

ESS 최적화 및 안정적인 운영을 위한 배터리 잔량 산출 및 고장 예측 알고리즘

주종율* · 이영재* · 박경욱** · 오재철***

Battery Level Calculation and Failure Prediction Algorithm for ESS Optimization and Stable Operation

Jong-Yul Joo* · Young-Jae Lee* · Kyoung-Wook Park** · Jae-Chul Oh***

요약

신재생에너지를 활용한 발전원의 경우, 날씨 등의 영향을 많이 받아 전력 생산량이 원활하지 않을 수 있다. 태양광 및 풍력 발전의 효율성을 높이기 위해 에너지 저장 장치(ESS·Energy Storage System)를 활용한다. ESS는 배터리 보호 시스템과 운영관리, 제어체제가 미흡하거나, 설치상의 부주의 등의 원인으로 인해 화재가 속출하고 있으며, 매우 큰 인명 피해와 경제적 손실로 이어지고 있어 ESS의 안정성 및 배터리 보호 시스템 운영관리 기술이 필수적으로 요구되고 있다. 본 논문에서는 ESS 최적화 및 안정적인 운영을 위한 배터리 잔량 산출 알고리즘과 고장 예측 알고리즘을 제시한다. 제시한 알고리즘은 배터리의 충전 및 방전 수행 시 실시간으로 전류량을 누적하여 정확한 배터리 잔량을 산출하며, 배터리 셀 간의 전압불균형 현상을 이용하여 배터리의 고장 유무를 산출한다. 제시된 알고리즘들은 ESS를 최적의 상태로 운영하는데 필요한 정확한 배터리 잔량과 고장 예측이 가능하다. 따라서 ESS의 배터리의 정확한 상태 정보를 측정하고 신뢰성 있게 모니터링 하여 대형 사고를 미연에 방지할 수 있다.

ABSTRACT

In the case of power generation using renewable energy, power production may not be smooth due to the influence of the weather. The energy storage system (ESS) is used to increase the efficiency of solar and wind power generation. ESS has been continuously fired due to a lack of battery protection systems, operation management, and control system, or careless installation, leading to very big casualties and economic losses. ESS stability and battery protection system operation management technology is indispensable. In this paper, we present a battery level calculation algorithm and a failure prediction algorithm for ESS optimization and stable operation. The proposed algorithm calculates the correct battery level by accumulating the current amount in real-time when the battery is charged and discharged, and calculates the battery failure by using the voltage imbalance between battery cells. The proposed algorithms can predict the exact battery level and failure required to operate the ESS optimally. Therefore, accurate status information on ESS battery can be measured and reliably monitored to prevent large accidents.

키워드

Battery Failure Prediction, Battery Management System, Energy Storage System, Renewable Energy, State of Charge
배터리 잔량, 배터리 고장 예측, 배터리 관리 시스템, 신재생 에너지, 에너지 저장 장치

* (주)데이스타(jy71530@gmail.com, skyit89@nate.com) · Received : Oct. 25, 2019, Revised : Dec. 20, 2019, Accepted : Feb. 15, 2020

** 전남대학교 문화콘텐츠학부(zergadiss73@jnu.ac.kr) · Corresponding Author : Jae-Chul Oh

*** 교신저자 : 순천대학교 컴퓨터공학과

Dept. of Computer Engineering, Suncheon National University,

Email : ojc@sunchon.ac.kr

· 접수일 : 2019. 10. 25

· 수정완료일 : 2019. 12. 20

· 게재확정일 : 2020. 02. 15

I. 서 론

최근 환경보호를 위해 기존 화석연료를 활용한 발전 대신 태양광, 풍력 등 신재생에너지를 활용한 발전들이 부각되고 있다.

이러한 신재생에너지를 활용한 발전원의 경우, 날씨 등의 영향을 많이 받아 전력 생산량이 원활하지 않을 수 있다. 태양광 및 풍력 발전의 효율성을 높이기 위해 에너지 저장 장치(ESS : Energy Storage System)를 활용한다.

에너지 저장 장치(ESS)는 생산된 전기에너지를 리튬이온 배터리 등을 활용하여 저장한 후 필요 시 사용할 수 있도록 하는 시스템으로 발전, 송전, 변전소, 배전 및 수용의 전 단계에 있어서 에너지를 보다 효율적으로 활용할 수 있다[1-3].

