

---

## IEEE 802.15.4 Protocol 기반 원격 수도검침 System

↓

### Automatic Piped Water Meter Reading System Based on IEEE 802.15.4 Protocol

↓

선용주, Yongju Seon\*, 이호응, Hoeung Lee\*\*, 박수진, Soojin Park\*\*\*,  
박현주, Hyunju Park\*\*\*\*

---

↓

**요약** ~ 본 논문은 원격 수도 검침을 위한 수도 사용량의 측정 방법 및 검침 시스템에 적합한 통신 환경을 제안 한다. 기존의 수도 검침 방법은 사람의 손으로 직접 사용량을 확인 및 기록하는 방식으로 수도 검침 값의 오차 및 인력 수급의 문제가 발생 하였다. 본 논문에서는 기존의 문제점을 해결하기 위해 Photo Interrupt Sensor를 이용하여 수도의 사용량을 Data로 전환 하며 원격지에서 Data 값의 확인을 위해 IEEE 802.15.4 Protocol을 활용하여 원격 검침 System에 적합한 무선 통신 환경을 제안 한다.

↓

**Abstract** ~ In this paper, we present measurement method of the amount of used piped water and the communications environment for automatic piped water meter reading. The existing piped water meter reading which is carried out by the human in person by monitoring the amount of use and recording make the problem of an error of the figure and being short of staffed to carry out piped water meter reading. To solve the existing problem in this paper, the amount of used piped water is converted into data type by Photo Interrupt Sensor, and IEEE 802.15.4 Protocol is used to confirm the measurement in remote place.

↓

**핵심어:** *automatic piped water meter, IEEE 802.15.4, RTOS(Real Time Operating System), Photo Interrupt Sensor.*

↓

↓

---

\*선용주 : 한밭대학교 정보통신 공학 전공; blueblood1119@nate.com

\*\*이호응 : 한밭대학교 정보통신 전문 대학원 전파공학과; hoeung@nate.com

\*\*\*박수진 : 한밭대학교 정보통신 공학 전공; e-mail: macsnh@nate.com

\*\*\*\*박현주 : 한밭대학교 전파공학 전공 교수; e-mail: phj@hanbat.ac.kr

# 1. 서론

컴퓨터화의 새로운 컴퓨팅 패러다임으로 등장한 유비쿼터스화는 유비쿼터스 컴퓨팅(Ubiquitous Computing) 과 유비쿼터스 네트워크(Ubiquitous Network) 기반으로 물리공간을 지능화함과 동시에 물리공간에 펼쳐진 각종 사물들을 네트워크로 연결시키려는 노력으로 정의 할 수 있다.

기존의 수도 검침 방법은 계량기에 의해 측정된 수도의 사용량을 사람의 손으로 관찰하고 기록하는 방식이다. 이는 인력을 이용함에 있어서 발생하는 인건비용, 기록의 오차와 같은 문제를 발생한다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 유비쿼터스 패러다임을 적용하여 수도계량기에 수도사용량을 검출하는 센서와 통신 칩을 부착 한다. 또한 수도 계량기와 사용자간의 통신에 있어 프로토콜은 IEEE 802.15.4 프로토콜을 이용하여 원격지에서 수도의 사용량을 확인 할 수 있도록 한다.

## 2. 관련연구

### 2.1 IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4는 저 전력 - 무선 근거리 네트워크(LR-WPAN)를 위해 정의 된 MAC/PHY 계층 프로토콜이며 LR - WPAN은 저 전력, 지속 성능을 갖는 어플리케이션의 무선 통신이 가능한 네트워크 형태이다.

IEEE 802.15.4를 구성하는 디바이스는 성능에 따라 두 가지의 유형을 갖는다. PAN(Personal Area Network)의 동작을 관리하는 Full Function Device(FFD)와 IEEE 802.15.4에서 정의한 일부의 기능을 Reduce Function Device(RFD) 구분 된다.

