

논문 2013-08-26

계층적 배터리 관리 시스템 시뮬레이션 기술 개발

(Development of Simulator for Hierarchical Battery Management System)

강 현 우, 안 성 호, 김 동 균*

(Hyunwoo Kang, SungHo Ahn, Dongkyun Kim)

Abstract : In this research, we report on the development of simulation system for performance verification of BMS(Battery Management System) which is utilized in electric vehicles. In the industrial circles, a manufacturer of BMS typically tests their system with real battery packs. However, it takes a long time to test all functions of BMS. Here, we develop BMU(Battery Management Unit) as an embedded board, which will be installed in electric vehicle for controlling battery packs. All other environment factors for testing BMU are developed in softwares in order to reduce the term of test. Especially, the proposed system consists of cell simulator and CMU(Cell Management Unit) simulator which simulate real battery cells and control battery cells. These simulators enable the BMU to test more battery cells. In addition, proposed system provides diagnosis program in order to diagnose and monitor the condition of BMS which makes the test of BMS more easily. In order to verify the performance of the developed simulator, we have performed the experiment with real battery packs and our simulator. Through comparing two results of experiments, we verify that developed simulator shows better performance in terms of less amount of testing duration though having high reliability.

Keywords : Battery Management System, Diagnosis, Simulator

1. 서 론

오늘날 전기 자동차 (Electric Vehicle), ESS (Energy Storage System) 등과 같이 이차 전지를 주요 에너지원으로 사용하는 응용들이 점차 증가하고 있다. 특히 전기 자동차 등과 같은 분야에서는 고용량, 고밀도의 에너지를 요구함에 따라 기존의 납축전지를 사용하지 않고 Li (리튬) 계열의 배터리 셀을 활용하고 있다. 이러한 Li 계열의 배터리 셀들을 안전하고, 효율적으로 사용하기 위해서는 이들 배터리 셀들을 체계적으로 관리해야 하고, 배터리들의 사용 연한을 보장하기 위한 기술이 반드시 필요하다[1]. 배터리 관리 시스템 (BMS; Battery

Management System)은 바로 이러한 필요에 의하여 최근 몇 년간 활발한 연구가 진행되어 왔다.

한편, 하이브리드용 전기 자동차의 보급 등과 함께 BMS의 수요가 늘어남에 따라 산업계에서는 BMS를 제작하는 업체들이 늘어나고 있다. BMS를 제작하는 업체의 경우 BMS의 개발 및 생산 후 신뢰성 평가 단계에서 실제 배터리에 장착 후 테스트를 필요로 하는 경우가 발생한다. 이 경우 실제의 배터리에 BMS를 장착하여 테스트를 진행하는 것은 많은 시간이 소요되므로 이를 위한 배터리 시뮬레이션 기술에 관한 연구가 많이 진행 되었다[2, 3]. 이들 배터리 시뮬레이션은 배터리 팩에서 발생하는 전압 및 전류 값을 모사하는 형태로 제작된다. 즉, BMS에 실제 배터리를 연결하지 않고 배터리 시뮬레이션을 연결하여 실제 배터리와 유사한 전압 및 전류 값을 BMS에 전달해주는 형태이다. 이러한 배터리 시뮬레이션 기술은 전압, 전류 값 등을 BMS에 전달해야 하므로, 정확한 전압, 전류 값 등을 생성해 낼 수 있는 하드웨어 기술이 중요한 요소이다.

* Corresponding Author (dongkyun@knu.ac.kr)

Received: 15 Feb. 2013, Revised: 18 Mar. 2013,

Accepted: 08 Apr. 2013.

