

## 저전력 능동형 RFID 태그 시스템에 대한 연구

김지태<sup>1</sup> · 이강원<sup>2\*</sup>

### Study on the low power consumption of active RFID tag system

Ji-Tae Kim<sup>1</sup> · Kang-Won Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Public Policy and Information Technology, Seoul National University of Science & Technology, Seoul 139-743, Korea

<sup>2\*</sup>Department of Industrial and Information Systems Engineering, Seoul National University of Science & Technology, Seoul 139-743, Korea

#### 요 약

본 논문에서는 기존의 ISO/IEC 18000-7 등의 규격에서 제시하고 있는 태그 수집 알고리즘을 개선하여 리더기의 태그 수집 시간을 대폭 감소시킨 저전력 능동형 RFID 시스템을 제안하였다. 본 논문에서는 건설현장과 같은 대규모 인원의 출입현황을 실시간 확인하는 시스템에 적용할 수 있도록 적용환경에 따른 시스템의 요구조건을 정의하고 분석하여 능동형 RFID 태그의 동작에 따른 전력소모유형을 구분하고 이를 기반으로 한 정확한 배터리 수명을 계산하는 방법을 제시한다. 또한, 제시된 계산 모델을 이용하여 능동형 RFID 태그의 배터리 수명을 예측할 수 있게 함으로써 기존방식과 제안된 방식의 배터리 소비전력을 산출하여 능동형 태그의 수명을 예측하고 비교하였다.

#### ABSTRACT

In this study an active RFID system of low power consumption is proposed, for which we improved the tag collection algorithm of ISO/IEC 18000-7 standard and significantly reduced the tag collection time. We classified the type of power consumption according to the operating mode of active RFID and proposed the method which can accurately estimate battery life time. By calculating the power consumptions of proposed and current methods, we can compare the battery life times of both methods. Through this analysis we can demonstrate the superiority of the proposed method in battery life time.

**키워드** : 능동형 RFID태그, 저 소비전력, ISO/IEC 18000-7, CC2530, 저주파 웨이크업

**Key word** : Active RFID tag, Low power consumption, ISO/IEC 18000-7, CC2530, LF Wake-up

Received 09 April 2015, Revised 27 April 2015, Accepted 11 May 2015

\* Corresponding Author Kang-won Lee(E-mail:kwlee@seoultech.ac.kr, Tel:+82-2-970-6476)

Department of Industrial and Information Systems Engineering, Seoul National University of Science & Technology, Seoul 139-743, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.6.1419>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

RFID 태그는 전원 공급 방법에 따라 리더기의 동력만으로 칩의 정보를 읽고 통신하는 수동형(Passive) 태그, 태그에 배터리가 내장되어 있어 태그 칩의 정보를 읽을 경우 배터리를 사용하고 리더기와 태그의 통신에는 리더기의 동력을 사용하는 반수동형(Semi-passive) 태그, 그리고 태그 자체의 배터리로 리더기와 통신을 하는 능동형(Active) 태그로 구분할 수 있다.

이 중 능동형 RFID 태그는 자체적으로 배터리를 구비하여서 수동형 RFID 태그에 비해 인식거리가 길고, 금속과 같은 물체에 적용이 용이하며, 태그에 센싱기능 추가가 용이한 장점을 가지고 있다[1]. 그러므로 능동형 RFID 태그를 사용하는 능동형 RFID 시스템은 넓은 지역에서 대량의 금속 컨테이너들을 대상으로 하는 물류 관리 시스템 등에 적합하다. 능동형 RFID 시스템을 기존의 물류 시스템에 적용함으로써, 컨테이너 선적 및 하역 자동화, 게이트 출입 모니터링 자동화가 가능해지고, 능동형 RFID 기술에 기반을 둔 Electronic seal (e-Seal)을 이용하여 컨테이너 화물 보안 강화를 달성할 수 있으며, 이를 통해 효율적인 컨테이너 물류 처리가 가능하게 된다. ISO/IEC 18000은 RFID시스템에서 리더와 태그 간의 상호 호환성을 보장하기 위해 에어 인터페이스(Air interface)를 정의하는 표준으로서 사용되는 주파수 대역에 따라 여러개의 파트로 구성되어 있다. 그 중 파트 7은 능동형 RFID 시스템을 위한 표준으로서 433MHz 주파수 대역에서 능동형 RFID 리더와 태그 간의 통신을 위한 변조 방식, 데이터 코딩, 데이터 전송률 등의 링크 파라미터들과 에어 인터페이스에서 사용되는 통신 프로토콜 등을 정의한다[2].

태그 수집은 리더가 자신의 RF 통신 범위 내에 존재하는 모든 태그들로부터 태그-ID 및 데이터를 수집하는 작업으로써, RFID 시스템에서 리더의 가장 중요한 역할 중 하나이다. 리더는 태그 수집 명령어를 브로드캐스팅(Broadcasting)하고 명령어를 받은 여러 태그들은 자신의 응답 패킷을 전송한다. 다량의 태그 정보를 한번에 인식 할 수 있다는 장점이 있지만, 같은 주파수에서 2개 이상 다중 태그들이 동시에 응답 패킷을 전송함으로써 서로 간섭을 일으키게 되며 이는 정상적인 데이터 수신을 방해하게 되어 태그 응답 간에 충돌 문제가 발생하는데 이를 태그 충돌(Tag collision)이라 하고, 이러

한 문제를 해결하기 위해서 충돌방지(Anti-collision) 알고리즘이 사용된다. RFID 시스템에서는 태그 충돌이 일어나면 재전송을 통하여 데이터를 수신하게 된다. 능동형 RFID에서 빈번한 데이터 재전송은 수집시간을 늦출 뿐만 아니라 태그의 빠른 배터리소모를 야기 시킨다[3]. 이는 곧 태그의 수명과도 직결되는 문제이다.

현재 'Active RFID 시스템의 확산을 위해 절실히 요구되는 사항은 고속의 다중 Tag 인식속도, 신뢰성 있는 수준의 Tag 인식률, Battery 교체 없이 수년 이상 연속 사용할 수 있는 Active RFID시스템의 연구를 필요로 한다. 본 논문에서는 건설현장과 같은 대규모인원의 출입 현황을 실시간 확인하는 시스템에 적용할 수 있도록 적용환경에 따른 시스템의 요구조건을 정의하고 분석하여 기존의 ISO/IEC 18000-7[2] 등의 규격에서 제시하고 있는 태그 수집 알고리즘을 개선하였는바 각 슬롯에서 리더기와 태그의 통신이 종료된 후 리더기가 각 태그들에게 별도의 슬립 명령을 전송하는 기존의 방법 대신 통신이 종료된 태그들은 즉시 슬립 모드로 진행할 수 있도록 함으로써 리더기의 태그 수집 시간을 대폭 감소시켜 배터리 수명(Battery life time)을 연장시켰다.

배터리수명은 능동형 RFID시스템의 전체적인 운용 시간 및 응용분야에 따른 유지보수비용을 결정하는데 중요한 요소가 된다. 따라서 능동형 RFID태그의 배터리 수명을 정확히 계산 또는 예측하는 것은 저전력 능동형 RFID태그의 설계에 있어서 필수적이다. 하지만 태그의 하드웨어구성이나 동작모드에 따라 소모전류의 유형이 다르기 때문에 능동형 RFID태그의 정확한 배터리 수명을 예측하는 것은 쉽지 않다.

기존의 배터리수명을 계산하는 한 방식으로 시간에 따른 부하전류의 변화를 계단형으로 적절히 모델링하고 이를 근거로 배터리의 수명을 계산하는 방식이 있다[4]. 한편 부하전류의 변화가 매우 빠르게 일어날 때 배터리의 수명에 미치는 영향을 계산한 경우도 있었다[5].

하지만 이러한 기존의 방식들은 능동형 RFID태그의 전력소모형태를 지나치게 단순화하여 배터리 수명을 계산하기 때문에 정확한 결과를 기대하기 어려운 단점이 있었다. 본 논문에서는 능동형 RFID태그의 동작에 따른 전력소모유형을 일회성과 주기성으로 구분하고 이를 기반으로 정확한 배터리 수명을 계산하는 방법을 제시한다. 제시된 계산법을 이용하여 능동형 RFID태그의 배터리 수명을 예측할 수 있게 해 줌으로써 저전력

태그의 설계에 적용이 가능하도록 하였고 기존방식과 제안된 방식의 배터리 소비전력을 산출하여 능동형 태그의 수명을 예측하고 비교하였다.

## II. 기존 표준태그의 동작기능

### 2.1. 능동형 RFID의 표준기술

능동형 RFID시스템의 표준화는 국제표준기구인 ISO/IEC에서 제정을 하고 수정과정을 통해 보완되고 있으며, 능동형 RFID시스템의 기본적인 표준은 ISO/IEC 18000-7[2]에서 규정하고 있으며, 관련 응용분야의 파생 표준으로는 화물컨테이너용 전자봉인장치(Electronic seals)의 표준을 규정한 ISO 18185[6] 그리고 태그가 부착된 물체의 실시간 위치 추적 시스템(Real-time locating system)의 표준을 규정한 ISO/IEC 24730[7] 등이 있다.

#### 2.1.1. 물리계층의 전송규격

능동형 RFID시스템의 가장 기본이 되는 ISO/IEC 18000-7의 표준규격을 기반으로 물리계층의 전송규격을 정리 한다. 리더는 통신 범위에 존재하는 모든 태그를 Wake-up상태로 전환하기 위하여 Wake-up는 최소 2.45초 동안 리더로 부터 전송된다. Wake-up신호는 2.35~4.8초간 송신되는 “Wake Up Header”라 불리는 31.25kHz의 구형파 변조신호를 먼저 전송하고 이어 “Co-Header”로 불리는 10kHz구형파 변조신호가 0.1초 동안 연결되는 부반송파 톤 신호이다. Wake-up신호를 감지하면 통신범위에 존재하는 모든 태그는 리더로부터의 명령을 기다리는 Ready 상태로 들어간다. 태그는 ‘Ready’와 ‘Asleep’의 두 가지 상태(State)를 가진다. 태그는 Ready상태에 있는 동안 리더로부터 유효한 명령을 받아 처리하고 그에 적합한 응답을 하게 된다. 또한 태그는 Asleep상태에 있을 때는 리더로부터의 모든 명령을 무시하게 된다.

