

## M2M Gateway 시스템을 위한 저전력 지그비 센서 구현 및 성능평가에 관한 연구

전중성<sup>†</sup> · 김남환<sup>1</sup>

(Received July 15, 2016 ; Revised August 16, 2016 ; Accepted August 26, 2016)

### A study on the implementation and performance evaluation of low-power ZigBee sensor in the M2M gateway system

Joong-Sung Jeon<sup>†</sup> · Nam-Hwan Kim<sup>1</sup>

**요약:** 본 논문에서는 다중통신용 다중 대역 M2M 게이트웨이 등에 활용할 수 있는 지그비 센서 노드를 구현하였다. 센서 노드용 무선 네트워크 주파수 대역 및 표준은 IEEE 802.15.4-2003로서 지그비 주파수이며 통신기능을 수행할 송·수신 소자로서 Ember사의 SoC Type EM357을 사용하였다. M2M 게이트웨이 본체와 센서 노드에 동일 소자를 사용하였으며 운용 프로토콜은 Ember사가 제공하는 EmberZNet Stack 4.5.4을 사용하여 구현하였다. M2M 게이트웨이에 지그비 센서를 장착하여 패킷을 전송시켜 수신모듈의 특성을 측정하였다. 지그비 주파수의 수신감도인 -98 dBm에서 패킷 오류율이 0%임을 나타냈으며, 또한 저전력회로 구현으로 지그비 모듈은 우수한 전류특성을 보였다.

**주제어:** M2M 게이트웨이, 지그비 센서, PER, 센서노드, 무선 네트워크

**Abstract:** This paper describes the implementation of a ZigBee sensor node that can be utilized as a multiband and machine to machine (M2M) communication gateway. The IEEE 802.15.4-2003 standard was used as the wireless network frequency band. Ember's Type EM357 SoC was used as the transmission and reception device to perform the communication function, and it was also used for both the main M2M gateway and the sensor node. For the implementation of the operating protocol, EmberZNet Stack 4.5.4 from the Ember Corporation was used. The measurement of the reception sensitivity in the receiving module and the actual output signal from the reference were obtained from the transmission of a packet, and the packet included the M2M gateway within the attached ZigBee sensor. The packet error rate was measured as 0% with a -98 dBm reception sensitivity at the ZigBee frequency. In addition, excellent current characteristics of the ZigBee modules were shown by the implementation of the low-power circuit.

**Keywords:** M2M gateway, Zigbee sensor, PER, Sensor node, Wireless network

## 1. 서론

M2M(Machine to Machine) 기술은 의료(Health), 농업, 범죄, 재난, 방송, 교통, 공업, 천연 자원 탐사 등 광범위한 분야에 적용되어 왔다. 범죄 방지를 위한 무인 경비용 통신, 외출 중에도 집안의 상황을 통제하는 제어기술 등 그 활용 범위는 갈수록 넓어지고 세분화되고 있다[1]-[3].

사물지능통신의 통신 기술을 활용한 네트워크의 구성요소 중에서 게이트웨이는 각종 센서노드에서 전송되어진 데이터의 수집, 저장, 관리, 분석 및 네트워크 접속기술 등 다양한 요소를 포함하고 있다[4].

따라서 해상에서 사용되는 컨테이너 혹은 부표 등에 부착되는 M2M 장치는 다양한 환경의 통신방식이 필요하다. 해양의 통신방식과 육상의 통신방식이 같을 수는 없다. 장기간 배터리 교환 등의 관리가 불가능한 환경에서 가장

중요한 기술 중의 하나는 저전력 기술이다. 그래서 저전력을 지향하는 기존의 RFID나 센서네트워크 기술이 필요하게 된다. 능동적 RFID 방식은 일정한 거점에 들어서야 리더에 의해 인식되어 ID 정보나 이력 상태정보를 전송하며, 해당 정보가 생성되자마자 즉각 정보를 전달하는 실시간 지그비 센서노드 통신방식이 있다[5].

본 논문에서는 다중통신용 다중 대역 M2M 게이트웨이 등에 활용할 수 있는 지그비 센서 노드를 저전력으로 구현하여 성능을 평가하였다.

