

SIVCP용 BLE 모듈의 배터리 수명시험

권혁주¹ · 김민권² · 김윤식³ · 이성근[†]

(Received August 17, 2015 ; Revised September 10, 2015 ; Accepted September 18, 2015)

Lifetime test of batteries for BLE modules for site identification of vessel's crews and passengers (SIVCP)

Hyuk-joo Kwon¹ · Min-Gwon Kim² · Yoon-Sik Kim³ · Sung-Geun Lee[†]

요약: 오늘날 선박 내 승선자의 위치인식과, 이를 모니터링을 하는 데 저 전력 근거리 통신시스템이 많이 개발되고 있으며, 이러한 저 전력 근거리 통신을 위해서 BLE, Zigbee 등과 같은 저 전력 통신 모듈이 이용되고 있다. 저 전력 통신 모듈은 1:N 통신이 가능하고, 휴대폰, 인체 등의 이동 물체에 탑재할 수 있어 각광을 받고 있다. 저 전력 통신모듈을 사용하는 데 있어서, 배터리의 용량이나 크기가 각각 시스템의 작동시간이나 통신모듈의 디자인에 중요한 요소가 된다. 따라서 모듈은 가급적 작게 만들어져야 하고, 배터리는 모듈의 크기보다 더 작게 선정되는 것이 바람직하다. 본 논문에서는 전송률 1/250 조건에서 데이터 시트와 방전특성 그래프를 참조하여 SIVCP용 BLE 모듈에 사용되고 있는 배터리의 이론 수명을 산출하고, 위와 동일한 전송률과 1/5000 전송률의 조건에서 각각 송전전류와 저속모드 전류를 검출하여 실험수명을 산출하며, 전송률을 1/25로 하여 수일 동안 고속 방전 장기 실험수명을 측정한다. 이와 같은 실험을 통하여, 배터리의 수명예측과 수명연장 방법을 실험적으로 검증하고, 이를 선박의 용도와 승객의 유형에 따른 적절한 배터리 선정에 활용하고자 한다. 모듈의 전송률과 배터리 크기 선정은 모듈의 설계비용의 감소, 배터리 유지관리 및 승객의 편의 등에 중요한 영향을 미치는 요소가 된다.

주제어: 근거리 통신시스템, 저전력 통신모듈, 전송률

Abstract: Nowadays, short distance communication systems with low power energy (LPE) are developed for identification and monitoring of site identification of vessel crews and passengers (SIVCP). LPE communication modules, such as Bluetooth low energy (BLE) and Zigbee, are used for short distance communications with LPE. These modules enable 1:N communications and their popularity is growing since the modules can be mounted on movable objects, such as mobile devices and human body. When these modules are used, the important factor that affects their operation time and design are the capacity and size of battery. Therefore, they must be made as small as possible, and the battery should be selected to be slightly smaller than the module. In this study, we calculate the theoretical life of batteries used in SIVCP BLE modules using data sheet and discharge characteristic graph under the condition of a 1/250 transmission-ratio (TR). We thus calculate experimental life by measuring transmission current for the same TR, and low speed mode current for a 1/5000 TR and measure long-term experimental life using 1/25 TR for days. Through these experiments, we verify experimental methods for the prediction and extension of battery life that would enable us to select appropriate sizes of batteries based on vessel usage and passenger types. The selections of the module TR and battery size are important factors affecting the cost reduction of module design, the battery maintenance, and passenger convenience.

Keywords: Short distance communication system, Low power energy communication modules, Transmission-ratio

1. 서론

실내 위치를 파악하기 위한 방법으로 저 전력 근거리 통

신이 많이 사용 되고 있다. 여기서 사용되는 통신은 사람과 사물의 유기적인 통신 및 네트워킹을 통하여 정보의 수집,

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2493-3916>): Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 606-791, Korea, E-mail: sglee48@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4821

¹ Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: khj586@naver.com, Tel: 051-410-4891

² Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: rlaakdrndl@hanmail.net, Tel: 051-410-4891

³ Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: benkys@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4411

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.