특히, 정확한 출력 예측이 어렵고 출력 변동률이 높은 특성을 지닌 태양광 및 풍력 발전의 전력 품질의 고른 사용이 가능하다. 그러나 ESS는 배터리 보호 시스템과 운영관리, 제어체계가 미흡하거나, 설치상의 부주의 등의 원인으로 인해 화재가 속출하고 있으며, 매우 큰 인명 피해와 경제적 손실로 이어지고 있어 ESS의 안정성 및 배터리 보호 시스템 운영관리 기술이 필수적으로 요구되고 있다.

배터리의 안정적 운용을 위해서는 만방상태-만충상태의 범위($0 \leq \text{SOC} \leq 1$)에서 방전 및 충전이 수행되어야 하며, 예기치 않은 과방전 및 과충전이 배터리에 적용되지 않도록 배터리 잔량(SOC : State of Charge)를 상시 체크하고 충방전 제어를 수행해야 한다. 이를 위해 정확한 배터리 잔량을 체크하는 기술이 요구된다.

또한 배터리 셀의 고장 정도를 산출하여 사고를 미연에 방지하는 기술은 ESS의 안전성 확보를 위해 필수적이다[4].

본 논문에서는 ESS 최적화 및 안정적인 운영을 위한 배터리 잔량 산출 알고리즘과 고장 예측 알고리즘을 제시한다.

II. 관련 연구

2.1 ESS(전기저장장치)의 시스템

에너지 저장장치(ESS, Energy Storage System)이

란 전기 수요가 적을 때 생산된 전력을 전력계통(Grid)에 저장하였다가 전기 수요가 높을 때 저장된 전기를 공급해주는 시스템을 말한다[5].

특히, 현재에 우리나라에서는 많이 활용하고 있는 리튬이온전지 기반의 배터리 형 전기저장장치(Electricity Storage System)은 전기에너지를 화학에너지로 전환하여 저장하고 필요한 시기에 방전하여 공급할 수 있는 시스템 또는 장치인데 이러한 시스템 또는 장치를 총괄하여 일반적으로 전기저장장치(Electricity Storage System) 또는 에너지저장장치(ESS, Energy Storage System)로 정의하고 있다[6].

에너지 저장장치는 배터리(Battery)시스템과 배터리의 충·방전 상태를 관리 및 제어를 위한 배터리관리시스템(BMS, Battery Management System)을 기본으로 하고, 추가적으로 생산된 전력의 주파수와 전압을 계통 및 부하 특성에 맞추어 변환하고 관리하기 위한 전력변환장치(PCS, Power Conditioning System)와 에너지저장시스템을 모니터링하고 제어를 위한 에너지 관리 시스템(EMS, Energy Management System)으로 구성으로 크게 4가지로 구분된다[7].

2.2 SOC(: State Of Charge) 산출 기법

일반적으로, 배터리에 저장된 에너지를 사용할 경우, 배터리의 내부전압 및 에너지가 감소하는데 이를 방전(discharge)이라 하며, 반대의 경우를 충전(charge)이라고 한다. 허용 가능한 에너지를 모두 소비할 경우 이를 만방(滿妨)상태(fully-discharged)라고 하며, 배터리 내부의 최대 에너지 상태를 만충(滿充)상태(fully-charged)라고 한다. 이를 수치로 표현하는 SOC는 State Of Charge의 약자로 충전 상태, 충전 비율 수를 나타낸 것으로 용량의 백분율로 나타낸다.

배터리의 동작전압범위, 즉, 허용 가능한 방전 및 충전상태를 넘어선 경우, 이를 과방전(over-discharge)과 과충전(over-charge)으로 각각 정의한다. SOC는 보통 직접적으로 측정이 불가능하기 때문에 간접적인 방법에 의해 계산되며, 이러한 SOC를 화학적 방법, 전류적분 방법, 압력측정 방법의 4가지 방법, 전압측정방법으로 측정이 가능하다[8-10].

먼저, 화학적으로 SOC를 측정하는 방법(Chemical method)은 배터리의 전해질의 비중과 PH를 측정하여 SOC를 계산하는 방법이다.

전류적분방법(Current integration method)은 쿨럼 카운팅이라고도 하는 방법으로 배터리의 전류를 측정하고 이를 시간에 대해 적분하여 SOC를 계산한다.