## 2. M2M Gateway 시스템

센서 노드(Sensor Node)와 Zigbee/TRS/CDMA 네트워크 연계형 M2M 게이트웨이(Gateway) 시스템에 대한 전체적인 운영 플랫폼 구조는 Figure 1과 같다. 다중통신용 다중 대역

<sup>†</sup> Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0000-0002-1583-1451>): Air / Port Business Division, ANSE Technologies Co., Ltd, Suite 701, 5, Digitalalro-26-gil, Guro-gu, Seoul 08389, Korea, E-mail: jsjeon@ansetech.co.kr, Tel: 02-6220-6214

<sup>1</sup> Administration Support Team, ANSE Technologies Co., Ltd, E-mail: nhkim@ansetech.co.kr, Tel: 02-6220-6165

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.

M2M 게이트웨이 시스템의 구성에 있어서 네트워크 통신의 핵심은 지그비 센서 노드이다.

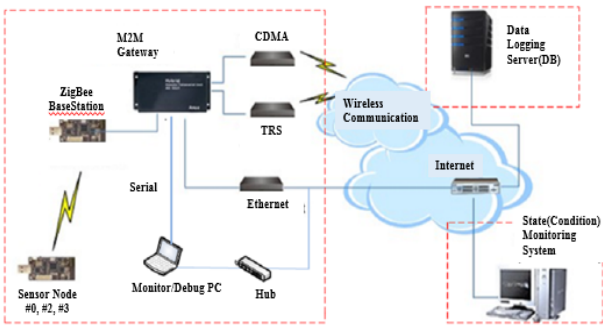


Figure 1: Operating Platform Structure of M2M Gateway System

Figure 2는 Cortex M3를 사용하여 설계된 다중 대역 M2M 게이트웨이에 대한 블록도를 나타내고 있다. M2M 게이트웨이 하드웨어의 중심에 있는 M2M 게이트웨이 프로세서(Processor)는 3중 대역의 RF 무선통신 모듈에 대한 전원관리 및 통신 프로토콜을 제어하고 TRS 또는 CDMA 무선 네트워크를 통해 서버로부터의 송·수신된 명령어를 해독, 수행한다[6]-[8].

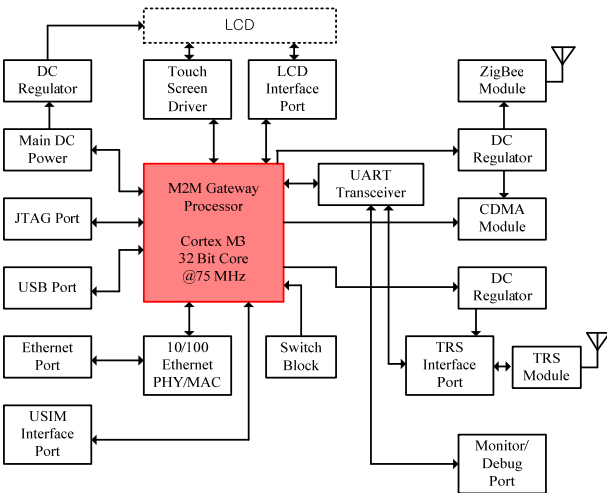


Figure 2: Platform Blockdiagram of M2M Gateway System

RS232C, USB, 인터넷 포트(Ethernet Port)와 같은 유선 인터페이스를 통하여 외부와의 통신기능을 수행한다. RS232 UART 포트는 외부 제어기로 부터의 제어명령을 수신하고 내부의 수행결과를 출력하는 기능을 담당하며 인터넷 포트는 무선 통신망에 문제가 발생할 경우를 대비하여 사용한다. JTAG 포트는 펌웨어(Firmware) 개발시 사용자에게 의한 프로그램 다운로드(Program Download) 및 실행 추적(Tracing)용으로 사용되며, 게이트웨이 보안을 위한 USIM Card Reader용 포트도 내장되어 있다.