Wake-up신호에 의해 한번 깨어난 태그는 리더가 달

리 명령하지 않으면 Sleep상태로 가지 않고, 유효한 프로토콜 ID, 명령 코드와 CRC 값으로 구성된 유효한 메시지 패킷을 수신할 때까지 30 초 동안 깨어 있게 된다. 유효한 명령 메시지가 30 초 내에 수신되지 않으면, 태그는 Sleep상태로 전환되며, 태그는 더 이상 리더로 부터의 메시지 명령에 응답하지 않게 된다[2].

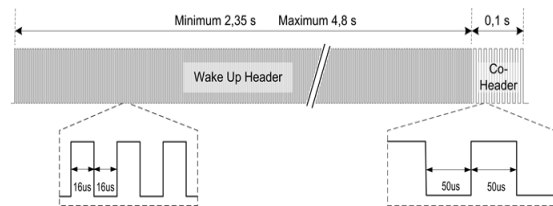


그림 1. Wake-up 신호  
Fig. 1 Wake-up signal

리더와 태그 사이의 통신은 리더가 통신을 개시하고, 이후 태그로부터의 응답을 청취하는 Master-slave 형태 이다. 복수의 태그로부터의 응답이 전송될 경우, 컬렉션 알고리즘(Collection algorithm)에 의해 제어 된다.

#### 2.1.2. 데이터링크 계층의 전송규격

리더와 태그 사이의 데이터는 패킷포맷으로 전송한다. 패킷은 프리앰블(Preamble), 데이터 그리고 종료구간(Final data byte)으로 구성된다. 프리앰블의 마지막 두 레벨 변화는 프리앰블의 끝과 첫번째 데이터 바이트의 시작을 나타냄과 동시에 데이터 패킷의 발신자를 나타낸다. 데이터는 맨체스터 코드 형식(Manchester code format)으로 전송되며, 전송 순서는 먼저 최상위 바이트(MSB, most significant byte)가 먼저 놓이고, 바이트 내의 순서는 최하위 bit가 먼저 송신된다[2].

#### 2.1.3. 리더에서 태그로의 메시지

태그는 표 1과 표 2에 도시한 리더에서 태그로의 메시지 포맷을 인식해야한다.

표 1. 리더에서 태그로의 명령어 포맷(브로드캐스트)  
Table. 1 Reader to tag command format(broadcast)

Protocol ID	Packet option	Packet length	Session ID	Command code	Arguments	CRC
0x40	1 byte	1 byte	2 bytes	1 byte	N bytes	2 bytes

표 2. 리더에서 태그로의 명령어 포맷(점대점)

Table. 2 Reader to tag command format(point to point)

Protocol ID	Packet option	Packet length	Tag mfg. ID	Tag serial No.	Session ID	Command code	Arguments	CRC
0x40	1byte	1byte	2bytes	4bytes	2bytes	1byte	Nbytes	2bytes

2.1.4. 태그에서 리더로의 메시지

태그와 리더 간 메시지는 리더에서 전송되는 메시지의 종류에 따라 두 가지 포맷 중 하나를 사용하고, 태그는 태그가 응답하지 않는 다음 상황을 제외하고 아래에 설명된 포맷의 응답 중 하나를 사용하여 명령에 항상 응답한다[2]:

- 명령어에 대한 응답이 필요 없는 것으로 ISO/IEC 18000표준에 명확하게 규정되어 있는 경우
- 태그가 수신한 명령패킷에 대한 CRC 체크섬 산출값과 수신된 CRC가 일치하지 않는 경우
- 무효명령코드 또는 다른 오류가 포함된 브로드캐스트 명령을 수신한 경우
- 태그가 Sleep 상태일 경우

두 가지 응답 포맷으로는;

- 브로드캐스트 응답 메시지 포맷
- 점대점 응답 메시지 포맷

2.2. 표준태그의 수집단계별 전송시간

ISO/IEC 18000-7 표준을 적용한 기존 능동형 RFID 태그시스템으로 대규모인원의출입현황 또는 산업현장에서 컨베이어로 이동하는 대규모 물류의 태그를 수집한다고 가정했을 때, 이동물체가 감지되면 리더는 Sleep상태에 있는 태그를 깨우기 위하여 Wake-up신호를 최소 2.45 sec전송한 다음에 깨어난 태그들에게 컬렉션명령을 보내고 수집하게 된다. 이러한 수집절차에 따른 동작시간을 산출하여 태그의 동작 모드별 소비전력을 계산하기 위하여 컬렉션 시퀀스와 타이밍을 다음에 산출하였다.

- 1) Wake-up구간 : 2.45 sec (최소 2.45 sec ~ 4.9 sec)
- 2) Collection with UDB명령어 : 5250  $\mu$ s
  - 프리앰블: 1296 $\mu$ s+ 15 $\mu$ s(패킷시작구간) = 1311 $\mu$ s
  - Data byte: 12 byte x 324  $\mu$ s + 51 $\mu$ s(패킷종료구간) = 3939  $\mu$ s
- 3) 태그응답 : 7854  $\mu$ s
  - 프리앰블: 1308  $\mu$ s+ 15  $\mu$ s(패킷시작구간) = 1323  $\mu$ s

- Data byte: 20 byte x 324  $\mu$ s + 51  $\mu$ s(패킷종료구간) = 6531  $\mu$ s
- 4) Sleep 명령어: 5898  $\mu$ s
  - 프리앰블: 1296  $\mu$ s+ 15  $\mu$ s(패킷시작구간) = 1311  $\mu$ s
  - Data byte: 14 byte x 324 $\mu$ s + 51  $\mu$ s(패킷종료구간) = 4587  $\mu$ s
- 5) Listen구간: 57.3 msec
  - 초기 Window size는 1로 설정됨
  - Listen구간 크기 = (윈도우크기 \* 57.3 msec)
- 6) Time slot: 10 msec
  - 최대패킷길이의 최소값 20을 적용함
  - 타임슬롯 크기 = (324  $\mu$ s/byte \* 최대패킷길이) + 3374  $\mu$ s = 9854  $\mu$ s
  - 패킷시작구간 15 $\mu$ s + 프리앰블 1308 $\mu$ s + 패킷종료구간 51 usec = 1374  $\mu$ s
  - Guard time 2 msec가 추가되었으며, msec단위로 반올림함
- 7) 타임슬롯 수; 5개
  - 타임슬롯의 수 = (Listen구간 / 타임슬롯 크기) = 57.3 ms / 10 ms = 5.7개
  - 가장 가까운 정수로 내림함.

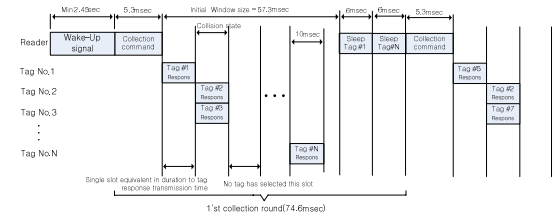


그림 2. 태그수집절차에 따른 타이밍  
Fig. 2 Tag collection sequence and timing

초당 30개의 태그가 이동하는 환경을 가정하여 기본적인 태그ID만을 수집한다고 가정했을 때 명령어들은 상기에서 정리한 것과 같이 Wake-up명령어(2.45 sec) -> 컬렉션 명령어(5.3 msec) -> 수집Window(초기 5개

Slot, 57.3 msec) -> Sleep 명령어(12 msec, 2개의 Slot이 성공했다고 가정) 그리고 이어서 Window size를 6개로 하여 2번째 Round를 시작하는 컬렉션 명령어를 전송하게 되며, 3번째, 4번째 Round 빈 슬롯이 수신될 때까지 반복하게 된다.

### 2.3. 태그배터리의 수명계산식

RFID 시스템에서 수동형 태그와는 달리 능동형 태그는 배터리로 동작하게 되는데 배터리의 유한한 전하량으로 인해 능동형 태그는 제한된 배터리 수명(Battery life time)을 갖게 된다. 배터리 수명은 전체 능동형 RFID시스템의 동작시간 및 유지비용을 결정하는 중요한 요소가 된다. 따라서 능동형 태그의 배터리 수명을 정확히 계산 또는 예측하는 것이 저소비전력의 능동형 태그의 설계에 있어서 필수적이다.

본 연구에서는 제안된 태그수집알고리즘으로 능동형 태그의 배터리수명을 예측하는 방법을 제시한다. 또한 저소비전력 능동형 태그의 수명을 최대화 할 수 있으며, 능동형 태그를 소형화할 수 있는 장점이 있다. 이러한 능동형 RFID시스템에서 태그의 배터리 수명은 매우 중요한 성능변수이다. 하지만 배터리 수명을 계산 또는 시뮬레이션을 통해 알아내는 것은 매우 복잡한 작업이다. 기존의 배터리 수명을 계산하는 한 방식으로 시간에 따른 부하전류의 변화를 계단형으로 적절히 모델링하고 이를 근거로 배터리의 수명을 계산하는 방식이 있다[4]. 한편 부하전류의 변화가 매우 빠르게 일어날 때 배터리의 수명에 미치는 영향을 계산한 경우도 있었다[5]. 하지만 이러한 기존 방식들은 태그의 전력소모형태를 지나치게 단순화하여 배터리 수명을 계산하기 때문에 정확한 결과를 기대하기 어려운 단점이 있었다. 본 연구에서는 태그의 동작에 따른 전력소비 유형을 구분하고 이를 기반으로 정확한 배터리 수명을 계산하는 방법을 제시한다. 제시된 계산법을 이용하여 일반적인 능동형 태그의 배터리 수명을 예측할 수 있게 해 줌으로써 저소비전력 능동형 태그 설계에서 태그의 수명 예측이 가능하도록 하였다.