가공 및 전달을 효율적으로 할 수 있는 저 전력 통신 시스템을 말한다.

저 전력 근거리 통신 방식 중 실내 위치를 파악하기 위한 기술로는 Zigbee 통신과 블루투스 스마트(Bluetooth Smart, 이하 BLE)가 각광을 받고 있다. Zigbee 통신의 경우 1:N 통신이 가능하다는 장점을 가지고 있으나, Zigbee에 비해 저 전력이며 휴대폰에 탑재될 수 있는 BLE 기술이 더 주목을 받고 있다.

두 가지 기술 모두 저 전력 무선통신 기술임을 강조하고 있으며, 이러한 기술에는 배터리의 용량이 장비 작동시간에 얼마만한 영향을 주는지, 배터리의 크기가 통신모듈의 디자인에 어떤 영향을 미치는지가 중요한 요소가 된다[1].

Estimote사의 아이비콘(iBeacon)은 기관의 두께보다 배터리의 크기가 두껍고, Broadcom사의 BCM20737 제품 또한 모듈의 크기에 비해 배터리의 점유율이 큰 것으로 확인되었다.

Figure 1은 시중에서 사용되고 있는 통신모듈과 배터리의 크기를 구별하기 위하여 500원짜리 동전과 비교한 그림이다. 시중에 출시된 대부분의 비콘 칩 모듈 모두 소형 사이즈를 유지하지만 배터리를 탑재할 경우 사이즈가 대폭 증가하게 된다. 따라서 모듈의 크기는 가급적 작게 만들어야 하며, 탑재하는 배터리 역시 모듈의 효율적이고 경제적인 디자인에 악영향을 주지 않도록 설계되어야 한다.

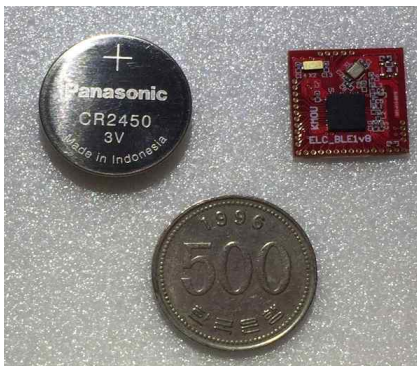


Figure 1: Size comparison of BLE module and battery

본 논문에서는 시중에 출시된 배터리의 방전특성 그래프를 참고로 1초에 4ms의 송신시간(초당 전송률은 1/250)을 적용하여 이론수명을 계산하고, SIVCP용 BLE 모듈에 흐르는 송신전류와 저속전류를 측정하여 전송률 1/250을 적용하여 실험수명을 산출하는 동시에 CR2016 배터리와 BLE 모듈을 접속하여 수일간의 방전 실험을 수행하여 장기 실험수명을 산출하였다. 이때 고속 방전실험을 수행하기 위하여 BLE 모듈의 동작 가능한 범위 내인 100ms당 4ms의 송전시간, 즉 전송률은 1/25를 적용하였다. 측정된 실험수명과 장기 실험수명을 이론값과 비교·분석하고, 선박의 용도별, 승객의 유형별로 경제적 이익과 편의성을 위하여 배터리의 용량과 통전율을 선택하여 사용할 수 있음을 제시하고자 한다[1]-[4].

2. 배터리 수명 실험

2.1 이론수명 산출

무선통신 시스템에 사용하는 배터리의 수명은 관리 및 비용 면에서 매우 중요한 요소가 된다. 이러한 배터리의 수명을 예측하는 것은 시스템의 하드웨어나 환경적 요인 등으로 인해 쉽지 않다. 기존에 사용하였던 배터리 수명예측 방법으로는 부하전류의 변화를 계단형으로 적절히 모델링하거나 부하전류의 변화가 매우 빠르게 일어날 때 배터리의 수명에 미치는 영향을 계산하는 방식 등이 있다[2].