본 논문에서는 IEEE 802.15.4에서 제시하는 Beacon Enabled PAN과 Non Beacon Enabled PAN 중 Non Beacon Enabled PAN으로 PAN을 구성 한다. Non Beacon Enabled PAN은 Beacon에 의한 PAN 동기화가 이루어지지 않았기 때문에 Coordinator는 항상 Active 상태에 존재하여 End-Device가 원하는 시간에 데이터를 보낼 수 있도록 지원해 주는 방식이다. 그림 1은 데이터의 송수신 절차이다.

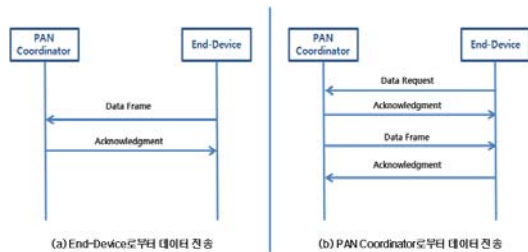


그림 1 데이터 송수신 절차

### 2.2 Zigbee

ZigBee 프로토콜의 구조는 IEEE 802.15.4를 포함한 스택 4개의 계층 구조이며 PHY, MAC, NWK, APS로 나눈다. 이중 PHY와 MAC layer의 표준화 작업으로 IEEE 802.15.4을 진행하였으며, NWK layer와 APS layer는 ZigBee alliance에서 표준화 작업을 진행 하였다. 그 위의 계층에 사용자 응용 프로그램이 위치된다. 본 논문에서는 Zigbee의 APS / NWK Layer를 통합하여 APP Layer를 구현 하였다. 그림 2은 변형된 프로토콜 Stack이다.

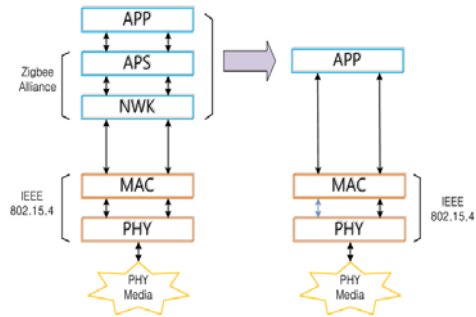


그림 2 RTOS 의 TASK Scheduling

ZigBee 프로토콜에서는 Primitive를 통하여 각각 계층간의 통신이 이루어진다. Request primitive는 상위계층에서 하위 계층으로 해당 동작의 수행을 요청할 때 사용하고, Confirm primitive는 Request primitive에 대한 처리의 결과를 상위 계층에 알릴 때 사용 된다. Indication primitive는 하위계층에서 상위 계층으로 해당 동작을 알릴 때 사용 되고, Response Primitive는 Indication Primitive에 대한 처리의 결과를 하위 계층에 알릴 때 사용된다. 그림 3은 Zigbee Primitive의 처리 과정이다.

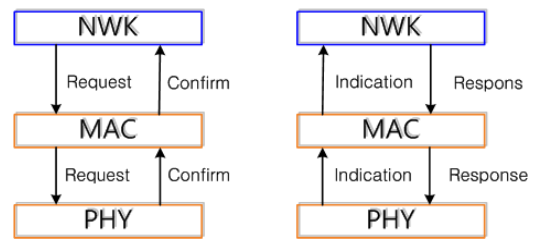


그림 3 RTOS 의 TASK Scheduling

## 3. 원격 수도 검침 시스템 구성

원격 수도 검침 시스템은 크게 수도의 사용량을 센서를 통하여 측정하는 부분과 원격지에서 무선으로 수도 사용량을 확인 가능하게 하는 Non Beacon Enabled PAN으로 구성된 IEEE 802.15.4 / Zigbee 프로토콜로 구성 된다.