H. Kang, S. Ahn: ETRI

D. Kim: Kyungpook National University

이들 배터리를 시뮬레이션 기술은 BMS의 기능을 빠르고 쉽게 테스트 함에 있어 중요한 요소임이 분명하나, 이들 배터리 시뮬레이션 기술들은 물리적으로 전압 및 전류 값을 생성해 내야 하므로 모사할 수 있는 배터리 팩의 개수에 제약이 발생한다. 기존의 BMS들은 주로 배터리에 직접 부착되는 임베디드(Embedded) 보드 형태로 제작되어 직접 보드에 연결이 가능한 적은 수의 배터리들만을 관리하면 되었기 때문에 이들 배터리 시뮬레이션으로도 충분히 모든 테스트가 가능하였으나, 전기 자동차나 ESS 등과 같이 많은 수의 배터리들을 관리해야 하는 BMS 시스템에서는 BMS의 모든 기능을 테스트 하는데 있어 한계점을 가진다. ESS 등과 같이 수백 개의 배터리 팩이 연결되어야 하는 시스템에서 이들 배터리 시뮬레이션 기술은 단지 하나의 배터리 팩만을 모사할 뿐이기 때문이다.

많은 수의 배터리 팩을 연결하여 효율적으로 사용하기 위해서는 전체 배터리 팩들을 모니터링 할 수 있는 상위 계층에서 전체 배터리 팩들을 관리하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 계층적 구조를 가지도록 BMS를 구성하여 많은 수의 배터리 팩들을 효율적으로 관리할 수 있는 방식을 설명하고, 이러한 계층적 구조에 적합한 BMS 시뮬레이션 방식을 제안한다.

특히, 본 연구에서는 BMS 모듈이 주로 사용될 차량 환경을 고려하여 BMS의 외부 인터페이스를 CAN (Controller Area Network)으로 통일하였다. 본 연구에서 사용한 방식과 같이 구성된 시스템에서는 BMS로 전달되는 모든 정보들이 CAN 네트워크를 통해 전달되므로, 인터페이스를 CAN으로 통일한다면 BMS에 연결되는 나머지 모든 요소들을 소프트웨어로 시뮬레이션 하는 것이 가능해진다. 이는 BMS를 개발하고 테스트를 함에 있어 획기적인 시간의 단축을 가능하게 한다.

논문의 다음 부분에서는 우리가 구현한 배터리 관리 시스템의 형상과 이를 모사한 시뮬레이터 시스템에 대해서 기술한다.

II. 본 론

1. BMS 시스템의 계층적 구성

BMS는 시스템에 연결되어 있는 배터리 셀들을 관리하기 위한 것이므로, 필연적으로 모든 배터리 셀들과 직접 연결되어 배터리 셀들의 전압, 전류, 온도 등을 센싱(sensing) 할 수 있어야 한다. 따라

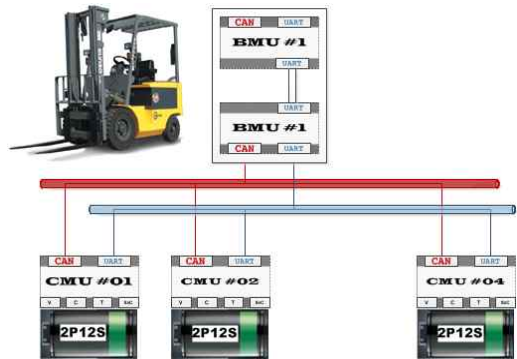


그림 1. 실제의 배터리 관리 시스템 구성
Fig. 1 Structure of BMS



그림 2. 배터리 팩
Fig. 2 Battery Pack

서 기존의 BMS는 연결될 배터리 수만큼의 전압, 전류 센서들과 이들 센서들을 제어할 수 있는 MCU 등으로 하드웨어를 구성하고, 그 위에 센서들에서 읽어 들인 정보를 바탕으로 BMS 알고리즘을 수행할 수 있는 소프트웨어를 구성하는 방식으로 많이 설계되었다. 그런데, 수 백, 수 천 개의 배터리 셀들이 필요한 시스템에서는 물리적으로 하나의 하드웨어 보드 위에 수 백, 수 천 개의 센서들을 연결하는 것에 어려움이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 그림 1과 같은 형태의 BMS를 구성하였다.