능동형 태그의 다양한 동작모드와 복잡한 동작 주기 동작모드에 따라 달라지는 다양한 전력소비유형을 모두 고려하여 배터리 수명을 계산하는 방식을 도출하고 계산식으로 정리 하였다.

능동형태그의 전력소비유형은 크게 4가지 동작형태

인 Sleep모드, Wake-up 수신모드, 명령어수신모드, 태그응답모드에 따른 전력소비로 이루어진다. Sleep모드는 MCU가 저속모드의 Sleep timer상태로 동작한다. Wake-up수신모드는 리더로부터 송신되는 31.25 kHz 구형파 변조된 Wake-up명령어를 신호를 수신하고 유효한 명령을 최대 30초 동안 기다리게 된다. 명령어 수신 모드에서는 리더로부터의 컬렉션 명령을 수신하기 위하여 MCU가 정상동작하고 RF모듈은 Rx상태로 동작 된다. 마지막으로 태그응답모드에서는 MCU는 정상동작으로 RF모듈은 UHF Tx 상태로 동작하며 전력을 소비한다.

이러한 주기적인 전력소비유형을 고려하여 배터리 수명을 다음 식(1)에서 식(4)의 단계로 계산 할 수 있다. 우선 주기적인 전류소비 유형에 대해 1일당 실제 동작하는 유효동작 시간을 알면 1일당 소비전류량을 계산할 수 있다. 이를 1년 동안 사용한다고 가정하면 1년간의 소비전류를 계산할 수 있다. 마지막으로 배터리 총량에서 앞서 계산된 1년간 소비전류량을 나누어 주면 한 개의 배터리로 태그가 몇 년 동안 사용할 수 있는지 알 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{1일 유효동작시간}(H/d) \\ & = 1\text{회 동작시간}(H) \times 1\text{일 동작 횟수}(/d) \text{ ----- (1)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{1일 소비전류}(AH/d) \\ & = \text{동작전류}(A) \times 1\text{일 유효동작시간}(H/d) \text{ ---- (2)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{1년간 소비전류량}(AH/year) \\ & = 1\text{일 소비전류}(AH/h) \times 365(d) \text{ ----- (3)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Battery Lifetime} \\ & = \frac{\text{배터리 용량}(AH)}{1\text{년간 소비 전류량}(AH/year)} \text{ ----- (4)} \end{aligned}$$

이와 같이 구분된 동작주기와 동작모드에 따른 전력 소비 유형을 바탕으로 능동형 태그의 소비전류를 계산할 수 있다. 각각의 동작 모드에서 MCU, RF모듈의 소비전류를 이용하여 동작모드에 따른 소비전류를 계산할 수 있다. 배터리의 출력전압은 일정하기 때문에 ‘전력 x 시간’의 전력량보다는 ‘전류 x 시간’을 나타내는 전류량을 사용하는 것이 계산식을 간단하게 함으로 계

산에서 전류량을 사용하여 계산 하였다.

## 2.4. 기존 표준태그의 소비전력

표준태그의 수집 프로토콜에 따라 구현된 능동형 태그의 정확한 소비전류에 관한 자료는 하드웨어 구성요소에 따라 많은 차이가 있으므로 제안된 시스템의 태그 하드웨어와 동일한 CC2530 RF모듈[8]을 사용하여 구현하였을 때를 가정하고 소비전류 파라미터를 사용하여 동일한 조건의 응용환경인 건설현장의 주요장비 및 건설인력의 출입관리에 적용하는 시스템[9]으로 1일 20회 정도 출입하며 동작하는 것으로 가정하고 위 2.2절에서 정리한 능동형 표준태그의 수집단계별 전송시간 및 절차를 적용한 전력소비를 계산하여 배터리 수명을 예측 하였다.

### 1) Wake-up 수신모드

능동형 태그의 표준인 ISO/IEC 18000-7 에서와 같이 고주파 Wake-up 신호는 리더로부터 송신되는 31.25 kHz 구형파 변조된 Wake-up Header와 10 kHz 구형파 변조된 Co-Header로 구성된 최소 2.45 sec의 신호를 수신하면 최대 30초 동안 리더로부터의 유효한 명령을 기다리게 된다.

- 소비전류 = 30.8 mA(MCU 정상동작, 6.5 mA + UHF Rx상태; 24.3 mA)
- 1일 유효동작시간 = Wake-up 수신시간, 2.45 sec, 동작빈도 = 20 회/일
- 1일당 소비전류량 = 30.8 mA x (2.45 sec/3600H) x 20 = 0.419 mAH
- 1년간 소비전류량 = 0.419 mAH x 365 = 153.016 mAH

### 2) 명령어 수신모드

리더로부터 정상적인 Wake-up신호를 수신하여 컬렉션 명령을 수신하거나 Listen window종료 후 리더로부터의 명령을 수신 처리하는 모드이다. Window 종료 후 일반적으로 30%정도 태그응답에 성공하여 Sleep명령을 각각 송신하고 다음 컬렉션명령을 송신하다고 가정하여 처음Round에는 1개의 Window size로 2개 Slot의 태그응답을 수신 성공하고 그리고 2번째, 3번째 Round는 6개 Window size로 10개 Slot의 태그응답이 성공한 것으로 가정하여 각각 6 msec시간동안씩 Sleep

명령어를 수신하고 각 Round종료 후 다음 컬렉션명령을 수신하는 것으로 전체시간을 계산 하였다.

- 소비전류 = 30.8 mA(MCU정상동작, 6.5 mA + UHF Rx상태 24.3 mA)
- 1회 유효동작시간 = 150 msec(6 ms x (3+2+10+10), 동작빈도 = 20 회/일
- 1일당 소비전류량 = 30.8 mA x (150 ms/3600H) x 20 = 25.667  $\mu$ AH
- 1년간 소비전류량 = 25.667  $\mu$ AH x 365 = 9.368 mAH

### 3) 태그응답모드

리더로부터 태그수집 명령인 컬렉션명령을 수신하여 타임슬롯 크기, 타임슬롯 개수에 따라 Listen구간과 전송에 참여할 타임슬롯을 임의로 선정한 후 해당 타임슬롯에서 태그의 정보를 리더로 송신 처리하는 모드이며, 태그응답을 위한 송신시간은 슬롯타임과 동일하게 10 msec로 적용하였다.

- 소비전류 = 35.2 msec(MCU정상동작, 6.5 mA + UHF Tx상태 28.7 mA)
- 1회 유효동작시간 = 10 msec, 동작빈도 = 60 회/일 (평균 3 Round참여)
- 1일당 소비전류량 = 35.2 mA x (10 ms/3600H) x 60 = 5.867  $\mu$ AH
- 1년간 소비전류량 = 5.867  $\mu$ AH x 365 = 2.141 mAH

### 4) Listen구간 대기모드

Wake-up된 태그는 해당슬롯 타임에 응답하고 나머지 Listen구간동안 대기모드로 리더로부터의 다음 명령어 수신구간까지 기다린다. 30개의 태그를 수신한다는 가정아래 첫 번째 Window는 고정 값이며, 2번째, 3번째는 각각 6개씩으로 하여 전체 Window시간을 계산하였고, 태그응답시간 10 msec 씩 3 Round 참여한다고 가정하여 30 msec는 제외하고 계산하였다.

- 소비전류 = 6.5 mA(MCU 정상동작 전류)
- 1회 유효동작시간 = 714.9 msec ((57.3 ms x (1+6+6)) - 30 ms), 동작빈도 = 20 회/일
- 1일당 소비전류량 = 6.5 mA x (714.9 ms/3600H) x 20 = 25.816  $\mu$ AH
- 1년간 소비전류량 = 25.816  $\mu$ AH x 365 = 9.423 mAH

5) Sleep모드

고주파 Wake-up 신호를 수신하기 위해서 태그는 Sleep모드 중 설정된 일정한 주기적 간격으로 깨어나 리더로부터의 Wake-up신호를 탐색해야 한다. 특정 지점을 통과하며 응답해야한다고 가정했을 때 태그는 최소 2 sec간격으로 깨어나 Wake-up 변조신호를 2 msec 씩 탐색하는 것으로 한다.

태그가 동작하는 Wake-up수신시간 49 sec와 명령어 수신시간 3 sec 그리고 Listen 구간 14 sec를 제외하고 계산하였다.

(a) Sleep모드

- 소비전류 = 1.6  $\mu$ A(MCU Sleep timer상태)
- 1일 유효동작시간= 1.998 sec, 동작빈도= 43,167회  
 $(24 \times 3600 - 66) / 2)$
- 1일당 소비전류량 = 1.6 $\mu$ A x (86,247.7sec / 3600H) = 38.332  $\mu$ AH

(b) Wake-up신호 탐색모드

- 소비전류 = 30.8 mA(MCU 정상동작; 6.5 mA + UHF Rx상태; 24.3 mA)
- 1일 유효동작시간= 2 msec, 동작빈도= 43,167회
- 1일당 소비전류량 = 30.8 mA x (86.3 sec/3600H) = 735.8  $\mu$ AH

(c) Sleep모드 1년간 소비전류량

- 1년간 소비전류량 = (38.332  $\mu$ AH + 735.8  $\mu$ AH) x 365 = 282.55 mAH

위에서 계산된 능동형 표준 태그의 각 모드별 연간 소비전류를 간략히 정리 하면 표 3과 같이 하루에 20 회 동작하는 것을 가정으로 연간 456.498 mAH의 전류를 소비하게 된다.

배터리는 그대로 방치 할 경우 방전이 되는 특성을 가지고 있는데 이를 배터리 자기방전율(Self-discharge rate)이라고 한다. 이는 방치로 인하여 줄어드는 배터리 용량과 완전충전 상태일 때의 비율을 나타내며, 본 연구에서 사용된 배터리는 매년 1% 감소하는 것으로 적용하여 n번째 년도의 배터리 용량은 0.99<sup>n</sup>이 된다. 능동형 태그의 수명계산 시 이러한 자기방전율을 고려하여야 한다.