무선네트워크의 전류소모의 형태는 일회성, 주기적 소모 전류로 구분되는 데, 일회성은 초기 설치, 배터리 저전압검출 등이 해당되고, 주기적 소모전류에는 송신모드, 저속모드(파워모드) 등으로 구성된다. 송신모드에는 송신전류, MCU 동작전류가 있고, 저속모드는 MCU가 저속모드로 동작하며, 주로 타이머 형태로 동작한다. 본 논문에서 구성한 승선자용 BLE 태그는 승선자의 몸에 부착하여 승선자의 위치인식에 사용되고 있기 때문에 입력받는 데이터가 없이 승선자의 정보를 특정 주기에 한번 씩 주변으로 송신하는 기능만 있어 소모전류는 주기적인 소모전류만 존재하고, 그 중에서 송신전류와 저속전류가 대부분이다[2]. 이 절에서는 송신전류와 저속전류를 이용하여 간략한 이론수명을 산출하고, 2.2절에서는 측정이 매우 어려운 저속전류를 정밀한 멀티미터를 이용하여 간편하게 실험 수명을 산출하며, 2.3절에서는 높은 전송률을 적용하여 장기적으로 배터리를 관찰함으로써 장기 실험 수명을 산출하고자 한다.

Figure 2는 BLE에 사용되는 배터리의 이론수명을 산출하기 위하여 사용한 미국 에너지저장 회사의 CR2016 배터리의 방전특성 그래프를 나타낸 것이고[5]-[7], Table 1은 SIVCP용으로 사용하고 있는 BLE 모듈(CC2541, BLE 4.0)의 전기적 사양을 나타낸다. BLE 모듈의 전기적 사양은 모델, 주변소자의 on과 off, 저 전력 파워모드의 적용조건에 따라서 넓은 범위의 값을 가지나, 본 논문에 적용한 값은 데이터시트와 인터넷 사이트 자료를 종합해서 평균적인 값으로 정하였다. BLE 모듈의 송신전류와 저속모드 전류는 각각 18.2mA, 0.27~0.001mA, MCU 동작전류는 0.35mA를 적용하였다[8]-[14].

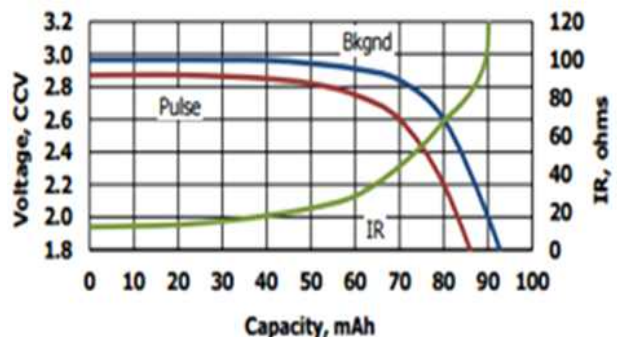


Figure 2: Discharge graphs of CR2016 battery[6]

Table 1: Electrical characteristics of BLE 4.0 CC2541

Functions	Value (mA)	Test conditions
TX mode	18.2	No peripherals active
Power mode (Low speed)	0.27~0.001	Digital regulator on (mode1), off(mode2), BLE 4.0 or 4.1 deep slip 35μA
MCU Operating	0.35	8051micro controller

SIVCP용 BLE 모듈에 사용하는 배터리(CR2016)를 대상으로 **Table 1**에 있는 사양들을 이용하여 1초당 1회의 4ms 송신시간으로 송신하는 경우의 초당 전송률과 저속률은 각각 0.004와 0.996이 된다. 또한 시간(h)당 송신시간이 0.004h 이므로 시간당 전송률 역시 0.004가 된다. 시간당 소모전류와 이론수명을 구하면 식 (1), (2)와 같다. 이때 배터리 용량은 **Figure 2**의 차단전압을 2.3V로 적용한 값을 이용하였다 [2][15].

