

지휘무장통제체계용 UPS 배터리의 안전성 확보방안 연구

박건상*, 김재윤, 김동규
한화시스템 해양연구소

A Study on the application method of UPS's Battery Safety for battleship Command and Fire Control System

Gun-Sang Park*, Jae-Yun Kim, Dong-Gyu Kim
Naval R&D Center, Hanwha Systems

요약 해군 함정에는 특수목적 수행을 위해 구성되어있는 시스템이 있다. 그 중에는 지휘무장통제체계(CFCS : Command and Fire Control System, 이하 CFCS)가 존재하며 이를 운용하기 위해 요구사항에 맞는 장비가 개발된다. 특히 이러한 장비들 중 일부는 함정의 발전기 문제나 기타 예기치 못한 상황에서 정전이 발생하더라도, 운용 지속성 및 중요한 자료를 백업할 수 있도록 무정전전원공급장치 (UPS : Uninterruptible Power System, 이하 UPS)를 적용해야 한다. 만약 이를 충족하지 못할 경우 전력손실로 이어진다. 그러므로, 우리는 안정적인 UPS가 적용될 수 있도록 방안을 강구해야 한다. 안정적인 UPS를 설계하기 위해 배터리와 배터리관리시스템 (BMS : Battery Management System, 이하 BMS)은 중요한 요소가 된다. 만약 이러한 배터리와 BMS가 불안정하게 되면 전원문제가 발생할 경우 중요한 전술 정보가 손실되거나 전투체계 수행업무를 정상적으로 할 수 없게 되므로 큰 전력 공백이 발생한다. 즉, 본 시스템의 안전성 확보가 필수적이다. 따라서, 본 논문에서는 CFCS에 적합한 UPS 개선을 위해 배터리 비교분석, 주요회로 누설전류 분석, 내환경성 시험을 토대로 개선된 시스템을 구현 및 검증하였다.

Abstract Naval battleships have systems to perform special purposes, such as the Command and Fire Control System (CFCS). Some of the this equipment should be equipped with an Uninterruptible Power System (UPS) to ensure operational continuity and the backup of important data, even during unexpected power outages caused by problems with the ship's power generator. Heavy combat losses can occur if the equipment cannot satisfy the function. Therefore, it is important to design a stable UPS. The battery and Battery Management System (BMS) are two of the most important factors for designing a stable UPS. A power outage will be encountered if the battery and BMS are not stable. The customer will be exposed to abnormal situations, loss of important tactical data, and inability to operate some of the CFCS. As a result, an enhanced safety system should be designed. Thus, this study implemented and verified the improved system in terms of three methods, such as comparative analysis of the batteries, improvement about leakage current of the circuit, and tests of the aggressive environmental resistance to improve the UPS for CFCS

Keywords : UPS, Lithium-Ion Polymer Battery, CFCS, BMS, ESS

*Corresponding Author : Gun-Sang Park(Hanwha Systems)

email: gunsang.park@hanwha.com

Received December 28, 2020

Accepted March 5, 2021

Revised January 29, 2021

Published March 31, 2021

1. 서론

해군의 함정에는 특수목적을 수행하기 위해 CFCS가 적용되어있다. 여기서 언급한 특수목적은 감시, 추적, 대응 등을 포함한 다양한 임무가 존재하며 이 임무를 수행할 수 있도록 요구사항을 충족하는 장비를 개발해야한다. 특히 일부 장비는 함정 내 발전기의 문제, 예기치 못한 상황에서의 정전으로 인해 전원공급이 차단되더라도 운용 지속성 확보 등 최소한의 운용 또는 백업시간을 확보해야하는 장비들이 존재한다. 따라서 이러한 장비는 무정전전원공급장치의 적용이 필수적이다. 무정전전원공급장치의 주요기능은 노이즈 감쇄를 통해 안정적인 전원을 만들어주고, 부하별로 필요한 전원을 만들거나 공급해주며, 입력되는 전원이 차단되거나 일부 구성품이 문제가 발생하여 외부전원을 활용하지 못할 경우 배터리의 전원을 활용하여 백업모드로 최소한의 시간동안 운용지속성 확보 및 중요한 데이터를 백업등 조치할 수 있는 시간을 확보해주는 역할을 한다[1].

1.1 CFCS용 UPS의 기본개념

CFCS에 적용되는 UPS 기본개념은 Fig. 1과 같은 구성을 가지고 있으며, 크게 3가지의 운용모드를 가진다.

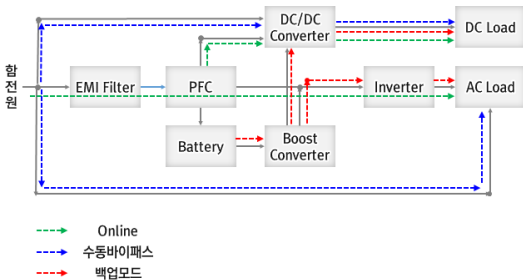


Fig. 1. Operation mode of the UPS for Command and Fire Control System

1.1.1 Online 모드

Online 모드는 UPS와 연결되는 외, 내부 연동요소(소스원, 부하 등)들이 정상인 경우 외부에서 공급되는 합전원을 공급받아 입력단의 EMI Filter와 PFC, Inverter를 거쳐 AC Load에 공급이 되며 DC Load에는 DC/DC Converter를 거쳐 분배된 전원을 공급하게 된다. (단순화에 따라 추가적인 모듈은 생략한다)

1.1.2 수동바이패스 모드

수동바이패스 모드는 UPS 내부 구성품의 결함으로 인해 정상적인 Online모드를 제공할 수 없을 경우 합전원을 그대로 출력부하에 전달되게끔 하는 모드이다. 이 외 자동바이패스 모드 같은 경우도 존재하나 이는 사용자 선택에 의해서가 아닌 장비 자체적으로 UPS 내부 구성품에 대해 정상유무를 판단하여 자동 전환하게 되는 모드이다.