표 3. 능동형 표준태그의 연간 평균소비전류

Table. 3 Annual current consumption of standard active tag

Parameter	Working time	Current consumption	Annual consumption
Sleep Mode	8744.555H	1.6 $\mu$ A / 30.8mA	282.55mAH
Wake-up receiving mode	17,885sec	30.8mA	153.016mAH
Command receiving mode	1,095sec	30.8mA	9.368mAH
Tag receiving mode	219sec	35.2mA	2.141mAH
Listen waiting mode	5218.77sec	6.5mA	9.423mAH
Total	8760H	-	456.498mAH

따라서 앞에서 제시하였던 배터리 수명 계산식(4)에 배터리의 자기방전율을 적용하여 다시 정리하면 식(5)와 같이 된다. 앞에서 계산한 결과를 식(5)에 대입하여 용량 225 mAH인 CR2032코인 배터리를 사용할 경우 수명을 계산하면 식(6)과 같이 0.49가 나온다. 이를 개월로 환산하면 5개월이 된다.

태그배터리 수명 (year)

$$= \frac{\text{배터리초기용량 (AH)} \times 0.99^n}{\text{1년간 소비전류량 (AH/year)}} \text{----- (5)}$$

$$= \frac{225 (mAH) \times 0.99^n}{456.498 (mAH/year)} \text{----- (6)}$$

$$= 0.49 \text{ years} = 5 \text{ months}$$

### III. 저소비전력 RFID태그시스템의 설계

#### 3.1. Wake-up 시스템

상기의 2.1절에서 정리한 것과 같이 ISO/IEC 18000-7의 표준절차를 따르면 태그의 Wake-up시간은 최소한 2.45초이다. UHF 대역의 31.25 kHz 구형파 변조신호를 사용하여 태그를 Wake-up 시키는 것은 태그 내 코일이나 안테나에 충분한 전자계 에너지를 전달하기 어려우므로 태그 스스로 주기적으로 깨어나는 Blink 기능을 이용해야 하는데, Blink 주기에 따라 태그를 모두 읽어 들이는데 필요한 시간은 더 길어지게 되고, 태그의 임의의 Blink 시간 동안 태그가 리더기의 명령을 수

신하지 못하면 다음 Blink 시간까지 기다려야 하는 등 태그 수집 시간이 크게 증가하게 되어 배터리의 전력소비를 가중시키게 된다.

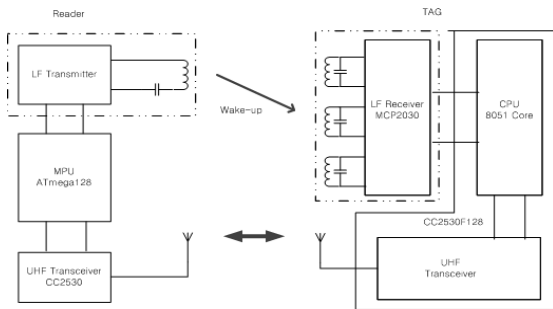


그림 3. 제안된 태그와 리더의 블록도  
Fig. 3 Block diagram of proposed tag and reader

따라서 ISO/IEC 18185-1과 ISO/IEC 24730-2와 같은 파생표준에서 사용하는 것과 같은 LF(Low frequency)의 자계에너지 필드를 이용한 Wake-up시스템으로 설계하여 태그의 Wake-up시간을 단축시켜 배터리의 사용시간을 줄이고자 한다. 그림3의 태그와 리더 블록도에서 보이는바와 같이 리더에는 LF Transmitter부가 태그에는 LF Receiver부가 추가적으로 구성된다.

3.1.1. 태그용 LF 수신부 설계

자기장(Magnetic field)방식의 태그통신은 125 kHz를 사용하여 주변의 물체의 전파영향을 받지 않고 약 6 m 정도의 통신거리를 보장한다. 하지만 자기장통신은 방향성을 가짐으로 리더에서는 루프코일(Loop coil)안테나를 사용하고, 태그에서는 3축의 루프안테나와 3축 수신칩으로 Microchip사의 3 Channel analog front-end device인 MCP2030[10]를 사용하여 태그가 리더 전면의 어느 방향에서나 수신이 가능하도록 하였다.

표 4. LF Wake-up명령 Data포맷  
Table. 4 LF Wake-up command data format

AGC time	Gap	Wake-up Filter		Command type
4ms High	500µs	2ms high	2ms Low	Channel No.8bit + CRC 8bit + Stop bit

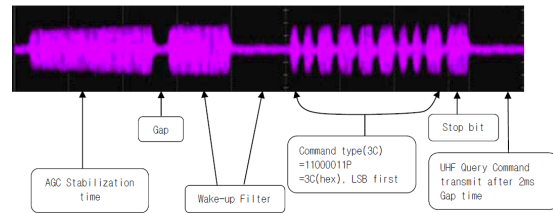


그림 4. LF Wake-up명령의 전송파형  
Fig. 4 Wave form of LF wake-up command

표 4와 그림 4 같은 저주파의 자기장 신호로 태그를 깨우기 위한 125 kHz 반송파 변조된 LF Wake-up명령은 다음과 같이 구성된다.

- (1) 4 ms ON; AFE(Analog Front-end)의 AGC 안정화를 위해 125kHz의 무변조 신호로 태그의 LF안테나를 통해 3 Vp-p에서 수신하기 시작함
- (2) 500 µs Off를 하여 약속된 패턴을 만들.
- (3) 2 ms ON 뒤에 2 ms OFF (AFE의 Enable filter를 위해). 이 패턴이 수신AFE의 구성설정에 따라 수신되면 칩의 디지털부가 동작하기 시작함.
- (4) UHF용 채널정보(8bits), CRC(8bits), Stop bit. bits는 LSB(Least Significant bits)부터 먼저 송신함. 데이터는 PWM방법으로 인코딩 됨(그림5 참조).
- (5) 2 ms Off; Tag의 UHF수신채널 설정을 위해 Guard time을 주고 리더에서 UHF로 Collection명령어를 전송함.

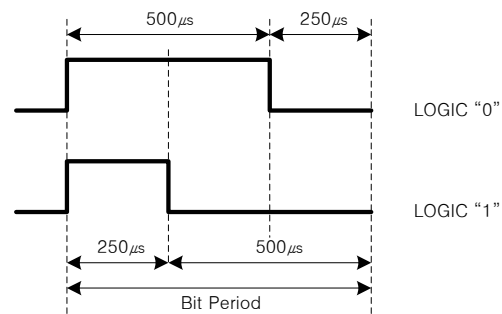


그림 5. PWM 데이터 인코딩 포맷  
Fig. 5 PWM data encoding format

저주파 자기장 Wake-up신호에 UHF전송을 위한 채널정보는 그림5에 묘사한것과 같이 PWM변조로 데이터를 전송하게 되며, 최대 10 kbps까지 가능하나 안정성을 고려 1.33 kbps로 전송함.



따라서 LF Wake-up신호 전체 패킷의 크기는 프리앰블과 채널정보데이터 8 bits와 CRC 8 bits에 Stop 1 bit를 더하여 17 bits 포함하여 표7에서와 같이 프리앰블기간 8.5 msec(AGC안정화 시간 4 ms + Gap 500 μs + Wake-up Filter 4 ms)와 데이터 전송속도를 1.33 kbps로 하였을 때 Data bit기간 0.75 msec를 적용하여 식(7)과 같이 산출하면 21.25 msec로 ISO/IEC 18000-7에서 요구하는 2.45 sec보다는 1/100이하로 시간을 단축하여 배터리 소비전력을 줄이게 된다.

$$8.5 \text{ msec} + (0.75 \text{ msec} * 17 \text{ bit}) = 21.25 \text{ msec} \text{ ---- (7)}$$

### 3.1.2. LF 수신부의 특성

LF Wake-up신호 수신소자인 MCP2030은 저소비전력으로 설계되어 태그의 Wake-up회로에 이용하기 적합하며 전기적 특성은 표 5에 정리하였다.

또한, LF Wake-up신호에 포함된 UHF의 채널정보는 UHF로 RFID태그를 수집하는 전송에서 사용할 무선주파수 채널의 정보를 함께 전송하게 되어 능동적으로 리더 간의 간섭을 회피할 수 있도록 리더와 태그간의 채널 변경 및 링크설정이 신속하게 되도록 한다.

표 5. MCP2030의 전기적 특성

Table. 5 Electrical specifications of MCP2030

Parameter	Value	Units
Supply voltage	3.0(2.0~3.6)	V
Sleep mode current	0.2	μA
Standby current	4	μA
Operating current	13	μA
Input frequency	125	kHz
Input sensitivity	3	mVp-p
Max. input data rate	10	kbps

### 3.2. UHF 전송시스템

능동형 RFID시스템의 표준인 ISO/IEC 18000-7은 433.92 MHz대역을 사용하며 채널대역이 200 kHz인 단일채널 시스템으로 데이터 전송속도는 27.8 Kbps 수준이다[2] 고속 이동하는 대량의 태그 데이터를 효과적으로 전송하기 위해서는 ISO/IEC 18000-7의 27.8 Kbps수준의 전송속도는 부족함이 있다. 본 연구에서는 전송속도 문제를 개선하기 위하여 2.4 GHz ISM(Industrial Scientific Medical)대역을 사용하였다. 2.4 GHz ISM대역은 별도의 무선국허가를 득할 필요 없이 무선설비형

식등록만으로 사용할 수 있으며, 기존표준에 비해 개별 채널의 대역폭이 증가함으로 전송속도가 증가하고 다수의 채널을 구성할 수 있어 주파수 중복에 따른 성능저하를 피할 수 있다. 본 연구의 선행연구[9]에서와 같이 2.4 GHz대역을 구성하기 위하여 TI(Texas Instrument)사에서 개발된 CC2530[8] 트랜시버를 선택하여 시스템을 설계하고 개발하여 실험환경을 구성하였다.

