하여 수행하였고 Silabs 사의 하드웨어 디버깅 에뮬레이터를 사용하여 프로그램 및 하드웨어를 디버깅 하였다. 이렇게 개발된 하드웨어는 그림 5와 같이 리더와 태그 공통으로 25 x 14 x 1 mm 크기의 4층 기판 PCB 상에 구현되었고 리더는 CR2450, 태그의 경우는 CR2032 코인 배터리를 사용하였다. 이렇게 구현된 송신기는 메달형으로 걸거나 스티커 식으로 물건에 부착할 수 있도록 하였다.

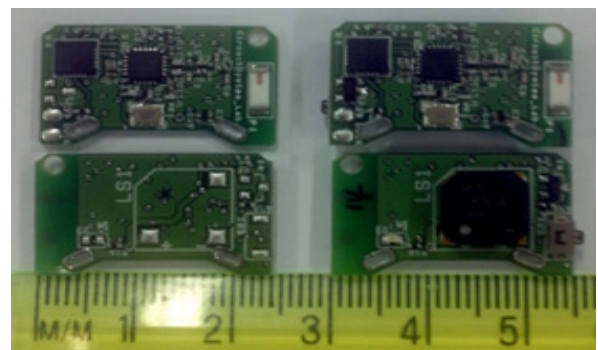


그림 5. 능동형 RFID 시스템을 위한 프로토타입의 태그와 리더  
Fig. 5. Reader and Tag module for the prototype system

## IV. 구현 및 평가

### 4.1. 패킷 예측 알고리즘 실험 결과

본 논문에서 제안한 패킷 예측 알고리즘은 패킷

수신에 따른 타이머 시간과 타이머 시간 변화량을 측정하여 송신 패킷이 수신될 시간을 예측함으로써 그림 6과 같은 실제 예측 과정을 보여준다. 리더와 태그는 동기식 동일 채널로 구성하고 태그의 수에 따라 일정한 타임 슬롯을 할당하고 ID를 부여함으로써 중복과 충돌을 피할 수 있도록 하였다.

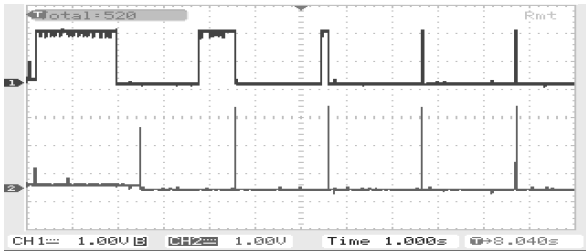


그림 6. 패킷 예측 알고리즘 과정  
Fig. 6. The process of prediction packet algorithm

그림 7은 패킷 예측 알고리즘의 타이머 시간 (Timer1)과 타이머 시간 변화량 (Timer1\_delta)의 수렴결과를 보여준다. Timer1(Sleep time)은 3개 이상의 패킷 수신 시 평균 1.15s로 0.2ms 이하의 변동률을 보이며 Timer1\_delta(Receive time)는 평균 3ms로 0.2ms 이하의 변동률을 보였다. 이러한 결과를 바탕으로 송신주기를 0.1s ~ 2s, 보내는 패킷의 수를 1000개를 설정하고 인식률을 평가한 결과 표 1에서와 같이 100%의 성능을 보였다.

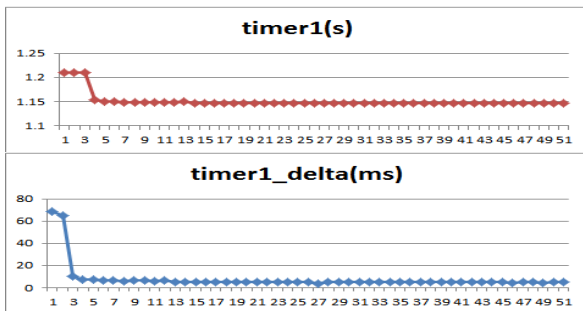


그림 7. timer1과 timer1\_delta의 수렴 결과  
Fig. 7. The convergence result of timer1 and timer\_delta