지그비(Zigbee), CDMA, TRS 통신모듈은 M2M 게이트웨이 프로세서에 의해 필요에 따라 소프트웨어적으로 전원을

제어하며 운용하고 초기 전원투입시 실행모드를 설정하기 위한 스위치블록이 구성되어 있다. 독립형 모드(Stand-alone Mode)에서 외부 디버그 포트(Debug Port)를 통해 결과를 모니터링하지 않고 내부 LCD와 터치스크린(Touch Screen)에 의해 게이트웨이(Gateway)의 동작을 제어할 수 있도록 터치스크린 내장 LCD 드라이버 및 인터페이스 포트(Interface Port)도 있다.

전원부는 주직렬(Main DC) 출력단으로 12 V / 2 A가 공급되며 전원을 온/오프(On/Off)할 수 있도록 스위치가 부착되어 있다.

### 3. 센서 노드 구현을 위한 무선 네트워크 모듈

#### 3.1 센서 노드

센서 노드용 무선 네트워크 주파수 대역 및 표준은 IEEE 802.15.4-2003이며 통신기능을 수행할 송·수신 소자로서 Ember사의 SoC Type EM357을 사용하였다. M2M 게이트웨이 본체와 센서 노드에 동일 소자를 사용하였으며 운용 프로토콜은 Ember사가 제공하는 EmberZNet Stack 4.5.4을 사용하여 구현하였다.

Figure 3은 지그비 소자에 대한 내부 블록도를 나타내고, Table 1은 특성을 나타낸다[9].

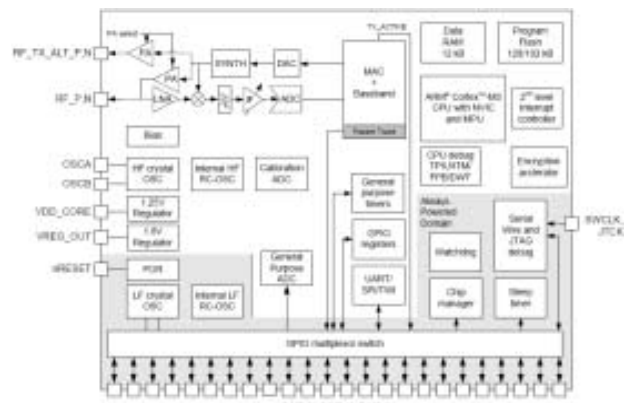


Figure 3: Blockdiagram of EM357 Zigbee Transceiver Device

Table 1: The Parameter of EM357 Zigbee Transceiver

Parameter	Characteristics
Operating Frequency	2400~2480 MHz
The maximum transmit power	3 dBm(2 mW) / Built-in Amplifier: 20 dBm(100 mW)
Sensitivity	-100 dBm@PER 1%, 20 Byte Packet, -102 dBm/Booster Mode
Operating voltage	2.1~3.6 Vdc, 3.0 V typ.
Current Consumption	Tx Mode(3 dBm Output) : 31 mA, RX Mode : 26 mA Sleep Current : 400 nA without Sleep Timer, 800 nA with Sleep Timer
Interface	IEEE 802.15.4-2003 Transceiver & Lower MAC
Program Memory	128~192 KB Flash
Peripherals Unit	GPIO/ADC/UART/SPI/TWI/Timer

Figure 4는 지그비 소자가 내장된 모듈로 제작된 센서 노드의 내부 사진을 나타내었다. 지그비 모듈은 정전원용 3.3 V 레귤레이터(Regulator) 및 디지털 온도센서, 플래시 메모리(Flash Memory), LED/ Switch Block으로 구성되어 있으며, UART 포트 및 JTAG 포트는 센서 노드 펌웨어는 센서 노드 펌웨어(Firmware)의 내부 수행결과 모니터링 및 다운로드용으로 사용된다.

탑재된 안테나는 다이폴 형태로서 1 dBi의 이득을 갖는다.