그림 1에서 보이는 바와 같이 본 연구에서 사용한 BMS는 계층적인 구조를 가지며, 그 상세 구성은 아래와 같다.

1.1 CMU (Cell Monitoring Unit)

CMU는 기존의 BMS와 유사하게 배터리 셀에 직접 부착되어 전압, 전류 등을 센싱할 수 있는 임베디드 시스템이다. 다만 CMU는 BMS 알고리즘과 관련된 연산을 하지 않으며, 단순히 각 셀들의 값을 센

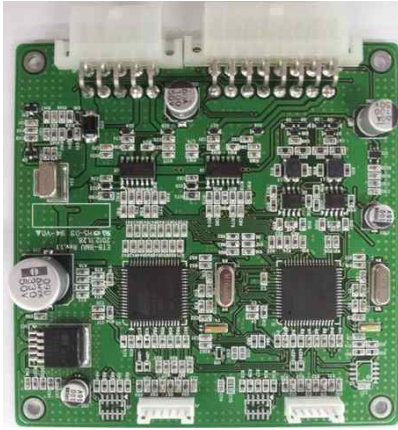


그림 3. 구현된 BMU 보드
Fig. 3 Embodied BMU Board

싱하는 역할만을 담당한다. 하나의 CMU에는 12개의 배터리 셀들이 연결되어 있으며 각 셀들의 정보를 CAN 인터페이스를 통해 상위 장치인 BMU로 전달한다.

1.2 배터리 팩 (Battery Pack)

CMU와 CMU에 연결된 12개의 배터리 셀들을 하나의 팩으로 구성하여 배터리 팩이라고 부른다. 그림 2는 12개의 배터리 셀에 CMU를 부착한 배터리 팩의 모습이다.

1.3 BMU (Battery Management Unit)

BMU는 BMS의 핵심적인 기능들을 수행하는 유닛이다. BMS의 핵심적인 기능에는 기존에 많이 연구된 바와 같이 각 셀들의 전압을 일정하게 유지하여 전체 배터리 팩의 성능을 보장하기 위한 셀 밸런싱 기능, 전체 배터리 시스템의 용량을 계산하는 SOC (State of Charge) 기능 등이다[4, 5]. BMU는 CMU로부터 모든 셀들의 정보를 전달받아 이를 바탕으로 BMS의 기능들을 수행한다. 본 연구에서 하나의 BMU는 최대 22개의 CMU를 관리할 수 있도록 설계되었다. 또한 BMU는 차량 등에 탑재되어 차량의 ECU에게 BMS의 정보를 제공해 줄 수 있도록 하기 위하여 하나의 CAN 인터페이스를 더 가지고 있다. 그림 3은 구현된 BMU 보드의 모습이다. 개발된 BMU는 두 개의 MCU로 구성되어 있으며 각각의 MCU들은 하나의 CAN 통신 포트를 가지고 있다. 본 연구에서 제안하는 방식과 같이 BMS를 구성하기 위해서는 BMS의 상위 장치라고 할 수 있는 차량의 ECU와 통신할 수 있는 CAN 인터페이스가 필요하