표 1. 리더의 태그 인식률  
Table 1. Tag recognition of the reader

송신 주기	송신 패킷의 수	성공	실패	확률 (%)
0.1s	1000	1000	0	100

0.5s	1000	1000	0	100
1s	1000	1000	0	100
2s	1000	1000	0	100

#### 4.2. 전력 측정 결과

본 논문에서는 송신패킷과 수신패킷을 측정하는데 특수한 측정방법을 사용하였는데 그 장치 구성은 그림 6과 같다. 먼저 3 V DC 전원의 GND를 PCB 모듈에 인가할 때 10 ohm의 저항을 연결한 후 저항의 다른 쪽 한끝을 PCB의 GND에 연결하였다. 이 저항은 PCB에서 소모하는 DC 전력에 비례하는 전압을 측정하기 위하여 추가한 것으로서 GND 단자를 흐르는 전류에 비례하는 전압을 측정할 수 있다.

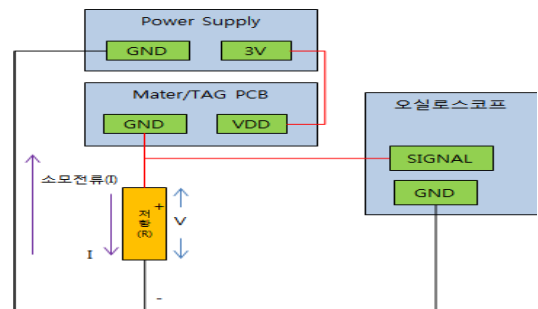


그림 8. 통신 파형 측정법  
Fig. 8. Determination of Waveform

태그의 송신 패킷은 그림 9와 같이 송신 모드 외 모든 시간을 슬립모드로 전환하였고 패킷 구조를 최소화하였기 때문에 대역폭이 1ms 정도로 측정되었으며, 송신이 단계적으로 이루어졌음을 확인할 수 있다. 태그의 송신은 총 4단계로 구분할 수 있는데 첫 단계에서 MCU가 슬립모드에서 깨어 날 때 전력을 소비되는 것을 볼 수 있고 2단계에서 CC2500의 TX FIFO를 지울 때 소비되는 전력을 확인할 수 있다. 또한 3단계에서는 CC2500의 TX FIFO에 data를 입력할 때 쓰이는 전력이고 마지막 4단계에서 TX FIFO의 data를 패킷형태로 전송할 때 소비되는 전력을 볼 수 있다.

그림 10은 제작된 리더와 태그 간에 link 되어 통신하고 있는 상황을 오실로스코프에서 실제로 보여주고 있다. 오실로스코프의 1번 파형은 리더의 동작을 2번 파형은 태그의 동작을 보여주고 있다. 리더가 수신 창을 열고 있다가 태그로부터 송신 패킷이 입력되면 수신을 시작하고 수신 완료 후 바로 수신 모듈 전력을 차단하여 power down 모드로 들어간다. 따라서 슬롯 구간 중간에 수신이 중지되

어 있어 수신으로 인한 전력이 급감으로 인하여 수신 슬롯이 함몰하는 형태로 보여 진다.