표 6. CC2530의 전기적 특성

Table. 6 Electrical specifications of CC2530

Parameters	Value	Units
Supply voltage	3.3(3.0~3.6)	V
Transmitting current	28.7	mA
Receiving current	24.3	mA
Sleep mode current	1.6	μA
Frequency	2.405~2.485	GHz
Receiving sensitivity	-97	dBm
Data rate	250	kbps
Transmit distance	100	m

TI사의 CC2530은 8051과 호환되는 MCU(Micro Controller Unit)을 갖는 RF 트랜시버(Radio frequency transceiver)로서 2.4 GHz의 ISM 대역에서 동작한다. DSSS(Direct-Sequence Spread Spectrum)를 사용하여 16개의 데이터 채널을 제공하며 데이터 전송률은 최대 250 Kbps이다. 8051 MCU는 최대 256K 플래쉬 메모리와 8K RAM을 제공한다. CC2530의 전기적 특성은 표6과 같다.

### 3.3. 제안하는 태그수집 알고리즘의 성능향상기법

능동형 RFID시스템에서 리더와 Tag간의 다중 접속 통신 기술에 해당하는 기존의 Frame slotted ALOHA를 수정하여 최적화한 통신 절차(Modified Frame slotted ALOHA로 정의)로 Tag의 동작 대기 시간을 최소화하면서 다량의 Tag를 인식하기 위한 수백 ms 정도 리더와 Tag간의 통신을 하는 성능개선을 위한 고려사항들을 정리하면 다음과 같다.

#### 3.3.1. 컬렉션절차의 간소화

기존 능동형 RFID표준의 Frame slotted ALOHA에서 “컬렉션 명령 --> 태그들의 응답 Frame --> 식별한 태그들의 Sleep명령어 Frame --> 컬렉션 명령”절차의 더 이상의 태그 수신에 없을 때 까지 반복을 진행하는

기본 개념에서 태그 응답 Frame에 대한 Acknowledge 정보를 컬렉션 명령에 포함하고, 응답태그에 대한 인지 정보로 사용한다. 명령과 Ack 정보를 통합하여 전송함으로써 태그는 매 Slot 마다의 응답 여부에 따른 Ack 대기 시간이 필요하지 않아, 절차상의 수신 대기 시간을 대폭 축소시켰다. 다량의 태그를 식별하기 위해서는 하나의 Frame 만으로는 모든 태그의 정보를 수집할 수 없기 때문에, 필수적으로 동일한 패킷헤드와 동일한 명령어에 태그ID만 다른 반복적인 여러 Frame을 통해 태그응답에 대응하는 시간을 소비할 수밖에 없었다. 이러한 맥락에서 다음 컬렉션명령에 Ack 정보를 포함시키면, 별도의 Ack 정보를 송신 혹은 수신대기 하지 않고 다음 컬렉션명령만 으로 함께 처리할 수 있다.

Ack 정보를 표현하는 방식에서 응답 Slot 정보와 태그에서 생성한 임의의 정보(1 byte)로 표현하여 태그별 Ack 정보를 함축하는 것이 가능해진다. 이를 통해 다음 컬렉션 명령인 하나의 패킷에 전체 성공적으로 응답을 수신한 태그에 대한 Ack 정보를 표현할 수 있게 된다. 태그는 이 정보를 수신하여 자신이 응답한 슬롯의 bit 정보와 임의의 정보가 일치하는 경우에 리더가 자신의 응답 정보를 정상적으로 수신하였다고 판단하고, 컬렉션 Round참여 과정을 종료하고 Sleep으로 진입한다.

### 3.3.2. 축소된 명령어 포맷

기존의 능동형 RFID수집 알고리즘에서는 고속의 수집보다는 능동형 태그의 메모리에 저장된 많은 정보를 Write 또는 Read하기위하여 복잡한 필드구조의 명령어 들을 가지고 있으며, 고속태그의 수집을 위해서는 고유한 태그의 정보만을 성공적으로 수집할 수 있도록 간소화된 수집절차에 부합하도록 단순화하여 슬롯시간을 축소할 수 있도록 하였다. 기존 시스템의 컬렉션 명령어 포맷은 12 bytes로 구성되어 있고 태그응답은 20 bytes로 구성되어 있으나 제안하는 컬렉션명령어는 10 bytes로 축소하였고 태그응답 메시지 역시 17 bytes로 축소하여 개선하였다. 개선된 능동형 RFID시스템을 위한 명령어포맷은 다음 3.4절에 정리하였다.

### 3.3.3. 효율적인 슬립기법

기존 표준시스템에서는 태그는 주기적으로 깨어나 리더로부터 Wake-up신호가 있는지 수신하여야 하며, Wake-up신호를 감지할 경우 리더로부터의 컬렉션 명

령을 최대 30초간 기다리며 대기하여야 하고 또한 수집 Round의 랜덤하게 선택한 Slot에 태그의 정보를 전송하기위하여 기다리고 리더로부터 Sleep명령어를 수신할 때 까지 또는 최종 명령을 수신한 후부터 30초간 기다린 후 Sleep으로 들어갈 수 있다. 제안된 RFID시스템에서는 LF 대역의 자기장통신에 의한 Wake-up방식을 사용함으로써 태그는 Wake-up신호를 수신하기위하여 주기적으로 깨어나 Wake-up신호가 있는지 대기할 필요가 없이 태그의 수신부에 있는 소비전력 4 $\mu$ A의 초저 소비전력 아날로그 LF수신칩에서 Wake-up신호에 의하여 태그의 MPU를 깨우게 된다. 또한 태그에서는 정보를 전송할 임의의 Slot을 선택한 후 Sleep으로 되었다가 선택한 Slot에 깨어나 태그정보를 전송하고, 다음 명령어 수신까지 Sleep으로 들어가게 하여 획기적으로 개선된 슬립기법을 적용하여 소비전력을 최소화 한다.

## 3.4. 제안된 명령어 포맷

### 3.4.1. 리더에서 태그로의 명령어

리더의 송신 명령어는 Query, QueryRepeat, Query Adjust 등 3가지이다.

표 7. Query 명령어 포맷

Table. 7 Query command format

CMD	Reader ID	Seq. No.	Target	Gap-Time	Slot-Time	Q	CRC
0x55	2 bytes	1 byte	1 byte (0x00)	1 byte	1 byte	1 byte	2 bytes
				(Pre-Gap 4bit / Post-Gap 4bit)			

#### 1) Query 명령어

Query명령어는 ISO/IEC 18000-7에서의 Collection with UDB명령어과 유사한 명령어로 리더에서 태그로 전송한다. 기존의 표준과는 다르게 태그수집 세션의 2번째 Round부터는 QueryRepeat 또는 QueryAdjust명령어를 사용하게 되며, 명령어는 총 10 bytes 포맷으로 표 7에 나타내었다.

#### 2) QueryRepeat 명령어

QueryRepeat 명령어는 이전 Round의 슬롯 수와 동일한 수로 컬렉션과정을 반복할 때 사용하며, 이전슬롯에서 식별한 태그에 대한 Ack정보 및 Sleep명령어가 포함되어 진다. 태그 ID 정보는 보통 4~8 bytes 정보로 길

기 때문에 ID 정보를 모두 식별에 사용하면 정확하게 지정할 수 있으나, 많은 태그가 수신되는 경우 식별된 태그를 표현하는 Packet의 Data가 너무 커서 한번에 전달하기 어려운 경우가 발생한다. 따라서 간결하게 표현하여 한번에 이를 전달하여 처리하는 것이 안정적이다. 본 기술에서는 응답한 Tag의 슬롯에서 충돌이 동시에 감지되는 경우 이는 응답하지 않은 것으로 처리며, QueryRepeat 명령어 포맷은 다음의 표8과 같다.

표 8. QueryRepeat 명령어 포맷  
Table. 8 QueryRepeat command format

CMD	Reader ID	Seq. No.	Length of bit	Slot-bit(s)	Random Number(s)	CRC		
0x66	2 bytes	1 byte	Q	According Q value				2 bytes
				0	1	2	...	

3) QueryAdjust 명령어

QueryAdjust 명령어는 이전 Round의 슬롯 수와 다른 새로운 Slot의 수로 컬렉션 과정을 진행할 때 사용하며, 이전슬롯에서 식별한 태그에 대한 Ack정보 및 Sleep 명령어가 포함되어 진다. QueryAdjust 명령어 포맷은 다음의 표9와 같다.

표 9. QueryAdjust 명령어 포맷  
Table. 9 QueryAdjust command format

CMD	Reader ID	Seq. No.	New Q	Length of bit	Slot-bit(s)	Random Number(s)	CRC		
0x77	2 bytes	1 byte	1 byte	Q	According Q value				2 bytes
					0	1	2	...	

3.4.2. 태그에서 리더로의 응답

리더로 부터의 컬렉션 명령어인 Query, Query Repeat, QueryAdjust에 대하여 태그는 컬렉션 명령을 받은 리더ID와 명령어 Seq.No.를 그대로 리턴하여 리더는 자신의 컬렉션명령에 대한 회신인지 구분하도록 한다. 태그응답 명령어는 총 17 bytes 포맷으로 표10에 나타내었다.

표 10. 태그응답 명령어 포맷  
Table. 10 Tag response command format

Reader ID	Seq. No.	Tag ID	RN-8	Battery Status	RSSI (LQI)	CRC
2 bytes	1 byte	8 bytes	1 byte	1 byte	2 bytes	2 bytes

3.5. 제안된 기법의 태그수집단계

제안된 고속태그 수집을 위한 개선된 알고리즘에서는 태그를 효율적으로 제어하기 위해서 LF대역과 UHF대역 두 개의 무선주파수를 혼합하여 운용하고, 리더가 LF대역의 Wake-up신호 전송으로 태그와의 통신을 시작하는 Inquiry 방식으로 운용할 수 있도록 한다. 태그와의 통신에서 발생할 수 있는 오차로 인한 시간 손실을 최소화하기 위하여 리더와 태그간의 통신 시점마다 명확하게 구분되는 통신 시점과 통신 시간이 절차상에 포함된다.