### 3.1 센서를 통한 수도 사용량의 검출

일반 가정에서 사용하는 수도 계량기는 수도를 사용할 경우 내부에 있는 톱니바퀴가 회전하게 되며 회전하는 톱니바

퀴 당 미터기의 값이 1씩 증가하는 구조로 되어있다. 기존의 구조를 그대로 유지하면서 회전하는 톱니바퀴와 똑같은 톱니바퀴를 수도 계량기의 외부에 연장하여 부착하고 외부 톱니바퀴의 양단에 Photo Interrupt Sensor를 위치시킨다. 이렇게 했을 경우, 내부 톱니바퀴가 회전할 때 외부 톱니바퀴도 같은 각속도로 회전하게 된다. 회전하는 톱니바퀴에 의해 적외선이 차단되는지의 여부에 따라 Photo Interrupt Sensor의 수광부의 출력 전압에 차이가 생긴다. 하지만 수도 계량기의 특성상 사용하는 수도량에 따라 회전하는 톱니바퀴의 속도가 일정하지 않다. 그렇기 때문에 Photo Interrupt Sensor에 의해 출력되는 전압에 변화가 있을 경우 Interrupt를 발생시킨다. 계속해서 발생하는 Interrupt의 발생 횟수를 Counting하면 이 값이 실제 데이터가 된다. 그림 4은 Photo Interrupt Sensor를 통한 수도 사용량 측정 방법을 설명한 그림이다.

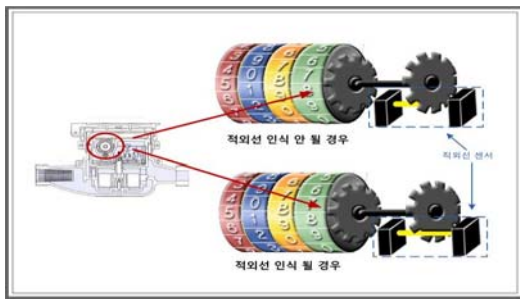


그림 4 Photo Interrupt Sensor를 이용한 수도사용량 검출 방법

위와 같은 방법으로 발생된 Interrupt는 ADC (Analog Digital Convert) PIN을 통하여 MCU에 전송되며 MCU에서 Interrupt의 횟수를 감지한다.

### 3.2 Non - Beacon Enable PAN의 구현

IEEE 802.15.4 프로토콜의 Non Beacon Enabled PAN을 구성 하는데 있어 Coordinator는 항상 Active 상태를 유지하여 End - Device로부터 전송된 데이터를 처리 한다.

End - Device는 Inactive 상태를 유지하며 Photo Interrupt Sensor에 의해 Interrupt Signal이 발생 하였을 경우 Active 상태로 전환 하여 Coordinator에게 데이터를 전송 하게 된다.

PAN의 구성 절차는 End-Device에서 Beacon Request Command를 Broadcasting 방식으로 전송 함으로 시작된다. Coordinator는 Beacon Request command를 수신한 후에 의 정보를 담은 Beacon을 전송하게 된다. End-Device는 Beacon을 수신하고 이를 PAN Descriptor에 Beacon정보를 저장한 후 Channel의 SCAN을 완료한다. End-Device PAN선택은 LQI(Link Quality Indication)값이 가장 큰

PAN Coordinator를 선택한다.

Network의 조인 절차는 End-Device의 APP Layer에서 Association Request Primitive를 하위 Layer인 MAC Layer에서 전송을 하면 Association Request Command Frame을 생성하며 이를 Coordinator에게 전송함으로써 시작된다. End-Device는 Coordinator로부터 ACK를 수신 받은 후 Address를 할당 받기위한 Data Request command를 전송한다. Coordinator는 End-Device에게 할당 할 Short Address를 담은 Association Response command Frame을 전송함으로써 Network Join과정을 마무리 한다. 그림5는 PAN의 구성과 Network Join절차에 대한 Sequence Char이다.