압력측정방법(Pressure method)은 NIMH 배터리는 충전할 때 배터리의 내부 압력이 급속히 증가하기 때문에 이 방법은 이러한 성질을 이용하여 SOC를 계산하는 방법이다.

마지막으로, 전압측정방법(Voltage method)은 배터리의 전압을 측정하여 SOC를 연산하는 방법으로 배터리의 전압은 전류와 온도에 많은 영향을 받으므로 이들 인자를 비교하여 연산하는 방법이다.

III. ESS 최적화 및 안정적인 운영을 위한 배터리 잔량 및 고장 예측 알고리즘

3.1 ESS 최적화와 안정적인 운영을 위한 BMS(SOC)알고리즘

ESS 제조사 별로 배터리 타입이 상이할 뿐만 아니라 소재에 따라 특성이 다르고 적용되어 있는 BMS 성능 및 알고리즘이 다르기 때문에 본 논문에서는 장기적으로 설비의 신뢰성을 높이고 활용이 가능하도록 BMS(SOC)알고리즘을 개발하였다.

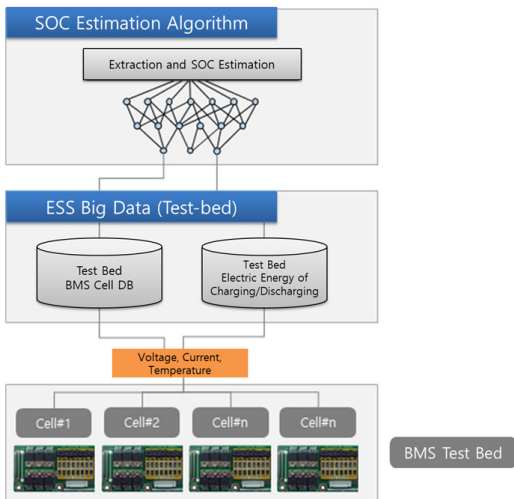


그림 1. SOC 산출 알고리즘을 위한 빅데이터 기반의 테스트베드 구성도

Fig. 1 ESS data construction and SOC calculation algorithm configuration through testable

향상된 BMS(SOC) 산출 알고리즘은 개발을 위해 그림 1과 같이 테스트 베드를 통한 ESS 데이터 구축 및 SOC 산출 알고리즘 구성하였다.

아래 그림 2는 자연 방전을 추출하기 위한 패턴을 표현한 것으로, 정상 완충(①) 후 시간이 지남에 따라 자연 방전이 이루어져서 설정된 전압까지 내려오면 다시 충전 시키는 과정이 반복(②,④,⑥)되고 ③,⑤은 사용자가 충전 기능을 멈췄다가 다시 충전을 시켰을 때 충전되는 과정이다.

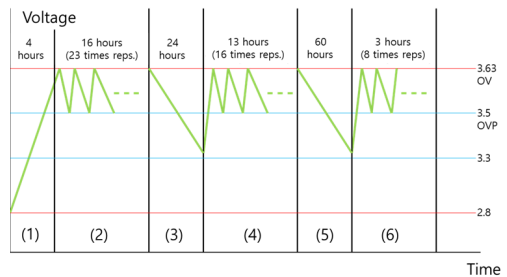


그림 2. SOC의 자연방전을 추출하기 위한 데이터 수집 패턴

Fig. 2 Data Acquisition Patterns for Extracting Natural Discharges from SOC

그림 3은 온도 변화에 따른 완충 용량을 계산한 것이다.

충방전 전력량에 따른 SOC를 산출하여 계산한 BMS의 SOC 알고리즘은 그림 4와 같이 개발하였다.