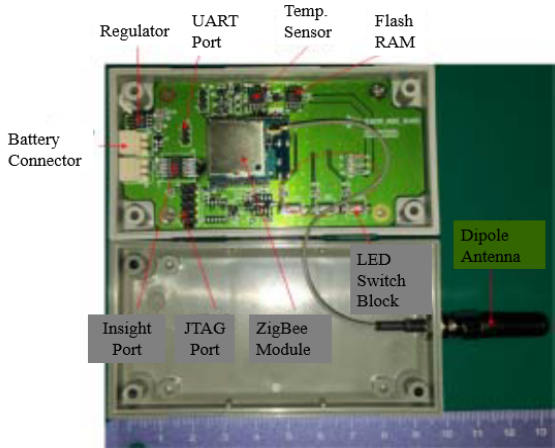


Figure 4: The Photo of the Sensor Node Zigbee Module

### 3.2 센서 노드의 전원회로 설계

센서 노드는 충전기에 의해 구동하므로 가능하면 저전력으로 구동하도록 설계하였다. 특히 주변회로에서의 전원 투입시에 발생하는 고정적인 전력소모를 줄이는 것이 중요하다. 센서 노드의 주변회로는 전원입력단의 직렬 레귤레이터(Regulator) 및 센서류, 외장 직렬 플래시 메모리(Serial Flash Memory), LED 구동회로에 의해 발생하므로 직렬 레귤레이터는 LDO(Low-dropout) 보다는 리플이 적은 스위칭형을 선택하여 변환효율을 높이고 센서 및 외장 직렬 플래시 메모리를 사용하지 않을 경우 전원으로부터 전류가 공급되지 않도록 접지선을 전기적으로 분리하는 방안을 적용하였다. 특히 LED의 경우 펌웨어 디버깅 모드(Firmware Debugging Mode)가 아닐 경우 저전력 운용 중에는 구동하지 않도록 하였다.

Figure 5는 센서 노드 회로에 있어서의 센서와 직렬 플래시 메모리를 사용하지 않을 경우 대기전류를 차단하는 기법을 적용한 회로이다. 전원을 차단하는 것보다 접지로 빠져나가는 전류를 차단하는 것이 효율적이고 차단시에 필요한 전류도 필요가 없으며 재기동시 빠른 동작시간을 갖는다.

Figure 5에서 U7의 디지털 온도센서와 U4의 직렬 플래시 메모리의 경우 U5, 8의 스위치 MOSFET를 사용하여 가동 시에는 게이트(Gate)에 High 레벨을 인가하여 구동전류가 접지로 흐르게 하고 비 가동상태에는 Low 레벨을 인가함으로써 대기전류를 차단하였다.

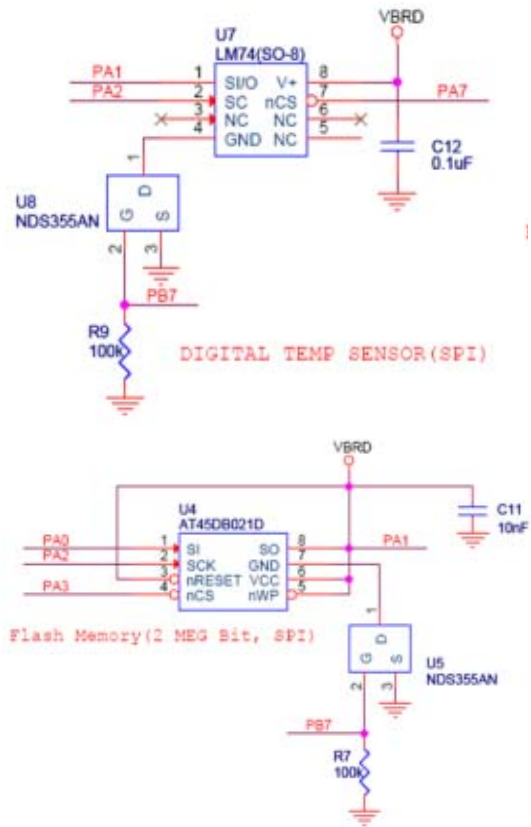


Figure 5: Low-power Operation Circuits by the Standby Current Interruption

배터리로 동작하는 센서 노드의 경우 M2M 게이트웨이에서 원활한 센서 노드의 동작 상태를 모니터링하기 위하여 전원상태를 감시할 필요가 있다. Figure 6은 배터리 전원 감시 회로이다. 배터리 전압은 지그비 소자 전압보다 높으므로 소자 내부에 구성된 ADC를 통하여 전압을 읽을 경우 배터리 검출전압을 저항으로 분압하여 ADC 기준전압보다 낮추어야 한다. 이 과정에서 불필요한 대기전류가 소모되므로 필요시에만 분압회로를 형성하여 배터리 전압을 검출하는 방법을 적용하였다.