- 1) 리더를 LF대역으로 Wake-up신호를 송출하여 LF 통신영역내의 모든 태그를 깨운다.
- 2) 깨어난 태그는 LF대역의 Wake-up신호에 포함된 UHF대역의 통신채널 data를 수신하여 UHF통신채널을 설정하고, LF대역의 Wake-up패킷 종료 시점을 기준으로 일정시간동안 UHF대역의 Query명령어 수신을 대기한다.
- 3) 이에 리더는 Wake-up패킷의 종료 시점을 기준으로 약2msec 지연 후 UHF대역으로 최초 명령인 Query 명령을 태그에 전송하며, 리더와 태그는 명령 전송 혹은 수신 시작 시점의 시간을 기준으로 시간 정보를 다시 동기화 한다.
- 4) 리더 및 태그는 Query명령패킷의 종료 시점을 기준으로 각각의 수행 지연 시간(보통 2ms) 이후에서부터 Listen구간을 시작한다. 태그는 수신한 Query명령에서 슬롯의 수, Pre-gap time과 Post-gap time 및 Slot time의 정보를 기반으로 타임슬롯을 나누어 설정하고 랜덤으로 응답 슬롯을 선택한다. 응답 슬롯에서 송신 전에 Pre-gap time을 지연한 후 송신한다. 태그는 Query명령 수신 후 타임슬롯 할당과 전송할 슬롯의 선택한 후 자신의 응답 슬롯까지는 Sleep 상태에 있으며, 자신의 슬롯에서 응답한 후 다시 다음 명령(QueryRepeat 등)을 수신할 시점까지 Sleep 상태로 전환된다.
- 5) 리더는 태그의 Gap time을 포함한 시간을 Slot time으로 간주하여 태그응답을 청취한다.
- 6) 리더는 전체 슬롯이 끝나는 시점에서 다음 명령(QueryRepeat 등)을 전송하는 시점 사이에 Round\_gap time(보통 2 ms)을 갖게 되며, Gap time 동안에 슬롯 응답의 내용을 분석하여, 다음 명령을 선택하고

송신한다.

- 7) 다음 명령 수신 시점에서 스스로 깨어난 태그는 일정 시간 리더의 명령을 수신하고, 명령에 포함된 인지 정보를 확인하여 자신의 응답에 대한 인지가 있는 경우 바로 Sleep으로 전환되어 다음 LF대역의 Wake-up신호를 수신할 때까지 응답하지 않는다. 만일 인지가 없는 경우 태그는 명령(QueryRepeat 등) 수신 시점을 기준으로 다시 시간을 동기화하고 각각의 수행 지연 시간(보통 2 ms) 이후에서부터 응답 슬롯을 시작하여 절차를 반복한다.

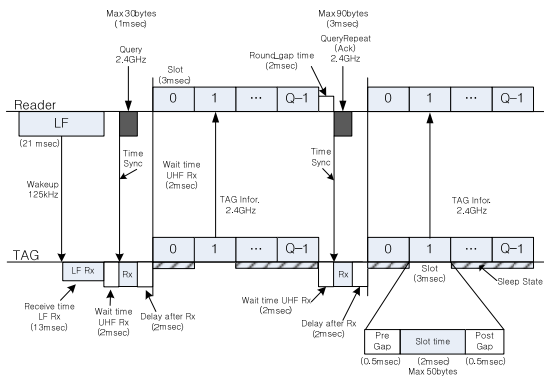


그림 6. 제안된 태그수집절차에 따른 타이밍  
Fig. 6 Proposed tag collection sequence and timing

제안된 태그수집 단계의 전체 과정을 그림6에 나타내었다. “Time sync”로 표시된 부분은 매 시간 정보를 동기화하는 시점이고, 슬롯 시작 전 “Delay after Rx” 시간이 주어지며, 슬롯이 종료된 후 다시 명령어 전송 사이에는 Round\_gap time이 별도로 주어진다.

태그는 그림6에서 빗금박스로 표시된 것과 같이 자신이 응답하지 않는 대부분의 시간에 Sleep 상태에 있게 되며, 응답시에는 Pre-gap time의 지연 후에 송신을 시작한다. 이 전체 과정을 수집세션이라고 한다.

태그수집절차에서 태그가 Slot에서 송신 전의 Pre-gap time, 리더의 명령 송신 전 Round\_gap time은 리더와 태그간의 clock 오차와 Timing 오차를 감안하여 리더가 태그의 슬롯 응답 시점의 오차에 덜 민감하도록 한다. 태그는 Sleep - wake을 통해 송신 시간이 설정됨으로 Sleep 상태에서 Timer의 오차가 누적되어 통신 시점의 오차로 나타나게 되는 것을 보완하게 된다.

### 3.6. 제안된 태그수집단계별 전송시간

제안된 태그수집 알고리즘의 단계별 소요시간을 살펴보면, 먼저 리더는 정해진 시간 간격 또는 센서 등의 검지에 의한 외부트리거 방식에 의하여 LF Wake-up신호를 송출하게 된다. 컨베이어 벨트에 실려 이동하는 상품의 박스처럼 대량의 태그를 지속적으로 인식하여야 할 경우에는 이동속도 등에 따라 1 sec ~ 3 sec 간격의 Wake-up신호를 송출하고 건설현장에서 출입자의 안전관리나 장비의 이동을 관리하는 출입게이트시스템에서처럼 불규칙적으로 태그를 인식해야 할 경우에는 불필요한 전자파의 송출을 억제하고 리더의 전력소모를 감소시킬 수 있도록 적외선 센서 등을 이용하여 이동하는 물체가 검출되었을 때 저주파 Wake-up신호를 송출하여 새로운 세션을 시작하게 된다. LF Wake-up신호는 3.1절에서 나타낸바와 같이 Head와 Wake-up필터 그리고 UHF로 통신할 채널번호의 데이터로 구성되며 약 21.25 msec동안 전송된다.

리더는 LF Wake-up신호를 송출한 후 약 2 msec의 Wait time을 가지며, 이 시간동안 리더는 태그와의 UHF채널로 통신할 준비를 하고, LF Wake-up신호를 수신한 태그들이 안정하게 UHF로 통신을 준비할 시간을 제공한 후 리더는 UHF채널로 Slot time, 첫 번째 Round에서 이용한 Slot수인 Q, 어느 Round의 수집명령에 참여하는 태그인지를 구분하기 위한 Seq. No. 등의 정보가 포함된 10 bytes길이의 Query명령을 320 usec 전송하여 태그의 수집세션을 시작하게 된다.

Query명령 전송 후 리더는 태그로부터의 데이터를 수신하고 처리할 Slot수신 시간을 계산하고 UHF수신 모드로 전환되며, Query명령을 수신한 태그가 Time동기화를 하고, Slot간격과 Slot수 그리고 랜덤하게 리더의 태그ID 컬렉션에 참여할 Slot을 선택할 수 있도록 2 msec의 Delay time을 가진다.

리더는 Query명령 전송 다음 Delay time후 ‘Slot시간 x Slot 수’ 만큼의 시간동안 각각의 태그들로부터 전송되어 온 데이터를 수신하고 검증하며 성공적으로 수신된 태그ID를 정리하고 Slot bit테이블을 만든다. Slot time은 Query명령에서 설정할 수 있지만 본 연구의 구현 실험에서는 17 bytes 길이의 태그응답시간과 리더와 태그 간 Time동기화 오차를 고려한 전, 후 0.5 msec씩의 Guard time을 설정하여 Slot간격은 3 msec가 되도록 하였다. 초기 Q값은 32로 설정하여 전체 태그의 데이터

수신처리에 소요되는 시간은 96 msec가 된다.

리더는 모든 Slot의 태그로부터의 데이터 수신처리가 종료되면 다음 Round명령을 위한 처리시간과 태그의 UHF송신에서 수신 상태로 전환시간의 보장을 위하여 2 msec의 Round\_gap time을 가진 후 첫 번째 Round에서 참여한 태그들에 데이터 전송 성공여부 통보를 위한 bits테이블 정보와 RN8정보 그리고 다음 Round의 Slot수와 Seq. No. 등의 정보를 포함한 QueryRepeat 명령 또는 Query Adjust명령을 송출하고 첫 번째 Round와 같은 절차의 태그데이터 수집절차를 수행한다. 그림 7에서와 같은 동작흐름에서 초기Q값을 32로 가정했을 경우 리더가 Wake-up신호 송출부터 첫 번째 수집 Round를 122.25 msec에 완료하고 2번째 Round시작을 위한 QueryRepeat명령을 송출하게 된다.

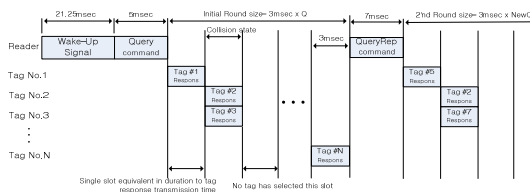


그림 7. 제안된 리더의 동작 타이밍  
Fig. 7 Operating timing of proposed reader

LF Wake-up신호를 검출한 태그들은 먼저 저주파 수신칩 MCP2030이 동작하며 신호의 Head 패턴이 일치하는지를 로직회로에서 비교 하게 되고 수신신호가 Wake-up필터의 설정과 일치하게 되면 MCU를 깨우게 된다, MCU는 곧 이어 수신되는 데이터를 분석하고 인식하며, 리더의 수집세션에 참여하게 된다. 태그의 LF 수신칩은 0.3mVp-p의 입력신호에 동작하여 16msec동안 Wake-up필터의 패턴이 일치하지 않으면 다시 슬립 모드로 된다.