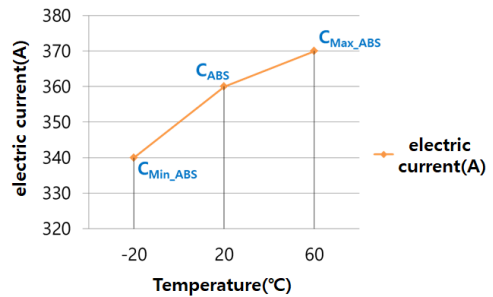


그림 3. 온도에 따른 완충 용량 추출 패턴

Fig. 3 Full charge capacity extraction according to temperature

BMS (SOC) Algorithm
Input: V (Mains voltage), A (Main current), T (Temperature), N (Natural discharge current per hour) OV (Overcharge voltage), UV ((Over discharge voltage), C_{curr} (Current capacity), C_{ABS} (Rated capacity), C_{Max} (Maximum capacity according to temperature), α , β (Capacity correction factor over temperature) Output: SOC(%)
<pre> // Maximum capacity extraction by absolute // capacity and temperature $C_{Max} = C_{ABS}(1 + \alpha(T - \beta))$ //Apply natural discharge current value $A = A - (N/3600)$ // Current capacity extraction $C_{curr} = C_{curr} + (A/3600)$ // SOC extraction $SOC = \frac{C_{curr}}{C_{Max}} \times 100$ // SOC extraction during overcharge and overdischarge if $V \geq OV$ // Overcharge SOC = 100 $C_{curr} = C_{Max}$ else if $V \leq UV$ // Over discharge SOC = 0 $C_{curr} = 0$ end if </pre>

그림 4. BMS의 SOC 알고리즘
 Fig. 4 SOC Algorithm of BMS

3.2 ESS의 이상 진단, 고장예측 알고리즘

ESS의 데이터에 구축된 최적 상태의 배터리의 충·방전 전력량에 따른 셀 전압들의 변화를 분석하였으며, 분석된 결과를 토대로 다양한 배터리 셀의 연결방식(직렬/병렬), 용량에 적용할 수 있도록 일반화된 Parameter 값들을 산출하였다.

산출된 Parameter를 이용하여 최적의 배터리 상태에 대비한 이상 정도를 계산하여 그림 5와 같은 이상 진단 및 고장예측 알고리즘을 개발하였다.

Fault diagnosis and fault prediction algorithm
Input: $CV_{M,C}$ (Voltage of C cell of M module), $BC_{M,C}$ (Balance count of C cell of M module), CB (Balance state, 0: normal, 1: Balance state) M (Number of modules), C (Number of Cell), A_{curr} (Current Current) Output: $CE_{m,c}$ (Fault diagnosis), $CF_{m,c}$ (Fault prediction)

<p>Step 1: reset the count</p> <pre> // $BC_{m,c}$ is the number of times that the number m // module number caused the balance // Initialize balance count for m = 1 to M Then for c = 1 to C Then $BC_{m,c} = 0$ end for end for </pre> <p>Step 2: Detect Balance</p> <pre> // When balance occurs due to voltage imbalance if $A_{curr} > 0$ Then // During charge The module number of the cell with the maximum voltage m, Retrieve number C of cells $BC_{m,c} ++$ else if $A_{curr} < 0$ Then //During discharge The module number of the cell with the minimum voltage m, Retrieve number C of cells $BC_{m,c} ++$ end if // cell failure detection stage Perform cell balancing If the cell balancing task does not complete within the specified time $BC_{m,c} = \infty$ </pre> <p>step 3: Fault condition extraction</p> <pre> // Fault condition extraction for m = 1 to M Then for c = 1 to C Then if $BC_{m,c} < \text{sum}(BC) \times 0.8$ Then $CE_{m,c} = \text{Normal}$ else $CE_{m,c} = \text{failure}$ end if end for end for </pre> <p>step 4: Failure prediction result extraction</p> <pre> // fault prediction for m = 1 to M Then for c = 1 to C Then if $BC_{m,c} < \text{sum}(BC) \times 0.3$ Then $CF_{m,c} = \text{Normal}$ else if $BC_{m,c} < \text{sum}(BC) \times 0.5$ Then $CF_{m,c} = \text{Attention}$ else if $BC_{m,c} < \text{sum}(BC) \times 0.8$ Then $CF_{m,c} = \text{Warning}$ else $CF_{m,c} = \text{Replace}$ end if end for end for </pre>

```

if Cell replacement operation Then
    Perform from step 1
else
    Repeat from step 2
end if
    
```

그림 5. 이상 진단 및 고장예측 알고리즘

Fig. 5 Fault diagnosis and fault prediction algorithm

테스트베드로 구축한 소규모 ESS에 충전과 방전을 번갈아 가면서 반복 수행하며 전력량에 따른 배터리 셀들의 전압, 온도 값을 빅데이터로 구축하였다.