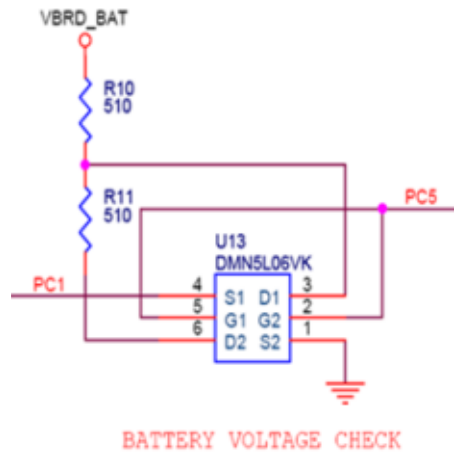


Figure 6: The Circuit of Battery Power Monitor

Figure 7은 센서 노드에 적용된 배터리 전원감시를 위한 동작 전압검출을 위한 순서도를 나타낸다.

배터리 전원은 ADC로 측정한다. Figure 6의 U13의 GPIO PC5 입력에 연결된 게이트를 출력모드로 설정하고 High로 Enable을 시켜 배터리 전류를 흐르게 한 뒤에 U13의 GPIO PC1에 할당된 ADC 포트로부터 레벨(Level) 값을 읽어 들인다. 측정이 끝난 뒤에는 PC5를 Low로 Disable시킨다.

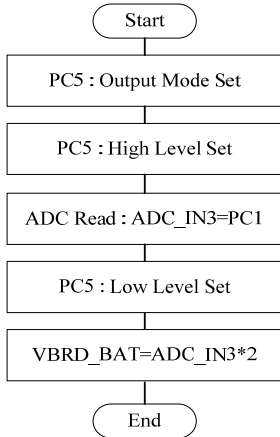


Figure 7: The Flowchart of the Battery Power Detection

### 4. 실험 및 평가

M2M 게이트웨이 내부에 장착된 지그비 모듈은 Coordinator로서의 기능을 갖고 센서노드(Sensor Node)에 장착된 지그비 모듈은 END Device(Sensor Node)로서의 기능을 갖지만 전기적 특성은 동일한 것이며 전기적 특성 항목 중 수신감도를 측정하기 위하여 Figure 8과 같이 측정 시스템을 구성하였다.

Figure 9는 PER 측정을 위한 패킷 발생기는 동일 지그비 모듈을 송신기로 사용하여 지정된 규격인 패킷당 20 Byte와 100 패킷의 RF 신호(오른쪽 점선부분)를 피측정 지그비 모듈로 RF 신호 감쇠기를 경유하여 전송한 화면을 나타낸다.