시간당 평균 소모전류

$$\begin{aligned}
 &= (\text{전송률} \times \text{송신전류}) \\
 &+ (\text{저속률} \times \text{저속전류}) + (\text{동작률} \times \text{동작전류}) \quad (1) \\
 &= (0.004 \times 18.2\text{mA}) \\
 &+ (0.996 \times 0.035\text{mA}) + (0.004 \times 0.35\text{mA})
 \end{aligned}$$

$$= 0.1091\text{mA}h$$

가 된다.

$$\begin{aligned}
 \text{이론수명} &= \frac{\text{배터리 용량}}{\text{시간당 평균 소모전류}} \quad (2) \\
 &= \frac{85\text{mAh}}{0.1091\text{mA}h}
 \end{aligned}$$

$$= 32.46\text{일}$$

2.2 실험수명 산출

Figure 3은 승선자 위치인식용 BLE 모듈에 사용되고 있는 배터리를 나타낸 그림이다. P 태그는 승선자의 몸에, C 태그는 중계기에 부착시키며, 배터리는 P 태그와 C 태그에 모두 장착되어 있으나, 본 논문에서는 승선자의 위치정보를 중계기로 전송하는 역할만 하는 P 태그에 장착된 배터리의 실험수명을 측정하고자 한다.

이 절에서는 2.1절의 이론수명 산출시의 전송률을 그대로 적용하였으며, 이 때 배터리에 흐르는 송신전류와 전압 파형은 **Figure 4**와 같으며 위의 파형은 송신전압이고 아래의 파형은 송신전류 파형이다. 우측 그림은 BLE 모듈과 비

교하기 위하여 Zigbee 모듈의 전압, 전류도 측정하였다.

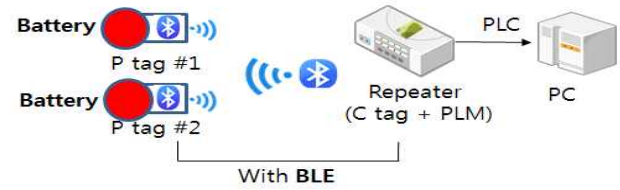


Figure 3: Batteries used in the BLE module for SIVCP

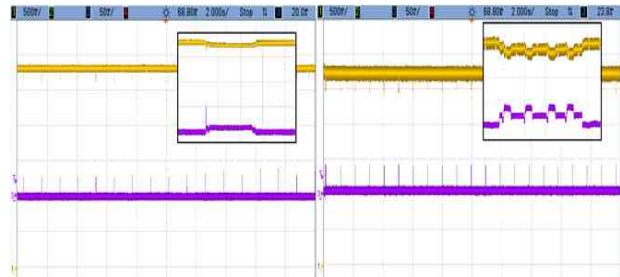


Figure 4: Power waveforms of BLE modules (ch1: 500mV/div., ch2:50mA/div., Time:2s/div.)

송신 전류는 전류프로브(Tektronix, AM503B)를 이용하여 오실로스코프(Agilent, MS07054A)에서 측정한 결과, BLE 모듈이 평균 10 mA, 최대 13 mA이고, Zigbee 모듈이 27 mA로 측정되었다. BLE 송신전류와 전압강하가 Zigbee 송신전류와 전압강하보다 적은 값으로 나타났고, 저속전류는 오실로스코프에서 최소 2 mA까지 측정되었으며, 그 이하는 잡음이 섞여서 정확하지 않았다. 저속전류를 산출하기 위하여 전송률을 최소한의 값인 1/5000로 설정하여 전송한 상태에서 **Figure 5**와 같이 멀티미터(HP, 34401A)로 전류를 측정하고 그 전류 값에서 평균 전송전류를 뺀 값을 사용하였다. 즉 측정 값 0.0959 mA에서 평균 전송전류 10 mA × 1/5000 = 0.002 mA를 뺀 0.0939 mA를 저속전류로 사용하였다.



Figure 5: Current measurement at power down mode

이 저속전류는 전송률이 적으면 적을수록 소모전류와 수명산출에 영향을 크게 주므로 [2]-[4], 정확하게 측정하는 것

이 중요하나 μA 단위의 전류를 측정할 수 있는 정밀 전류 프로브와 오실로스코프가 없기 때문에 정밀한 멀티미터를 이용하여 평균값을 측정하였다.