충·방전이 반복 수행되면서 최적 상태에 비해 달라지는 셀들의 전압, 온도 값들을 분석하여 충·방전 횟수에 따른 셀 상태 변화에 대한 추이를 분석하였으며, 분석된 변화 추이를 토대로 ESS의 배터리 수명을 산출하는 알고리즘과 배터리 셀 고장 예측하는 알고리즘을 개발하였다.

IV. 실험 및 결과

표 1.은 SOC 계산 알고리즘을 적용한 충전 및 방전의 결과 데이터이다. 실험에 사용된 BMS의 최대 용량은 340A로 충전 및 방전의 결과를 봤을 때 3%이 내의 오차율을 보였다.

표 1. SOC 계산 알고리즘을 적용한 산출 데이터
Table 1. Output data applying the SOC calculation algorithm

number	Average temperature	Max. Cell	Min. Cell	Charge(A)	Error rate	Average temperature	Discharge(A)	Error rate
1	25	3.6	3.58	345.4	98%	24	346.1	98%
2	25	3.6	3.56	346.5	98%	25	349.2	97%
3	26	3.6	3.57	342.7	99%	24	344.3	99%
4	25	3.6	3.58	344.5	99%	22	343.8	99%
5	26	3.6	3.56	345.2	98%	23	345.3	98%
6	26	3.6	3.56	347.1	98%	24	345.8	98%
7	26	3.6	3.58	346.2	98%	25	347.1	98%
8	25	3.6	3.55	346.7	98%	22	344.8	99%
9	26	3.6	3.56	343.9	99%	23	346.2	98%
10	25	3.6	3.57	344.2	99%	24	345.3	98%

그림 6은 셀의 이상 진단 및 고장 예측 알고리즘을 적용한 결과에 대한 모니터링 화면으로 각 셀들에 대한 이상 및 고장 상태를 나타낸다.

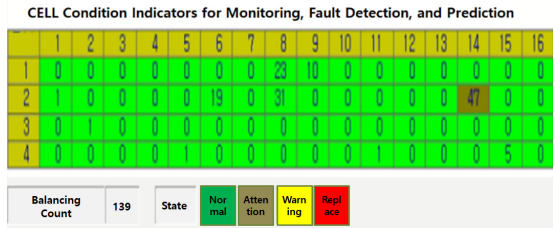


그림 6. 셀의 이상 진단 및 고장예측

Fig. 6 Fault diagnosis and fault prediction of Cell

셀 이상 시에는 교체가 들어온 상태에서 BMS 기능은 정지되고 고장 예측은 알고리즘의 계산 결과에 따라 정상, 주의, 경고로 실시간 표시하고 있다.

V. 결론

본 논문에서는 ESS의 배터리의 정확한 상태정보를 파악하고 수명관리 및 수명 연장을 위해 BMS SOC(State of Charge)측정 알고리즘을 개발하였다.

제시한 알고리즘은 배터리의 충전 및 방전 수행 시 실시간으로 전류량을 누적하여 정확한 배터리 잔량을 산출하며, 배터리 셀 간의 전압불균형 현상을 이용하여 배터리의 고장 유무를 산출한다.

제시된 알고리즘들은 ESS를 최적의 상태로 운영하는데 필요한 정확한 배터리 잔량과 고장 예측이 가능하다. 따라서 ESS의 배터리의 정확한 상태 정보를 측정하고 신뢰성 있게 모니터링 하여 대형 사고를 미연에 방지할 수 있다.

또한, ESS 동작 상황을 실시간 모니터링하고 관련 ESS 데이터를 기록·저장·분석하여 ESS의 이상 진단, 고장예측 및 가변 동작(Auto On/Off)등을 할 수 있는 원격 제어모듈을 개발하였으며, 원격 제어모듈에 향상된 BMS(SOC)알고리즘을 탑재하여 해당 모듈을 ESS에 연계하여 ESS의 운영 효율을 향상 시켰다.

개발된 기술은 ESS 최적화 및 안정화 운영을 위한 알고리즘으로 빅 데이터 분석을 통한 배터리 셀의 이상 진단 및 고장 예측이 가능하며, 건물 내의 ESS의 배터리에 대한 정확한 상태 정보 파악을 통한 ESS시스템의 안정적인 운영 및 배터리의 수명 향상 될 것으로 기대된다.