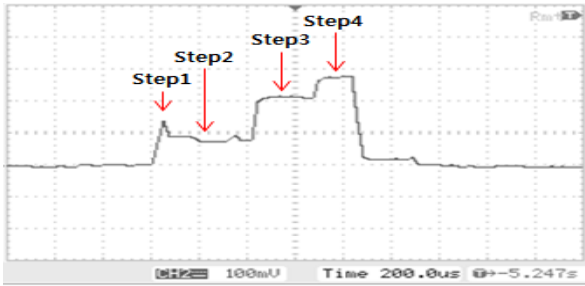


그림 9. 전류소비 결과(TX timeout=1ms)  
Fig. 9. Current Consumption vs. Time

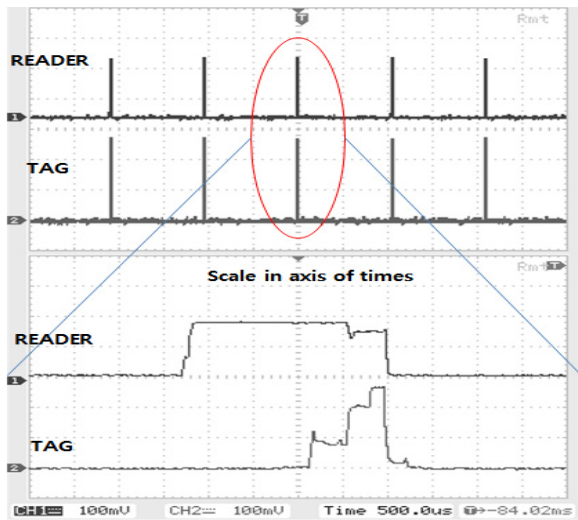


그림 10. 패킷 예측 수렴 후 패킷 트랜잭션의 측정 파형  
Fig. 10. Measured waveform of Packet transaction for reader and tag respectively after packet prediction convergence

RF에 대한 소비 전력은 크게 송신, 수신, 수면의 상태로 구분되며, 각각의 상태에 대한 소비 전력은 표 2와 같다. 송신 패킷은 측정된 전압이 평균 160mV로 10옴의 저항을 이용하였기 때문에 소비 전류는 16mA이고 수신 패킷은 2번 파형과 같이 평균 200mV의 전압이 측정되었으므로 송신 패킷의 측정과 동일하게 소비 전류는 20mA이다<sup>[11][12]</sup>. 또한 송신 패킷은 대역폭이 1ms 이고 2초에 한번 발생하므로 초당 약 8 $\mu$ A 정도로 10 $\mu$ A 이하의 전류가 소비되는 것을 확인할 수 있고 수신 패킷은 대역폭이 3ms로 송신 패킷과 동일하게 2초에 한번 발생하므로 초당 약 29 $\mu$ A 정도로 약 30 $\mu$ A 이하의 전류를 소비함을 확인할 수 있다. 하지만 수신 패킷의

대역폭은 예측 알고리즘에 의해 2ms에서 3ms사이로 유동적이다.

이와 같은 결과를 통해 리더는 패킷 수신을 위해 수신 윈도우를 항상 열고 있을 때 트랜시버의 수신 시 소모 전류는 19.6mA로 패킷예측 알고리즘을 적용 시 최대 100개의 태그 신호를 수신하여도 80% 이상의 감소효과를 얻을 수 있고, 태그의 경우 CR2032(220mAh) 코인배터리를 사용 시 2년 이상의 동작을 보장하므로 표 3과 같이 근거리 무선통신 기술의 전력소모와 비교하여 성능이 우수함을 알 수 있다.

표 2. RF에 대한 소비 전력  
Table 2. Power consumption of RF

State	Condition	Typ	Unit
TX	1 dBm	10	$\mu$ A
RX		30	$\mu$ A
Sleep	Osc. on	900	nA

표 3. 근거리 무선통신기술 전력소모 분석  
Table 3. Power consumption analysis of short-range wireless communication

특성	동작주파수	출력	거리
Bluetooth	2.4-2.48GHz	1mW	10m
HomeRF	2.4-2.48GHz	100mW	100m
W-LAN	2.4-2.4835GHz	100mW	100m
UWB	650M-5GHz	0.2-2mW	20m
ZigBee	2.4GHz, 868/915MHz	1mW	10m