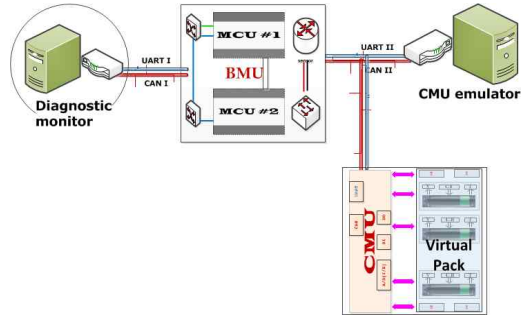


그림 4. 배터리 관리 시스템 시뮬레이터
Fig. 4 Simulator of BMS

며, 하부 장치인 CMU의 정보를 수집할 수 있는 CAN 인터페이스가 필요하다. 왜냐하면 CMU에는 많은 수의 배터리 팩들이 연결되어 있어 주기적으로 많은 양의 메시지를 생성해 내기 때문에 이들 데이터가 차량 전자 장치간의 통신에 영향을 주지 않기 위해서이다. 두 MCU사이의 시리얼 통신으로 연결한다. 이와 같은 방법을 사용하지 않고 2개 이상의 CAN 인터페이스를 가지고 있는 MCU를 사용해도 제안하는 방법과 같은 BMS의 구성이 가능하다.

2. BMS 시뮬레이터

제안한 방법에서 BMS의 핵심 기능은 BMU에서 구동되며, 실제로 BMS를 개발한다고 하면 BMU를 개발하는 것과 같다고 할 수 있다. 왜냐하면 CMU는 배터리 셀들을 모니터링 하고 BMU로 전달해주는 것으로 자신의 임무를 마치기 때문이다. 따라서 본 시뮬레이터는 BMU의 테스트를 위한 환경을 제공하도록 구성된다. 우리가 구현한 BMU 테스트 형상은 그림 4와 같이 구성된다.

그림 4에서 보이는 것과 같이 개발한 BMU는 CAN 버스를 통하여 배터리 셀들의 정보를 받아들인다. 따라서 CAN 버스를 공유하여 동일한 응용 프로토콜을 사용한다면 다양한 테스트 환경을 구축할 수 있다. 본 연구에서는 3가지 형태의 실험환경을 제공한다. 즉, 그림 2에 묘사된 바와 같이 배터리 팩을 직접 연결하는 방법, CMU 보드에 배터리 시뮬레이터를 연결하는 방법, 마지막으로 SW 형태로 개발된 CMU 에뮬레이터를 연결하는 방법이다. 이들은 각각 따로 사용할 수도 있고 동시에 BMU에 연결하여 사용할 수도 있다. 추가적으로 CMU 에뮬레이터에는 배터리의 전압, 전류 정보를 정확하게 모사할 수 있는 셀 시뮬레이터를 연동하여 사용할 수도 있다. 다음에서는 본 시뮬레이터를 구성



그림 5. 시나리오 편집 프로그램
Fig. 5 Scenario Editing Program

하고 있는 각각의 구성 요소에 대하여 자세히 설명한다.

2.1 배터리 시뮬레이터

배터리 시뮬레이터는 실제의 배터리 셀을 모사하여 배터리의 전압 및 전류 등의 값을 생성해내는 모듈이다. 서론에서 언급한 바와 같이 기존 연구인 [2, 3] 등에서 사용하는 방법으로 배터리를 모사할 수 있는 시스템을 임베디드 보드 형태로 제작하여 배터리의 전압 및 전류를 직접 생성해내는 방법이다. 배터리 시뮬레이터에서 생성된 전압, 전류는 CMU의 전압, 전류 센서를 통해 센싱 된다. 배터리 시뮬레이터는 사용자가 테스트를 하고자 하는 시나리오에 따라, 특정 전압, 전류를 생성해 낼 수 있어야 한다. 예를 들어 BMS가 가동되고 10초 후에 고 전류가 발생하여 BMU가 고 전류 보호 동작을 하는지 확인하고, 이후 정상 전류로 복귀하였을 때 BMU의 보호 동작이 종료되는 시나리오가 있다고 가정하면, 사용자가 직접 배터리 시뮬레이터를 조작하여 테스트를 진행하는 것은 많은 불편함이 따른다. 따라서 본 연구에서는 배터리 시뮬레이터에 간단한 임베디드 소프트웨어를 구현하여 사용자가 사전에 만들어진 시나리오 파일을 입력받아 이에 맞도록 전압, 전류를 생성해 내도록 구현하였다. 또한, 사용자가 테스트 시나리오를 편집할 수 있는 PC용 프로그램을 제공하여 사용에 용의하도록 하였다. 그림 5는 시나리오 편집 프로그램의 실행화면을 보여준다.