측정된 송신전류와 저속전류를 이용하여 시간당 평균 소모전류를 계산하면 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{시간당 평균 소모전류} \\ & = (\text{전송률} \times \text{송신전류}) + (\text{저속율} \times \text{저속전류}) \quad (3) \\ & = (0.004 \times 10\text{mA}) + (0.996 \times 0.0939\text{mA}) \\ & = 0.1335\text{mAh} \end{aligned}$$

가 된다.

식 (3)을 식 (2)에서 사용한 용량(Capacity)인 85mAh에 적용하여 실험수명을 계산하면 26.53일이 된다. 식 (1)~(3)을 이용하여 3 종류의 배터리에 대한 이론 및 실험수명을 정리하면 Table 2와 같다.

Table 2: Theoretical and experimental lifetime of batteries

배터리명	용량 (mAh)	이론 수명(일)	실험 수명(일)
CR1616	53	20.24	16.54
CR2016	85	32.46	26.53
CR2032	210	80.20	65.54

2.3 장기 실험수명 측정

Figure 6는 2.1 및 2.2절에서 구한 이론수명과 실험수명을 검증하기 위하여 수일 동안 배터리 고속 방전실험을 수행한 그래프이다. 여기서 송신주기는 2절에서 수행하였던 주기보다 1/10로 축소하여 100ms당 송신시간을 4ms(전송률은 1/25)로 설정하여 2.2절에서 수행한 방전속도보다 10배 빠르게 하였다. 배터리 방전 실험은 CR2016 배터리를 대상으로 총 2일 6시간 30분(54.5시간) 동안 진행되었으며, BLE 차단전압은 2.35V이다.

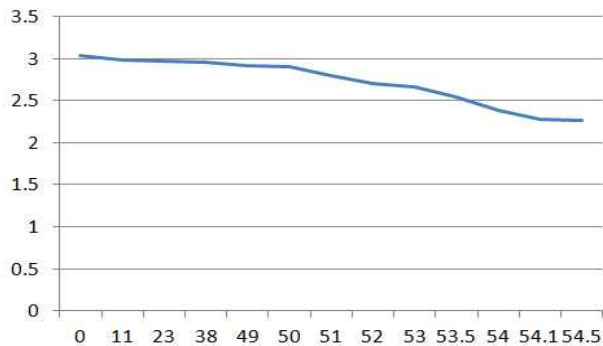


Figure 6: Graph of long-term lifetime test for CR2016 battery (x axis: hour, y axis: volt(V))

Table 3은 CR2016 배터리를 대상으로 지금까지 수행한 3가지 수명시험 결과를 정리한 것이며, 장기실험수명은 전송률을 감안하여 54.5시간을 10배로 한 값이다. 이 표에서 이론수명에서 실험수명과 장기실험수명으로 갈수록 값이 작다. 실험수명과 장기실험수명의 오차는 비교적 작은 반면에 이론수명과 실험수명과 오차가 매우 크게 나타나고 있다. 이론수명에 비해 실험수명, 장기실험수명으로 갈수록 값이 작아지고 있으며, 이와 같은 이유는 다양한 범위의 값을 가지고 있는 BLE의 데이터시트의 전류와 동작시간들을 적용하는 과정에서 일반적으로 많이 사용하는 평균값을 적용한 결과로 판단되고, 만약 이 값들이 정확하게 적용되었다고 가정한다면, 송신 및 저속전류가 매우 작은 값이기 때문에, 실험시에 발생한 미세한 노이즈성 전류와 합해져서 다소 큰 값으로 산출된 결과로 분석되며, 장기실험수명 값이 작은 원인으로서는 모듈 주변의 온도변화가 배터리의 방전속도에 영향을 준 것으로 분석된다.