## V. 결 론

본 논문에서는 저 전력 무선통신을 위한 패킷 예측 알고리즘을 적용한 2.4GHz 능동형 RFID 시스템을 구현하고 검증하였다. 제작한 태그와 리더는 송수신시 각각 초당 약 10 $\mu$ A와 약 30 $\mu$ A 이하의 전류를 소비하였다. 이는 매우 적은 양의 전력으로 통신을 할 수 있음을 나타내며 장시간 통신할 때에도 배터리가 방전되지 않는 조건하에 링크가 끊어지지 않는 장점을 가지고 있다. 또한 RF 통신 링크가 끊어지지 않으므로 오작동이 일어나지 않을 뿐만 아니라 리더와 태그가 항상 동기화 되어있기 때문에 송수신간의 응답성이 매우 좋아질 수 있다. 이러한 시스템은 개인이 휴대하는 물품들이나 물류 창고 등의 보관물에 적용하여 실시간으로 분실/도

난 등의 상황을 파악하는데 쓰일 수 있고 원격 보안 서버 등을 연계한 리더와 여러 개의 태그를 이용하여 동작 범위를 확대 한다면 광범위한 능동형 RFID 시스템으로 활용이 가능할 것이다.

### References

[1] ISO/IEC 18000.7.2, "Information technology AIDC techniques - Radio frequency identification for item management - Air interface, Part 7: Parameters for active air interface communications at 433MHz," 2008.

[2] J. Kim, S. Kim, W. Jeong, N. Kim, "Technical Trend of USN Sensor Node," *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol. 22-3, pp.90-103, June, 2007.

[3] IEEE 802.15.4 WPAN-LR Task Group Website:<http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>.

[4] X. Shi, G. Stromberg, Y. Gsottberger, and T. Sturm, "Wake-Up-Frame Scheme for Ultra Low Power Wireless Transceivers," in *Proc. GLOBECOM*, Vol. 6, pp. 3619-3623, April, 2004.

[5] A. El-Hoiydi, "Aloha with preamble sampling for sporadic traffic in ad hoc wireless sensor networks," in *ICC. CSEM SA*, Vol. 5, pp. 3418-3423, 2002.

[6] A. El-Hoiydi, J.-D. Decotignie, C. Enz, and E. Roux, "Poster Abstract: Wisemac, an ultra low power mac protocol for the wisenet wireless sensor network," in *SenSys. CSEM SA*, pp. 302-303, Nov, 2003.

[7] A. El-Hoiydi and J.-D. Decotignie, "Wisemac: An ultra low power mac protocol for the downlink of infrastructure wireless sensor networks", In *ISCC, CSEM SA*, pp. 244-251, 2004.

[8] "CC1100/CC2500-Wake-On-Radio", Chipcon, application note AN047, 2009.

[9] "CC2500 Low-Cost Low-Power 2.4GHz RF transceiver", Chipcon, Data Sheet, 2009.

[10] "C8051F320/1 Full Speed USB, 16k ISP FLASH MCU Family", SILICON LABS, Data Sheet, 2009.

[11] "CC1100 / CC1150DK & CC2500 / CC2550DK Development Kit Examples and Libraries User Manual" Chipcon, User Manual, 2009.

[12] "CC1100 / CC1150DK & CC2500 / CC2550DK Development Kit User Manual" Chipcon, User Manual, 2009.

#### 이 경 훈 (Kyung-hoon Lee)



2003년 2월 조선대학교 전자공학과 졸업  
 2012년 2월 전남대학교 전자공학과 석사  
 2012년 3월~현재 전남대학교 전자공학과 박사과정  
 <관심분야> 무선통신, 임베디드 시스템, RF IC

#### 이 배 호 (Bae-ho Lee)



1978년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업  
 1980년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 석사  
 1993년 2월 University of Missouri 전기 및 컴퓨터공학과 박사

1980~1983 국방과학연구소 연구원  
 1993년~현재 남대학교 전자컴퓨터공학부 교수  
 <관심분야> 인공지능, 임베디드 시스템, 멀티미디어 응용, 디지털영상처리

#### 김 영 민 (Young-min Kim)



1976년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업  
 1978년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 석사  
 1986년 2월 The Ohio State University 전기공학과 박사  
 1988년~1991년 한국전자통신연구원

신연구원 실장  
 1992년~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수  
 <관심분야> 영상처리, RF IC, SOC 설계