2.2 셀 시뮬레이터

셀 시뮬레이터는 배터리 셀의 상태를 정확하게 모사하기 위한 프로그램이다. 배터리의 용량, 사용되는 재질, 사용한 시간 등 50여 가지의 파라미터를 사용하여 얼마의 전압, 전류를 내보낼 수 있는지를 계산해준다. 본 셀 시뮬레이터는 기존의 검증된 배터리 시뮬레이터인 b#-프로젝트[3, 4]에서 사용된 것으

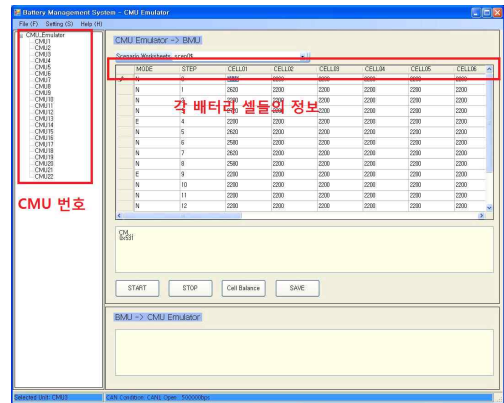


그림 6. CMU 에뮬레이터 프로그램
Fig. 6 CMU Emulator

로, b#-프로젝트에서는 임베디드 시스템 형태로 구현하여 사용하였으나, 본 연구에서는 이를 PC용으로 변환하여 사용하였다. b#-프로젝트에서 사용한 배터리 모델은 Dualfoil 이라는 공개 소프트웨어 기반의 배터리 모델을 사용하고 있는데, 이 모델은 가장 널리 사용되는 배터리 모델 중 하나이다 [3]. 비록 본 연구에서 배터리 시뮬레이터와 실제 배터리 간의 비교 실험을 실시하지는 못하였으나, 기존의 연구에서 사용한 방법을 그대로 사용하였으므로 같은 결과를 예상할 수 있다. 앞선 연구들인 [3, 4, 6] 등에 의하면 Dualfoil과 실제 배터리 사이의 오차율은 1.5% 정도로 매우 정확한 배터리 시뮬레이터이다.

2.3 CMU 에뮬레이터

CMU 에뮬레이터는 최대 12개의 배터리 셀로 구성된 배터리 팩 22개를 모사할 수 있는 에뮬레이터로 대규모의 배터리 셀들이 존재하는 환경을 가상적으로 만들어준다. CMU 에뮬레이터는 각각의 배터리 셀들에 관한 정보들을 CAN 통신을 통해 BMU로 전달하는 역할을 한다. CMU는 PC환경에서 구현된 SW 프로그램이며, PC에서 USB-to-CAN 인터페이스를 통하여 CAN 버스에 연결된다. CMU 에뮬레이터는 2.2에서 언급한 셀 시뮬레이터에서 생성된 데이터들을 사용할 수도 있으나, BMU의 테스트를 용이하게 하기 위하여 사용자가 생성해낸 임의의 시나리오대로 배터리 셀들의 값들을 생성해 낼 수도 있도록 제작되었다. BMU는 CMU를 통해서만 각 배터리 셀들의 정보를 알 수 있으므로, CMU 에뮬레이터를 통해서 만들어진 다양한 시나리오의 정보들은 BMU의 각 기능들을 획기적으로 빠른 시간 내에 모두 테스트