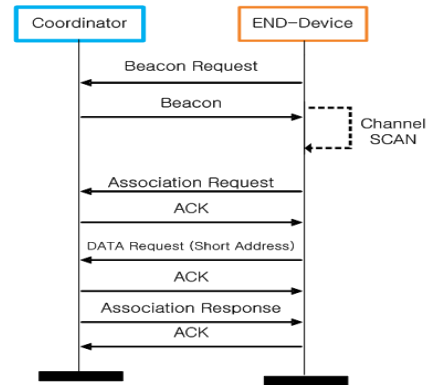


그림 5 PAN의 구성 절차

Network Topology는 가장 단순하고 효율적인 전력관리(power efficient)가 되는 정적(static) 구성을 선택한다. 이는 sensor node (End-Device) 스스로 topology를 변경 하지 않으며 수동으로 설정된 Coordinator / End-Device 관계가 변하지 않는다. 전체 네트워크의 구조는 Star Topology 형태로 구성한다. Star Topology 구조는 중앙의 Coordinator를 두어 데이터를 집중할 수 있게 한 구조 이며 그와 동시에 여러 구역 또한 관리 할 수 있는 확장성을 가지고 있어서 그 장점을 가지고 있다. 그림6은 본 논문에서 적용된 Star Topology의 구성 예를 보여준다.

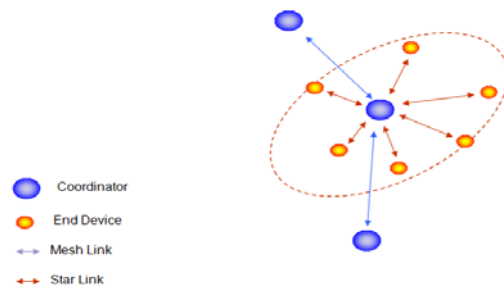


그림 6 Network Topology

## 4. 성능평가

### 4.1 Non Beacon Enabled PAN의 구현 검증

원격 점검 시스템을 위한 PAN의 구성은 Non Beacon Enabled PAN을 원칙으로 하며 End-Device의 Network JOIN 여부는 Chipcon社의 Packet Sniffer를 이용하여 Frame을 확인함으로써 검증 가능하다. 검증환경은 Coordinator 1대, 점검기에 해당하는 End-Device 1대를 이용하여 PAN의 구성 및 Network Join(Association) 절차를 검증 하였다. 그림 7은 Packet Sniffer를 이용하여 Frame을 분석한 그림이다

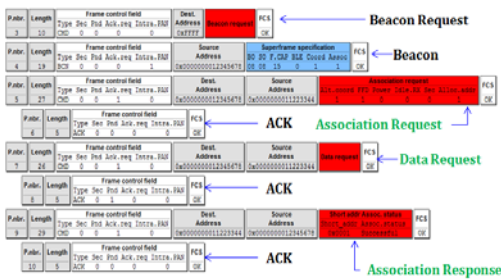


그림 7 Network JOIN 절차 검증

PAN의 구성 절차와 Network Join의 Sequence Char인 그림 5와 같은 절차로 실제 Frame이 전송 됨으로써 End-Device는 Network에 Join 됐음을 확인 할 수 있었다.

### 4.2 Network Traffic 집중 해결 능력 검증

1대의 Coordinator에 다수의 End-Device가 Association 되어 있을 경우 동시에 Packet을 전송 할 경우가 발생한다. 이럴 경우 Packet의 손실이 발생할 수 있으므로 충돌 회피 알고리즘을 요하게 된다. 본 논문에서는 CSMA/CA알고리즘을 통하여 이를 해결하였다.

Network Traffic 집중 해결 능력 검증을 위해 Coordinator 1대와 End-Device 3대를 이용하여 Star Topology 형태로 구성 하였다. End-Device 3대는 각각의 Source Address를 갖고 있으며 같은 시간대에 Data를 전송하여 Frame의 충돌 없이 Coordinator에게 전송을 완료 할 경우 ACK Frame을 수신 하게 된다. 이 검증을 통하여 End-Device는 Data Frame 전송시 본 논문에서 선택한 CSMA / CA Algorithm을 통한 Frame 전송이 이루어 졌음을 확인 할 수 있다. 본 검증을 위해 Chipcon社의 Packet Sniffer를 이용하여 Frame을 확인 하였다. 그림8은 Packet Sniffer를 이용하여 Frame을 분석한 그림이다.