또한, ESS 빅 데이터 분석을 통한 실시간 배터리의 이상 검진을 수행할 수 있어 기존의 ESS에 비해 높은 안전성 및 실시간 상태검점이 이루어져 화재와 같은 대형 사고를 미연에 방지할 수 있어 기존의 ESS에 비해 높은 안전성을 가지고 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 2019 년 과학기술정보통신부으로 에너지신산업 SW 융합클러스터 조성 사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (S0173-16-1002).

References

[1] C. An, H. Lee, G. Kim, H. Lee, "A Study on Effects of Energy Saving by Applying Energy Storage System", *J. of the Korean Society for Railway*, vol. 12, no. 4, 2009, pp. 582-589.

[2] J. Choi, S. Han, Y. Song, G. Choi, "Power conversion system (PCS) technology of building energy storage system (ESS)", *J. of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (KIIEE)*, vol. 28 no. 3, 2014, pp. 57-63.

[3] Y. Chang, "State of charge estimation for LiFePO4 battery using artificial neural network," *J. of the International Review of Electrical Engineering*, vol. 7, no. 5, 2012, pp. 5874-5880.

[4] S. Piller, M. Perrin, A. Jossen, "Methods for state-of-charge determination and their applications", *J. of the power sources*, vol. 96, no. 1, 2001, pp. 113-120.

[5] Y. Ryu, J. Park, "Profile based open ESS system technology", *J. of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 33 no. 7, 2016, pp. 40-46.

[6] H. Kang, J. Lee, C. Kim, "A Study on the Technical trends of Energy New Industry and Business Model in Electric Power Market", *J. of the Korea Institute of Electronic*, vol. 11, no. 8, 2016, pp. 773-782.

[7] S. Kim, "Power energy storage device technology", *J. of the Korean Institute of Power Electronics*, vol. 23, no. 2, 2018, pp. 35-39.

[8] N. Watrin, B. Blunier, A. Miraoui, "Review of adaptive systems for lithiumbatteries state-of-charge and state-of-health estimation", *proc. of IEEE Transportation Electrification Conf. and Expo*, Dearborn MI, USA , 2012, pp. 1-6.

[9] A. Elgammal, A. Sharaf, "Self-regulating particle swarm optimised controller for (photovoltaic-fuel cell) battery charging of hybrid electric vehicles", *J. of the IET Electrical Systems in Transportation*, vol. 2, no. 2, 2012, pp. 77-89.

[10] V. Prajapati, H. Hess, J. William, "A literature review of state of-charge estimation techniques applicable to lithium poly-carbon monoflouride (LI/CFx) battery", *India International Conf. on Power Electronics 2010 (IICPE2010)IEEE, 2011*, New Delhi, India, 2011, pp. 1-8.

저자 소개

주종율(Jong-Yul Joo)



1999년 한국방송통신대학교 컴퓨터과학과 졸업(이학사)

2001년 순천대학교 정보과학대학원 컴퓨터과학과 졸업(이학석사)

2015년 8월 순천대학교 대학원 컴퓨터과학과 박사과정 수료

2019년 ~ 현재 (주)테이스타 이사

※ 관심분야 : 공장자동화시스템, 사물인터넷, 임베디드시스템, 센서네트워크



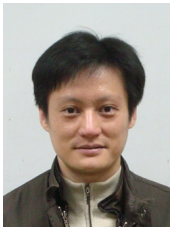
이영재(Young-Jae Lee)

2012년 순천대학교 컴퓨터공학과
졸업(공학사)

2014년 순천대학교 대학원 컴퓨터
과학과 졸업(이학석사)

2017년 2월 순천대학교 대학원 컴퓨터과학과 박사과
정 수료

※ 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터그래픽스, HCI, 증강
현실



박경욱(Kyoung-Wook Park)

1996년 8월 : 순천대학교 전자계산
학과 (이학사)

1999년 8월 : 전남대학교 전산통계
학과 (이학석사)

2004년 8월 : 전남대학교 전산학과
(이학박사)

※ 관심분야 : 병렬 및 분산처리, 그래프 이론, 알고
리즘



오재철(Jae-Chul Oh)

1978년 전북대학교 전기공학과 졸
업(공학사)

1982년 전북대학교 컴퓨터공학과
(공학석사)

1988년 전북대학교 컴퓨터공학과(공학박사)

1984년~1986년 기전대학교 전자계산학과 전임강사

1986년~현재 순천대학교 컴퓨터공학과 교수

※ 관심분야 : 임베디드시스템, USN, 네트워크 설계
및 분석