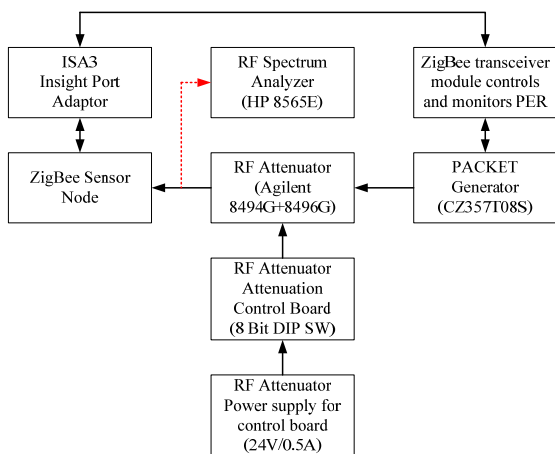


Figure 8: The Receiver Measurement ConFigureuration of Zigbee Module

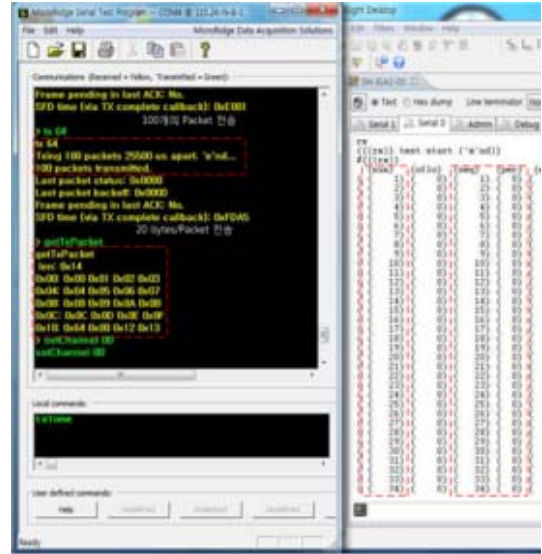
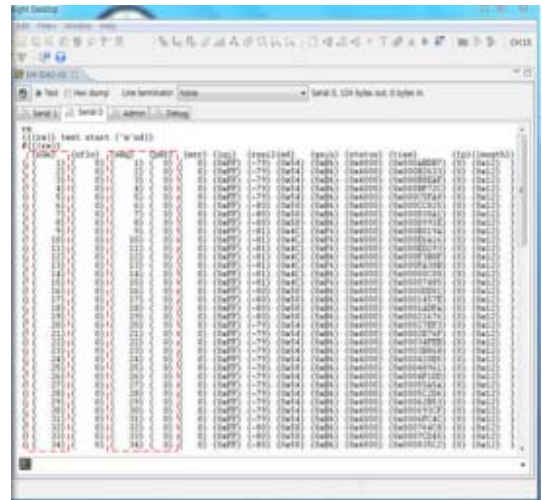
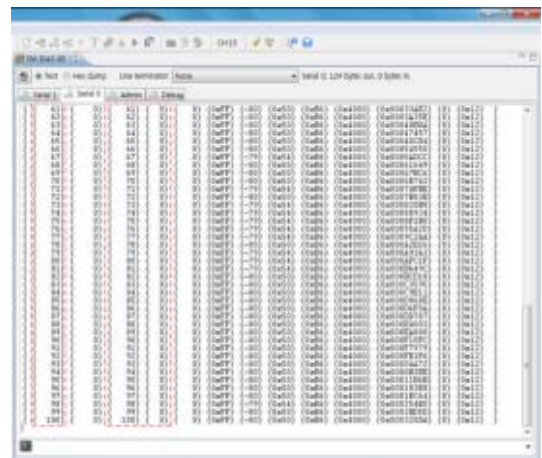


Figure 9: Pack Generation for Pack Conditions(20 bytes/packet, 100 packets, 250kbps)



(a) PER results for 1~34 Packet



(b) PER results for 61~100 Packet

Figure 10: PER Analysis of Zigbee Receiver Module



회측정 지그비 수신모듈의 안테나 입력단에 -98 dBm의 신호가 인가되도록 RF 감쇠기로 조정하여 신호분석기(RF Spectrum Analyzer)로 측정하였다. PER 측정은 소자 제조사인 Ember에서 제공하는 소프트웨어를 사용하였다.

Figure 10은 패킷 발생기에서 총 100개의 Packet을 전송하면 지그비 수신 모듈에서 패킷 오류율을 백분율로 계산되어 직렬포트(Serial Port)로 출력한 PER 수치를 측정된 결과(두번째 점선 부분)를 나타낸다.

지그비 주파수의 수신감도인 -98 dBm에서 패킷 오류율이 0 %임을 나타냈으며, 지그비 소자 자체의 수신감도는 동일 조건하에서 Booster Mode일 때 최대 -102 dBm을 나타내었다.

Figure 11은 채널 11번에서 26번까지 총 16개의 채널이 설정되었으며 출력레벨 차이가 0 dB로서 평탄도는 매우 우수하였다.