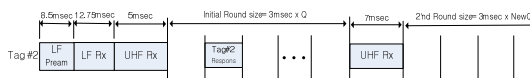


그림 8. 제안된 태그의 동작 타이밍  
Fig. 8 Operating timing of proposed tag

태그는 LF 채널로 수신된 UHF대역의 채널정보에 따라 통신채널을 설정하고 리더로부터의 Query명령을 수신 대기 한다. Query명령이 수신되면 먼저 Time counter

를 동기화하고, Query명령의 파라미터정보 필드에서 획득한 Slot time, Q값, Guard time에 따라 Slot간격과 Slot 수를 결정하며, MCU의 랜덤번호 생성기를 이용하여 임의의 Slot번호를 선택한 후 태그는 Sleep상태로 된다. 선택한 Slot의 시작시점에 깨어나 표 10과 같은 응답 메시지를 전송하고 다시 Sleep mode로 되어 모든 Slot시간이 종료 되는 시점에 다시 깨어나 리더로부터의 Query Repeat명령 또는 Query Adjust명령을 수신대기하고 수신된 명령의 bits테이블로부터 자신이 참여한 Slot위치의 bit플래그를 확인하여 성공적으로 응답이 전송되었는지 확인하고, 성공한 bits 테이블의 순서대로 확인을 위하여 전송되어온 RN8필드에서 태그 자신이 발송한 RN8과 일치 여부를 확인하여 일치한다면 성공적으로 전송되었으므로 Sleep상태로 들어가 세션을 종료하게 된다. 전송에 성공하지 못한 태그는 QueryRepeat명령 또는 QueryAdjust명령에 포함된 Slot time, Q값, Guard time에 따라 Slot간격과 Slot수를 다시 결정하고 임의의 Slot번호를 선택하는 절차를 반복한다. 특정태그의 동작타이밍을 그림8에 나타내었다.

#### IV. 제안된 태그의 소비전력 평가

##### 4.1. 일반개요

본 연구에서 중요한 자산이나 인력의 출입관리에 적용할 수 있도록 하나의 코인 배터리(CR2032)로 3년 이상의 동작시간을 보장하는 것을 설계 목표로 하였다. 이를 위해서는 설계된 능동형 태그가 표 11의 배터리를 사용할 경우 얼마의 배터리 수명을 얻을 수 있는지 정확한 예측이 필요하다. 이를 바탕으로 설계 시 각각의 소비전력을 조정하거나 줄일 수 있기 때문이다. 그러나 능동형 태그의 다양한 동작모드와 복잡한 동작 주기 동작모드에 따라 달라지는 소비전력 때문에 배터리 수명 계산이 쉽지 않은 것이 사실이다. 이러한 다양한 전력 소비유형을 모두 고려하여 배터리 수명을 계산하는 방식을 도출하고 계산식으로 정리 하였다.

표 11. 배터리 규격  
Table. 11 Battery specifications

Model	Voltage (V)	Capacity (mAh)	Dimension(mm)		Weight (g)
			Dia.(D)	High(H)	
CR2032	3.0	225	20	3.2	2.5

제안된 능동형태그의 전력소비유형은 크게 4가지 동작형태인 Sleep모드, Wake-up 수신모드, UHF수신모드, 태그응답모드에 따른 전력소비로 이루어진다. Sleep모드는 다시 외부 인터럽트모드와 Sleep timer모드로 나누어지는데 외부 인터럽트모드는 LF모듈이 Standby상태로 동작하고 MCU(Micro Control Unit)가 Sleep상태로 동작하며, Sleep timer모드는 MCU가 저속모드의 Sleep timer상태로 동작한다. Wake-up수신모드는 LF모듈이 Wake-up수신 상태로 동작되고 MCU가 Wake-up필터수신 후부터 Wake-up되어 정상동작 상태로 된다. UHF수신모드에서는 LF모듈이 Sleep상태로 동작하고 MCU가 정상동작으로 되며 또한 RF모듈은 UHF Rx상태로 동작된다. 마지막으로 UHF태그응답모드에서는 LF모듈이 Sleep상태로 동작하고 MCU는 정상동작으로 RF모듈은 UHF Tx 상태로 동작하며 전력을 소비한다.

이러한 주기적인 전력소비유형을 고려하여 배터리 수명을 2.3절에서 제시한 태그배터리의 수명계산식에 동일하게 적용하면 한 개의 배터리로 태그가 몇 년 동안 사용할 수 있는지 알 수 있다. 이와 같이 구분된 동작 주기와 동작모드에 따른 전력소비 유형을 바탕으로 제안된 능동형 태그의 소비전류를 계산할 수 있다. 각각의 동작 모드에서 MCU, LF모듈, RF모듈의 소비전류를 표 12에 나타내었다. 이를 이용하여 동작모드에 따른 소비전류를 계산할 수 있다.

**표 12.** 태그의 동작기능에 따른 소비전류  
**Table. 12** Current consumption according to the tag functions

Module	Functions	Current consumption
LF module	Sleep state	0.2 $\mu$ A
	Standby state	4 $\mu$ A
	Wake-up state	13 $\mu$ A
MCU	Sleep status	0.4 $\mu$ A
	Sleep timer state	1.6 $\mu$ A
	Normal working state	6.5mA
RF module	UHF Rx state	24.3mA
	UHF Tx state	28.7mA

**4.2. 제안된 태그의 소비전류 계산**

본 연구에서 제안된 능동형 태그는 출입게이트 등과 같은 특정지역을 통과할 때 태그가 Wake-up되고 동작되어 응답하는 것으로 응용분야에 따라 1일 동작횟수가

상이하게 되어 전체 소비전류가 다르게 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 특정 응용 분야 인 건설현장의 주요 장비 및 건설인력의 출입관리에 적용하는 시스템으로 1일 20회 정도 출입하며 동작하는 것으로 가정하고 전력 소비를 계산하여 배터리 수명을 예측하고자 한다.

**1) Sleep모드**

LF모듈은 Standby상태이고, MCU는 Sleep상태로 Wake-up신호를 대기하는 모드 이다.

- 소비전류= 4.4  $\mu$ A(LF모듈 Standby상태; 4  $\mu$ A + MCU Sleep상태; 0.4  $\mu$ A)
- 1일 유효동작시간= 24H - (1일 Wake-up수신시간 + 1일 UHF수신시간 + 1일 UHF송신시간 + 1일 Sleep timer시간)  
 = 24H - (425 ms + 520 ms + 180 ms + 5,580 ms)  
 = 86,393.29 sec
- 1일당 소비전류량= 4.4  $\mu$ A x (86,393.29 sec /3600 H) = 105.592  $\mu$ AH
- 1년간 소비전류량= 105.592  $\mu$ AH x 365 = 38.541 mAh

1일 Wake-up수신시간은 태그가 리더로부터 Wake-up신호를 수신하는 구간이며 최대 21.25 msec로 하여 하루에 20회 동작하는 것으로 가정하면 425 msec (21.25 msec x 20회)가 된다.

1일 UHF수신시간은 Wake-up신호 후에 5 msec의 Query명령어를 수신하는 구간과 한 세션구간에서 하나의 태그가 평균적으로 3 round씩 참여한다고 가정하면 리더로부터 QueryRepeat를 수신하는 구간 21 msec(7 msec x 3 round)를 반영하면 26 msec(5 msec + 21 msec)로 하루에 20회 동작하게 되어 520 msec (26 msec x 20 회)이다.

1일 UHF송신(태그응답)시간은 슬롯시간 최대 3 msec씩 한 세션구간에서 평균 3번의 Round에 참여하여 응답하는 것으로 하여 하루에 20회 동작함으로 180 msec(3 msec x 3 round x 20 회)이다.

1일 Sleep timer시간은 태그가 Wake-up되어 Query명령어를 수신하고 참여할 슬롯을 선택한 다음 선택한 슬롯구간과 리더로부터 QueryRepeat 명령어를 수신할 구간을 제외하고는 저속의 Sleep timer상태로 되어 전력의 소비를 최소화하면서 세션구간동안 타임동기화되어 정

확한 슬롯시간에만 깨어나 태그정보를 전송하고 리더로부터의 명령을 수신하기위한 시간으로 1 round의 슬롯수를 32개로 하면 태그응답시간인 1개의 슬롯을 제외하고는 Sleep Timer상태로 동작하게 됨으로 슬롯시간 3 msec씩 31개 슬롯기간 동안 동작하며 평균 3 round씩 참여하는 것으로 가정하여 하루 20회 동작을 하게 됨으로 1일 Sleep timer시간은 5580 msec(3 ms x 31 slot x 3 round x 20 회)이다.

2) Wake-up수신모드

리더로부터 저주파신호의 Wake-up신호가 수신되면 LF모듈은 Wake-up동작 상태로 되어 로직분석을 시작하고, 사전에 설정된 Wake-up필터와 일치된 Head신호가 감지되면 MCU를 깨워 Wake-up명령어를 수신하는 모드이다.

(a) LF모듈 소비전류

- 소비전류= 13  $\mu$ A(Wake-up동작)
- 1회 유효동작시간= 저주파 Wake-up패킷의 전체 시간인 21.25 msec, 동작빈도= 20 회/일
- 1일당 LF모듈 소비전류량 = 13  $\mu$ A x (21.25 ms / 3600H) x 20 = 1.535 nAH

(b) MCU 소비전류

- 소비전류 = 처음 Wake-up필터수신전 까지 Sleep 상태로 0.4  $\mu$ A이고 이후는 정상동작 6.5 mA
- 1회 유효동작시간 = Sleep상태로 8.5 msec, 정상 동작으로 12.75 msec  
동작빈도 = 20 회/일
- 1일당 MCU 소비전류량 =  
[0.4  $\mu$ A x (8.5ms/3600 H) + 6.5 mA x (12.75 ms/3600 H)] x 20 = 460.436 nAH

(c) Wake-up수신모드 1년간 소비전류량

- 1년간 소비전류량 = (1.535 nAH + 460.436 nAH) x 365 = 168.619  $\mu$ AH/year

3) UHF수신모드

리더로부터 정상적인 저주파대역의 Wake-up신호를 수신하여 고주파로 통신할 채널번호에 따라 RF모듈을 Sleep상태에서 Active상태로 하여 다음 명령인 Query 명령을 수신하는 단계로 LF모듈은 Sleep상태로 되어

다른 수집세션에 참여되지 않도록 하고, RF모듈은 UHF Rx상태로 되어 리더로부터의 Query수집명령과 QueryRepeat명령을 대기하고 수신 처리하는 모드이다.