Table 3: Comparison of 3 kinds of battery lifetime (CR2016)

이론수명(일)	실험수명(일)	장기실험수명(일)
32.46	26.53	22.71

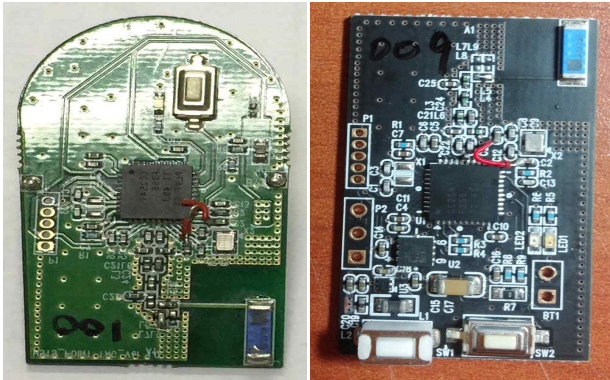
2.2절 및 2.3절에서 수행한 실험을 통해서 통전율의 변경은 배터리의 수명을 연장하거나 축소시킬 수 있다. 배터리는 용량을 무조건 큰 것으로 사용하면 수명이 다하거나 순간적인 과 방전으로 운전 중에 교체하는 확률이 적을 것이다. 그러나 그러한 방법은 경제성 측면에서 문제가 있기 때문에 앞서 사용하였던 전송률을 작게 하여 수명을 최대한으로 늘려서 사용하는 것이 바람직하다. 특히 거리가 멀고 사용 환경이 매우 좁은 해양플랜트 또는 선박은 배터리나 장비의 유지보수가 어렵기 때문에 장비에 장착된 배터리의 교체시기를 최대한으로 늘려서 사용하는 것이 더욱더 중요하다[4][16].

만약, 해양플랜트나 선박의 장비에 장착되는 배터리는 큰 용량을 가지면서 수명을 최대한 늘릴 수 있는 배터리를 사용하는 것이 바람직하므로 위 실험에 사용된 CR2032 배터리에 최소 전송률을 적용하여 수명을 연장시키면 655.4일이 되고, 승객이 매우 많은 크루즈용 소형선박의 경우에는 승객의 가슴에 부착하는 BLE 태그에 배터리가 장착되는 것이므로 소형 배터리를 사용하는 것이 바람직하다. 따라서 용량이 가장 작은 CR1616에 적용하면 165.4일이 되어 5개월 반 동안 배터리 교체를 하지 않아도 무관할 것으로 예측된다.

이와 같은 전송률 변경에 따른 선박의 용도별, 승객의 유형별 배터리 선택을 하는 것은 교환주기의 편의성과 경제성을 얻을 수 있는 중요한 요소가 된다.

Figure 7은 크루즈용 승선자 위치인식용 BLE 모듈을 사용한 승무원용 태그(C tag)와 승객용 태그(P tag) 사진이다.

C 태그는 장기간 사용이 가능하도록 신분증과 유사한 크기로 제작하였고, P 태그는 C 태그의 절반 크기로 제작하였다. 다만 해양플랜트용으로 사용하기 위하여 배터리 고정핀의 길이를 가변하여 CR2450 배터리까지 사용이 가능하게 구성하였다.



P 태그 C 태그
Figure 7: BLE modules for SIVCP

3. 결 론

본 연구에서는 SIVCP용 BLE 모듈에 사용되는 배터리에 대하여 이론수명을 산출하고 실험수명을 측정 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 시중에서 사용되고 있는 배터리를 대상으로 데이터 시트에 나와 있는 송신전류와 저속전류를 이용하여 전송률 1/250로 송신하여 이론수명을 구하였고, BLE 모듈에 배터리를 장착하고 송전전류를 측정하여 실험수명을 구하였으며, 전송률을 1/10로 축소하여 방전속도를 10배로 확장하여 수일동안 장기 실험수명을 측정하였다.
- 2) 이론값이 장기실험수명에 비해 매우 큰 값을 가지는 이유는 데이터 시트에 나와 있는 넓은 범위의 값 중에서 평균값을 적용한 오차로 판단되고, 만약 이론값이 정확하다고 가정한다면, 실험수명 측정 시에 미세한 노이즈 성분이 혼합되어 측정오차로 나타난 것으로 분석되며, 장기실험수명 값이 작은 원인으로서는 장기간의 실험을 수행하는 과정에서 모듈 주변의 온도 변화가 배터리의 방전속도에 영향을 미친 것으로 분석된다.
- 3) 전송률을 변경하여 측정 한 장기실험수명 값과 실험수명 값이 거의 비슷한 값으로 측정되었기 때문에 통전율의 변화가 배터리 방전시간을 조정할 수 있음을 확인하였다. 따라서 거리가 멀고 공간이 비교적 협소한 해양플랜트나 선박 내의 장비에 장착되는 배터리에는 큰 용량의 배터리를 사용하면서 전송률을 최소화하여 교환주기를 더 늘리고, 또 본 논문에서 사용한 SIVCP용 BLE 모듈을 크루즈용 선박에 승선한 승객