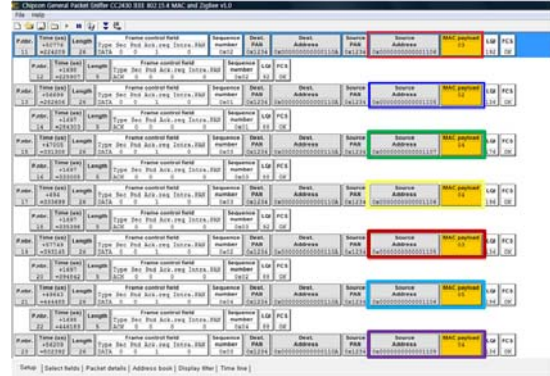


그림 8 Network Traffic 집중 해결 능력 검증

### 4.3 저전력 지원 검증

IEEE 802.15.4/Zigbee는 저전력-무선 근거리 네트워크(LR-WPAN)를 위해 정의 된 표준이다. 본 논문에서는 저전력 성능 지원을 검증 하기위해 Idle Task에서 Low Power Mode 전환 시 전류 값을 측정해 보았다.

Low Power Mode에서 CC2420의 전원을 OFF하기 때문에 평균의 전류 값과 Low Power Mode의 전류 값이 End-Device의 경우 TX OFF함으로 17.4mA 감소되어 MCU의 전류값인 5mA만 소모 하게 된다. (Table 1 참조) 그림9는 Low Power Mode일 경우와 비 저전력 Mode 일 경우 전류 값을 나타낸 그림이다.

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
Current consumption in different modes (see Figure 25, page 45)				
Voltage regulator off (OFF)		0.02	1	µA
Power Down mode (PD)		20		µA
Idle mode (IDLE)		426		µA
Current Consumption, receive mode		18.8		mA
Current Consumption, transmit mode				
P = -25 dBm		8.5		mA
P = -15 dBm		9.9		mA
P = -10 dBm		11		mA
P = -5 dBm		14		mA
P = 0 dBm		17.4		mA

Table 1 cc2424 Data Sheet

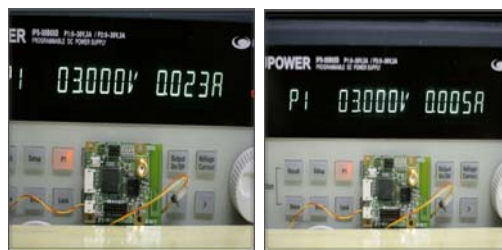


그림 9 Network Traffic 집중 해결 능력 검증

위 그림에서 보는 바와 같이 Low Power Mode 일 경우 MCU를 제외한 모든 소자에 전원을 차단하여 저전력 Protocol을 완성 할 수 있었고 다음



Data를 전송 할때 까지 저전력 Mode임을 확인 할 수 있었다. 그러나 IEEE 802.15.4 / Zigbee 프로토콜은 mA단위가 아닌 uA단위의 저전력을 요구한다. 본 논문에서는 MCU (ATmega128)의 Power OFF Mode는 센서에서 주로 쓰이는 ADC(Analog Digital Convert)로 인한 Wakeup기능이 불가능하기 때문에 ADC에 의한 Wakeup 기능이 가능한 MCU의 Idle상태로 저전력 성능을 측정하였다.

2500mAh의 용량을 갖고 있는 1.5V 일반 AA건전지는 직렬로 2개를 연결하면 End-Device의 가용 전압 3V로 바뀌게 된다. 본 논문에서 제안한 통신 프로토콜은 Active Mode일 경우 23mA를 소모함으로써 지속적으로 Active 모드 일 경우 108.7시간을 사용할 수 있다.