- 소비전류= 30.8 mA(LF모듈 Sleep상태; 0.2  $\mu$ A + MCU정상동작; 6.5 mA + UHF Rx상태 24.3 mA)
- 1회 유효동작시간= 5 msec(Query명령수신), 동작빈도= 20 회/일 + 7 msec(QueryRepeat수신), 동작빈도= 60 회/일(평균 3 Round참여)
- 1일당 소비전류량= 30.8002 mA x ((5 ms/3600 H) x 20 + (7 ms/3600H) x 60) = 4.449  $\mu$ AH
- 1년간 소비전류량 = 4.449  $\mu$ AH x 365 = 1,623.885  $\mu$ AH

4) 태그응답모드

리더로부터 태그수집 명령인 Query명령을 수신하여 Slot time, Slot수에 따라 수집 Round구간과 전송에 참여할 Slot을 임의로 선정한 후 해당 Slot구간에서 태그의 정보를 리더로 송신 처리하는 모드이다.

- 소비전류= 35.2 mA(LF모듈 Sleep상태; 0.2  $\mu$ A + MCU정상동작; 6.5 mA + UHF Tx상태 28.7 mA)
- 1회 유효동작시간= 3 msec, 동작빈도= 60회/일(평균 3 Round참여)
- 1일당 소비전류량 = 35.2002 mA x (3 ms/3600 H) x 60 = 1.76  $\mu$ AH
- 1년간 소비전류량 = 1.76  $\mu$ AH x 365 = 642.404  $\mu$ AH

5) Sleep Timer모드

수집세션에 참여하는 태그는 세션구간동안 UHF명령어 수신구간과 UHF태그 응답 Slot time을 제외하고 다른 Slot구간에서는 Sleep timer상태로 있도록 하여 소비전류를 줄일 수 있게 하였다.

- 소비전류 = 1.8  $\mu$ A(LF모듈 Sleep상태; 0.2  $\mu$ A + MCU는 Sleep Timer상태; 1.6  $\mu$ A)
- 1회 유효동작시간 = 93 msec (3 ms x (32 slot-1)), 동작빈도= 60 회/일(평균 3 Round참여)
- 1일당 소비전류량 = 1.8  $\mu$ A x (93 ms/3600 H) x 60

$$= 2.79 \text{ nAH}$$

$$\text{- 1년간 소비전류량} = 2.79 \text{ nAH} \times 365$$

$$= 1,018.35 \text{ nAH}$$

위에서 계산된 제안된 태그의 각 모드별 연간 소비전류를 간략히 정리 하면 표13과 같이 하루에 20회 동작하는 것을 가정으로 연간 40.977 mAH의 전류를 소비하게 된다.

배터리는 그대로 방치 할 경우 방전이 되는 특성을 가지고 있는데 이를 배터리 자기방전율(Self-discharge rate)이라고 한다. 이는 방치로 인하여 줄어드는 배터리 용량과 완전충전 상태일 때의 비율을 나타내며, 본 연구에서 사용된 배터리는 매년 1% 감소하는 것으로 적용하여 n번째 년도의 배터리 용량은  $0.99^n$ 이 된다.

표 13. 제안된 태그의 연간 평균소비전류  
Table. 13 Annual current consumption of proposed tag

Functions	Working time	Current consumption	Annual consumption
Sleep Mode	8759.32H	4.4 $\mu$ A	38.541 mAH
Wake-up Rx mode	155.1sec	13.4 $\mu$ A / 6.5mA	168.619 $\mu$ AH
UHF Rx mode	189.8sec	30.8mA	1623.855 $\mu$ AH
Tag Response mode	65.7sec	35.2mA	642.404 $\mu$ AH
Sleep timer mode	2036.7sec	1.8 $\mu$ A	1018.35nAH
Total	8760H	-	40.977mAH

능동형 태그의 수명계산 시 이러한 자기방전율을 고려하여야 한다. 따라서 앞에서 제시하였던 배터리 수명 계산식(4)에 배터리의 자기방전율을 적용하여 다시 정리하면 식(8)와 같이 된다. 앞에서 계산한 결과를 식(5)에 대입하여 배터리 수명을 계산하면 식(9)과 같이 5.196이 나온다. 이를 개월로 환산하면 5년 2월이 된다. 따라서 능동형 태그의 수명은 5년 이상이 확보되었음을 알 수 있다.

$$\text{태그배터리 수명 (year)}$$

$$= \frac{\text{배터리 초기용량 (AH)} \times 0.99^n}{\text{1년간 소비전류량 (AH/year)}} \text{----- (8)}$$

$$= \frac{225(mAH) \times 0.99^n}{40.977(mAH/year)} \text{----- (9)}$$

$$= 5.196 \text{ years} = 5 \text{ years } 2 \text{ months}$$

따라서 대부분의 능동형 RFID태그는 1,000mAH이상 용량의 배터리를 사용하고 100msec에서 1일 간격의 사전에 설정된 일정한 시간간격으로 태그의 ID를 송신하는 Blinking모드를 사용하며, 동작방법에 따라 최대 4년의 Lifetime을 제시하고 있다. 본 연구에서 제안된 알고리즘을 사용할 경우 태그인식시간의 단축뿐만 아니라 태그의 연간 배터리 소비 전류율을 표준알고리즘 대비 91.1% 개선하여 AA형 건전지가 아닌 CR2032형 코인 배터리를 사용하여 5년의 배터리 수명을 보장하는 소형의 능동형태그 구현이 가능하다.

## V. 결론

본 논문에서는 건설현장과 같은 대규모인원의 출입 현황을 실시간 확인하는 시스템에 적용할 수 있도록 적용환경에 따른 시스템의 요구조건을 정의하고 분석하여 기존의 ISO/IEC 18000-7 등의 규격에서 제시하고 있는 태그 수집 알고리즘을 개선하였는바 각 슬롯에서 리더기와 태그의 통신이 종료된 후 리더기가 각 태그들에게 별도의 슬립 명령을 전송하는 기존의 방법 대신 통신이 종료된 태그들은 즉시 슬립 모드로 진행할 수 있도록 함으로써 리더기의 태그 수집 시간을 대폭 감소시켜 배터리 수명(Battery life time)을 연장시켰다.

또한, 본 논문에서는 능동형 RFID태그의 동작에 따른 전력소모유형을 일회성과 주기성으로 구분하고 이를 기반으로 정확한 배터리 수명을 계산하는 방법을 제시한다. 제시된 계산법을 이용하여 능동형 RFID태그의 배터리 수명을 예측할 수 있게 해 줌으로서 저전력 태그의 설계에 적용이 가능하도록 하였고 기존방식과 제안된 방식의 배터리 소비전력을 산출하여 능동형 태그의 수명을 예측하고 비교하였다.

## ACKNOWLEDGMENTS

This study was supported by the Research Program funded by the Seoul National University of Science and Technology.



REFERENCES

- [ 1 ] R. Want, "An introduction to RFID technology," *IEEE Pervasive Computing*, vol. 5, no. 1, pp. 25-33, Jan.-Mar. 2006.
- [ 2 ] ISO/IEC 18000-7. "Information Technology-Radio Frequency Identification for Item Management - Part 7: Parameters for Active Air Interface Communications at 433 MHz", pp.3-54, 2009.
- [ 3 ] V. Nambodiri, L. Gao. "Energy-Aware Tag Anti-Collision Protocols for RFID Systems," in *Proc. IEEE PerCom*, pp. 23-36, 2007.
- [ 4 ] D. Rakhmatov, S. Vrudhula, and D. A. Wallach, "A Model for Battery Lifetime Analysis for Organizing Applications on a Pocket Computer," *IEEE Tran. Very Large Scale Integration Systems*, vol. 11, no. 6, pp. 1019-1030, Dec. 2003.
- [ 5 ] F. Simjee and P. H. Chou, "Accurate Battery Lifetime Estimation Using High-Frequency Power Profile Emulation," in *Proc. IEEE Int. Symp. Low Power Electronics Design*, pp. 307-310, Aug. 2005.
- [ 6 ] ISO 18185-1, "Freight containers -- Electronic seals, Part 1: Communication protocol," 2007.
- [ 7 ] ISO/IEC 24730-2. "Information technology -- Real time locating systems (RTLS) -- Part 2: Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) 2,4 GHz air interface protocol," 2012.
- [ 8 ] Texas Instruments inc. (2010), "CC2530 System-on-Chip Solution for 2.4 GHz IEEE 802.15.4 / RF4CE / ZigBee data sheets," <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2530.pdf>.
- [ 9 ] J.-T. Kim, B.-G. Kang and K.-W. Lee, "An Implementation of Modified Frame Slotted ALOHA Algorithm for Fast Tag Collection in an Active RFID System," *Journal of KICS*, vol.39B, no.09, pp. 598-605, Sep. 2014.
- [ 10 ] Microchip technology inc. (2013). "MCP 2030 Three-Channel Analog Front-End Device Data sheets," <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21981B.pdf>



김지태(Ji-Tae Kim)

1983년 경상대학교 해양과학대학 전자통신과 학사  
 2007년 서울과학기술대학교 전자공학과 석사  
 2007년~현재 서울과학기술대학교 IT정책전문대학원 박사과정  
 2007년~2011년 (주)엔디에스 연구소장  
 2012년~현재 (주)한맥이엔지 상무이사  
 ※ 관심분야 : 위치추적시스템, RFID, 무선센서네트워크



이강원(Kang-Won Lee)

1980년 서울대학교 산업공학과 학사  
 1982년 서울대학교 산업공학과 석사  
 1985년 Kansas State University 산업공학과 박사  
 1989년~현재 서울과학기술대학교 글로벌융합산업공학과 교수  
 ※ 관심분야 : 정보통신, 품질 및 신뢰성, O.R., 차세대 이동통신, RFID