의 몸에 부착할 경우에는 크기가 비교적 작은 소형 배터리를 선정하면서 통전율을 최소화하여 교환주기를 늘리는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2014년도 산학협력 기술개발사업(No. C0250012)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

- [1] H. J. Kwon, H. S. Yang, and S. G. Lee, "Site monitoring of crews and passengers on board by the BLE and PLM combination," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 39, no. 4, pp. 463-467, 2015 (in Korean).
- [2] H. Kim, C. S. Kim, and H. C. Shin, "Battery lifetime estimation considering various power profiles in wireless sensor node," *Journal of Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 46-SD, no. 12, pp. 1040-1046, 2009 (in Korean).
- [3] M. S. Kang and H. J. Shin, "Analysis of low power and channel interferences for Zigbee," *Journal of Internet Computing and Services*, vol. 11, no. 3, pp. 33-41, 2010 (in Korean).
- [4] M. Y. Moon, Y. M. Kim, M. G. Kang, I. K. Kang, and M. S. Lee, "A study on the improvement of Zigbee based Network Interference," *Proceedings of the 16th KSII Fall Conference*, pp. 551-556, 2007 (in Korean)
- [5] Datasheet (CR1616), <http://data.energizer.com/PDFs/cr1616.pdf>, Accessed July 21, 2015.
- [6] Datasheet (CR2016), <http://data.energizer.com/PDFs/cr2016.pdf>, Accessed July 21, 2015.
- [7] Datasheet (CR2032), <http://data.energizer.com/PDFs/cr2032.pdf>, Accessed July 21, 2015.
- [8] Datasheet (CC2541), <http://www.ti.com/lit/ds/sym-link/cc2541.pdf>, Accessed August 12, 2015.
- [9] CC2540/41 System-on-Chip Solution for 2.4-GHz Bluetooth® low energy Applications, <http://www.ti.com/lit/ug/swru191f/swru191f.pdf>, Accessed August 12, 2015.
- [10] Datasheet (CC2541), http://www.funnykit.co.kr/shop/goods/goods_view.php?goodsno=21086 (BLE, Accessed August 16, 2015).
- [11] Datasheet (CC2541), <http://www.elec4.co.kr/article/articleView.asp?idx=6265>, Accessed August 16, 2015.

- [12] Datasheet (CC2541), https://www.ti.com/ww/kr/news/2014/tik_news_0429.html, Accessed August 16, 2015.
- [13] Datasheet (CC2541), http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=time_guy&logNo=220198517336, Accessed August 16, 2015.
- [14] Datasheet (CC2541), <http://shopping.daum.net/search/cc2541%20%EB%B8%94%EB%A3%A8%ED%88%AC%EC%8A%A4%204.0/&docid:O1646287578&srchhow:Cexpo>, Accessed August 16, 2015.
- [15] H. S. Eom and K. W. Kim, "Study of efficient energy management for ubiquitous sensor networks with optimization of the RF power," Journal of Institute of Electronics and Information Engineers, vol. 44-CI, no. 3, pp. 225-230, 2007 (in Korean).
- [16] N. S. Kim, "Development of an ubiquitous healthcare device using a solar cell," Journal of Korean Institute of Information Technology, vol. 11, no. 10, pp. 97-104, 2013 (in Korean).