원격 검침 시스템의 경우 자주 Data Frame을 전송하지 않고 주기성을 갖고 Data Frame을 전송한다. 그렇기 때문에 Data Frame 전송 한 후에 Low-Power Mode로 전환하는 점을 감안하여 하루 Active Mode의 시간을 30분 1시간 2시간 단위로 가정 한 뒤 건전지 지속시간을 예상 할 경우 아래와 같은 지속 시간을 확인 할 수 있다. Table 2는 Active Mode 시간별 건전지 지속 시간을 나타낸 Table이다

2500mAh			
22mA사용	30분사용	1시간 사용	2시간 사용
지속일	24일	22일	19.5일

Table 2 건전지 지속시간

위 성능평가 결과는 건전지의 자연 방전을 고려하지 않은 결과이다.

#### 4.4 수도사용량 검출 검증

수도 사용량의 검출 검증을 위해서 직접 수도 계량기를 이용 하지 않고 가상의 수도계량기를 제작하였다. 수도계량기의 미터기와 유사한 계기판을 만들고 이를 스텝모터를 이용하여 회전을 시켜 수도계량기와 같은 효과를 만든다. 회전하는 계기판의 각속도를 측정함으로써 본 논문에서 제시한 수도 사용량 검출 방법을 측정한다.

이 검증을 위해서는 센서를 장착한 End-Device와 Coordinator를 각각 1대씩 구성한다. End-Device는 계기판의 값을 읽고 Frame을 생성하여 이를 Coordinator에게 전송하며 Coordinator는 수

신된 Frame을 분석하고 ACK Frame을 End - Device에게 전송하며 사용자가 눈으로 쉽게 확인할 수 있도록 Desktop PC에 사용량 값을 전송 한다. 그림10은 송수신된 Frame과 하이퍼 터미널을 통하여 Desktop PC에서 확인된 사용량 값을 나타낸 그림이다.

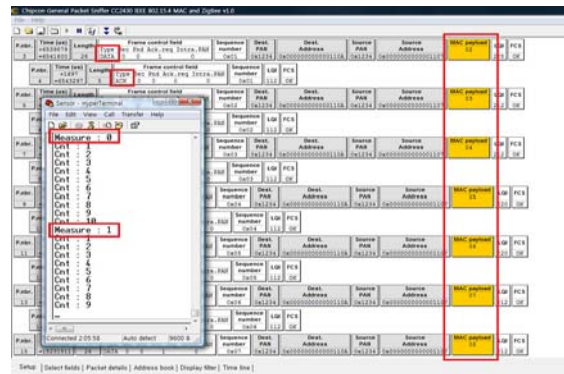


그림 10 Data Frame & Hyper Terminal Capture 화면

#### 4. 결론

기존의 수도 검침 방법은 사람의 눈으로 확인하여 그것을 기록하는 방식을 이용한다. 이는 정확한 수도의 사용량을 파악하기 어려우며 수도 사용량 정보는 수작업에 의한 관리를 요하게 되는 문제점을 안고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 원격 수도 검침 System을 제안 하였다. 제안한 system은 수도의 사용량을 센서를 이용하여 데이터화 하며 IEEE 802.15.4 프로토콜을 기반으로 데이터화 된 수도사용량의 정보는 원격지에서 확인 가능 하게 하였다. 그러나 Network Topology를 Star Topology 형태로 구성하였기 때문에 1개의 Coordinator에 Association되는 End-Device의 수가 제한되며 Interrupt를 발생하는 Application을 구현하지 못하였기 때문에 IEEE 802.15.4에서 제안하는 완벽한 저전력 모드를 지원 할 수 없었다. 향후 연구 과제는 저전력 모드를 지원하기 위한 Interrupt를 발생하는 Application을 구현하고 Network Topology를 Mesh 또는 Tree Topology 형태로 연구를 진행해야 한다.

#### 참고문헌

[1] IEEE Standard, 'IEEE 802.15.4 : Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)', IEEE 802.15.4, pp.1-186, 2003 October.

[2] Zigbee Alliance, 'Zigbee Specification', Zigbee, pp.1-378, 2004 December.