Figure 12는 채널 11번을 기준하여 제2 고조파의 하모닉 성분을 나타내며, Figure 13과 14는 100 kHz와 250 kHz 오프셋일 때 위상잡음 특성을 측정된 결과이며 지그비 RF 출력신호 기준을 만족하였다.



Figure 11: RF Channel and the Power Level Measurement



Figure 12: The 2<sup>nd</sup> Harmonic Signal



Figure 13: The P/N Characteristic in 100 kHz Offset



Figure 14: The P/N Characteristic in 250 kHz Offset

Figure 15 (a)는 지그비 모듈의 송·수신시 전압 및 전류 특성을 나타내며, Figure 15 (b)와 (c)는 CDMA [7]와 TRS[10] 모뎀을 장착한 후 측정된 특성을 나타낸다. Table 1에서 EM357 Zigbee Transceiver의 경우 송신시 31 mA, 수신시 26 mA가 소모되므로 정전원용 3.3 V 레귤레이터 변환 소실(15%) 및 디지털 온도센서, 플래시 메모리(Flash Memory), LED/ Switch Block 등을 고려하면 지그비 모듈은 60 mA의 우수한 전류특성을 나타내고 있다.



(a) Zigbee Module



(b) Zigbee and CDMA Module



(c) Zigbee and TRS Module

Figure 15: The Voltage and Ampere Characteristic of the Zigbee Module

## 5. 결 론

M2M 게이트웨이 내의 Zigbee Base Station용 Coordinator는 교신 중인 센서 노드의 전원상태를 확인하여 전력이 부족할 것으로 예상되는 경우 필요로 하는 동작전력이 확보될 때까지 동작을 지연 또는 Sleep 상태로 전환하도록 구성하였다.

또한 M2M 게이트웨이는 지그비 주파수를 활용한 센서 노드와의 연계를 통하여 환경 감시 시스템 등 다방면에 활용이 가능하다. 센서 노드에 다양한 환경 센서를 추가함으로써 공중망을 이용한 환경에 대한 원격 모니터링이 가능하고 통신 모듈에 표준 프로토콜 스택(Protocol Stack)을 내장함으로써 운용상의 오류를 방지하도록 구성하였다. 센서 네트워크의 하단부인 센서 노드에서 서버 운용 및 관리의 상위부까지 전체적인 통합관리, 제어 및 모니터링용 M2M 게이트웨이 네트워크 기술을 적용 가능성을 보였다.

## Reference

- [1] IRS Global, Analysis of the Market Forecast and Technical Standardization Applications in M2M (Machine to Machine), 2012 (in Korean).
- [2] S. H. Lee and D. G. Nam, "Service convergence and development prospects of USN, M2M," The Journal of the Korea Institute of Communications and Information Sciences, vol. 28, no. 9, pp. 3-9, 2011 (in Korean).
- [3] S. U. Kim, "Developments of automotive application based on M2M and its perspective," The Journal of the Korea Institute of Information Scientists and Engineers, vol. 28, no. 9, pp. 44-54, 2010 (in Korean).
- [4] C. G. Yun, "M2M Communication of USA," Local Information Magazine, Korea local information research and development institute, vol. 71, pp. 32-37, 2011 (in Korean).
- [5] S. H. Kwak, "Present and Future the Port Logistics and M2M," TTA Journal, vol. 134, pp. 57-64, 2011. 03 (in Korean).
- [6] ARM, Cortex - M3, Technical Reference Manual, Revision : r1p1, June 2007.
- [7] Telit Wireless Solution, BCM(BSM)-860S /1860, Programmer's Guide Ver 1.0.6, Telit Wireless Solution, 2011 (in Korean).
- [8] Motorola, iO270 iDEN OEM Software Developer's Guide, Motorola, 2011.
- [9] Ember, EM351/EM357 High-Performance, Integrated Zigbee/802.15.4 System-on-chip, June, 2009.
- [10] KT Powertel, TRS Plus, Simo Devices, 2012 (in Korean).