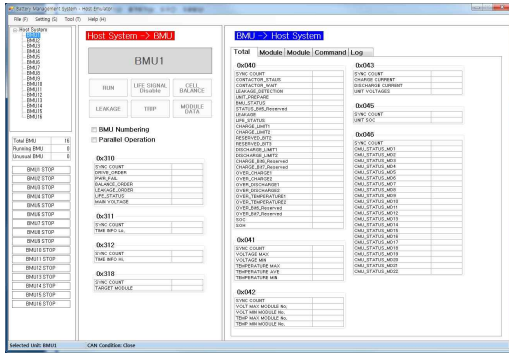


그림 7. 진단 모니터링 프로그램
Fig. 7. Diagnosis and Monitoring Program

할 수 있도록 한다. 그림 6은 구현된 CMU 에뮬레이터의 실행화면이다. 그림 6에서 보여지는 바와 같이 CMU에뮬레이터 화면에서는 각 CMU에 연결된 각 배터리 셀들의 전압/전류 및 온도를 모니터링할 수 있다.

2.4 진단/모니터링 장치

진단 모니터링 장치는 BMU의 상위 장치로서 BMU의 동작 상태를 사용자가 확인할 수 있도록 하는 프로그램이다. 진단 모니터링 장치는 BMU에서 전송되는 각종 정보들을 GUI 형태로 사용자에게 보여준다. 표시되는 정보들은 BMU에서 관리하는 각 셀들의 전압, 전류, 온도 등 기본적인 데이터에서부터, 현재 배터리들의 충/방전 상태, SOC 상태, 셀 밸런싱 동작 등 BMU에서 관리하고 있는 각 셀들의 모든 정보들이 표현된다. 뿐만 아니라, 필요에 따라 BMU에게 명령을 내릴 수 있도록 구현되어 있으며, BMU에서 각 배터리 셀들의 이상이 발생하였을 경우 이를 로그 데이터로 남기는 기능도 수행한다. 그림 7은 구현된 진단 모니터링 프로그램의 구동 화면이다.

III. 실험

1. 실험 환경

개발된 BMS 시뮬레이터는 다수의 배터리를 관리해야 하는 BMS를 개발함에 있어 그 테스트를 용이하게 하기 위한 것이다. 본 시뮬레이터의 정확한 동작을 진단하기 위하여 앞에서 설명한 그림 4와 같은 구조로 실험 환경을 구성하였다. 실제 배터리 팩과의 동작비교 및 연동 가능 유무를 확인하기 위하여 BMU에 배터리 팩과 개발된 CMU 에뮬레이터 프로그램을 모두 CAN 버스로

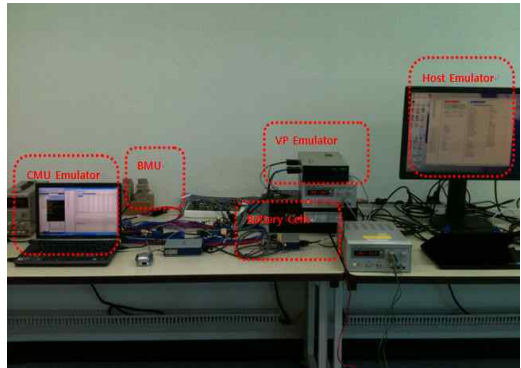


그림 8. 실제 실험 환경
Fig. 8. Real test environment

연결하였다. BMU는 CMU 에뮬레이터 프로그램으로부터 생성된 가상의 CMU 21개의 데이터와 실제로 연결된 배터리 팩으로부터 데이터를 받게 된다. 아래 그림 8은 본 연구에서 실험에 사용한 테스트 환경으로, 그림 4에서 구성한 것을 실제로 구현한 그림이다.

2. 실험 결과

우리는 BMS가 수행해야 할 기능들을 5가지로 분류하고 각각에 대해서 2~4개씩의 테스트 케이스를 구성하였다. BMS의 주요 기능은 온도에 따른 보호, 전압 및 전류에 따른 보호, SOC 기능, 통신 및 모니터링 기능 등이며, 많은 수의 배터리가 연결되었을 경우 BMU가 정상적으로 기능을 수행할 수 있는지를 실험을 통해 확인하였다. 특히, 충전, 방전 등 많은 시간이 소요되는 실험을 본 시뮬레이터를 통하여 실시할 경우 완전 충전, 완전 방전 등 8시간 이상이 걸리는 실험을 10초 이내에 실시 할 수 있어 실험 시간을 획기적으로 단축할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

IV. 결 론

앞으로 배터리 관리 시스템의 응용 분야는 더욱 다양해지고 그 수요도 지속적으로 증가할 것이다. 이에 따라 BMS의 구조도 기존과 같이 소수의 배터리 셀들을 관리하는 구조가 아니라 본 연구에서 제안하는 방식과 같이 대규모의 배터리들을 관리할 수 있는 구조로 진화하여야 한다. 그와 함께, BMS를 개발하는 업체가 편리하게 시스템을 개발할 수 있게 해주는 시뮬레이터는 반드시 필요할 것이며, 제안한 시스템은 BMS를 개발함에 있어 높은 편의성을 제공해 줄 수 있음을 실험을 통해 확인하였다.

한편, 차량 내 전자 장치들 간의 표준인 CAN 통신과 같이 BMS 내부에서도 에러율이 낮은 통신 인터페이스의 표준화가 필요하다. 본 연구에서 개발한 방식과 같이 CAN을 사용하여 배터리들의 정보를 BMS로 알려주는 방식은 소수의 업체들에서만 사용이 되고 있으나 응용 계층의 통신 규약이 정해져 있지 않다. 이는 BMS 산업의 확대를 위해서 향후 연구가 계속되어야 할 것이다.

References

- [1] J. Chatzakis, K. Kalaitzakis, N.C. Voulgaris, S.N. Manias, "Designing a New Generalized Battery Management System," IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 50, No. 5, pp.990-999, 2003.
- [2] C.H. Park, S.J. Kim, H.S. Hwang, H.G. Lee, "Development of a battery management system(BMS) simulator for electric vehicle(EV) cars," Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 13, No. 6, pp.2484-2490, 2012 (in Korean).
- [3] P.H. Chou, C. Park, J. Park, K. Pham, J. Liu, "B#: a Battery Emulator and Power Profiling Instrument," Proceedings on ACM ISLPED'03, 2003.
- [4] X. Xiao, X. Liu, "A Li-ion Battery Management System Based on MCU and OZ8920," Procedia Engineering, Vol. 29, pp.738-743, 2012.
- [5] M. Coleman, C.B. Zhu, C.K. Lee, W.G. Hurley, "A combined SOC estimation method under varied ambient temperature for a lead-acid battery," Proceedings on Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2005.
- [6] <http://www.ece.uci.edu/bsharp/>

저 자 소 개

강 현 우



2005년 경북대 컴퓨터공학과 학사.

2009년 경북대 전자전기 컴퓨터학부 석사.

현재, 한국전자통신연구원(ETRI) 선임 연구원.

관심분야: 컴퓨터통신, 센서네트워크, 임베디드 소프트웨어

Email: hwkang@etri.re.kr

안 성 호



1995년 광운대학교 전자공학과 학사.

1999년 광운대학교 전자공학과 석사.

현재, 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원.

관심분야: 임베디드시스템분야, 영상처리분야, HCI분야, VoIP분야, UI/UX분야.

Email: ahnsh@etri.re.kr

김 동 균



1994년 경북대 컴퓨터공학과 학사.

1996년 서울대 컴퓨터공학과 석사.

2001년 서울대 전자전기 컴퓨터공학부 박사.

현재, 경북대학교 IT대학 컴퓨터학부 부교수.

관심분야: 컴퓨터통신, 이동인터넷, 모바일 애드혹 네트워크, 센서네트워크, 무선메쉬네트워크.

Email: dongkyun@knu.ac.kr