1.1.3 백업 모드

백업 모드는 정상운용 중 외부에서 공급받는 합전원의 소스원이 결함으로 인해 단전이 되거나 그 밖에 비정상적인 전원이 감지되어 내부 구성품 및 출력 부하를 보호하기 위해 차단을 하게 되면 UPS 측면에서 외부에서 공급받는 전원이 차단되게 된다. 이때 UPS는 배터리의 전원으로 내부 구성품 및 출력부하의 운용 지속성을 확보하고 요구사항에 적합한 최소한의 운용시간을 제공하여 중요한 자료를 백업하거나 정상적으로 임무를 수행 및 정리 할 수 있도록 하는 모드이다.

이러한 백업모드 제공을 위해 적용되어야하는 핵심 구성품은 배터리와 이와 관련된 BMS 역할을 하는 감시 및 제어 보드이다. 기본적으로 내환경성 충족 및 보호회로는 설계에 반영이 되나 다양한 관점에서 추가적으로 개선해야하는 요소가 없는지 예상되는 위험요소는 없는지 충분한 검토가 필요하다. 그에 따라, 본 논문에서는 이러한 부분을 고려하여 CFCS에 적합한 UPS에 적용할 배터리, BMS의 개선사항을 반영하여 안정화된 백업모드와 배터리의 안전성을 강화하는 방안을 구현하였다.

1.2 기존의 문제점

현재 함형별로 장착된 UPS 종류는 다양하지만 최근에는 대부분 리튬이온 또는 리튬이온폴리머배터리를 채택한 제품들로 배치되어있다. 적용 사유는 콘솔 또는 캐비닛과 같은 제품의 집적화를 위해 UPS의 소형화와 물리적 형상의 다양화가 요구되기 때문이다.

따라서, 이러한 시스템이 구성되기 위해 배터리 선정, 보호 기능이 반영된 회로 및 펌웨어, 내환경성 입증된 장비를 개발을 완료하였으나 예외적인 케이스에서 문제가 없는지 추가 검증하였다.

Fig. 2와 같이 과방전된 배터리를 장착한 UPS를 실장비에 장착하여 5일에 걸쳐 3번의 충전구간을 가지고 시험을 진행하였다.

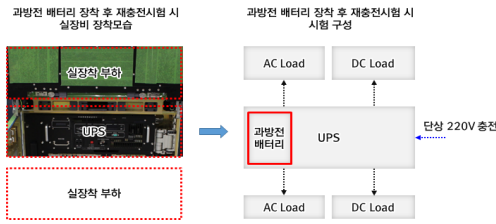


Fig. 2. Safety test about UPS equipped with overdischarged battery

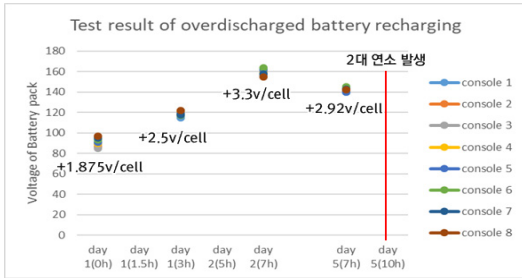


Fig. 3. Test result of recharging about overdischarged battery

그 결과 Fig. 3과 같이 약 8대의 콘솔에 장착된 배터리는 재충전 시험 시 각 셀별로 약 1.875v 전압으로 시작하여 day1, day2에 각 3시간, 4시간씩 충전한 결과 정상적으로 충전되는 형태를 보였으나 3일 후가 되는 day 5 시작 전에 비정상적인 전압강하가 1차시별 되었으며 추가적으로 3시간 충전한 결과 연소현상이 2대 발생하였다. 따라서 이 부분은 안전을 위해 개선 필수사항으로 판단하여 이를 방지할 수 있는 연구를 진행하였다.

2. 본론

Fig. 4와 같이 서론에서 언급한 문제점이 발생하는 사유와 운용방식에 따른 영향성을 통해 정의한 문제점 개선방안 3가지를 거쳐 최종적으로 에이징 시험 후 실장비에 반영하는 방식으로 연구를 진행하였다.

2.1 운용방식에 따른 배터리의 영향성

기본적으로 함정에서 장비 운용 시 배터리에 부정적 영향을 주는 것이 3가지가 존재한다. 첫 번째는 서론에서 언급한 문제점처럼 장기적으로 사용하지 않을 경우 주기적인 충전 없이 장비를 보관하게 되면 배터리는 누설전

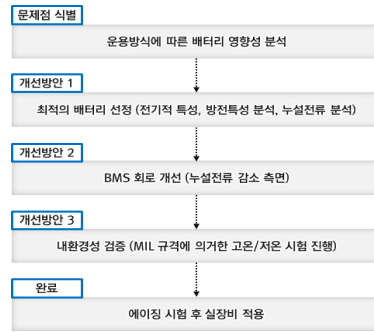


Fig. 4. A study flow in order to apply improvement factor in our system

류 또는 자연방전으로 인해 과방전이 일어나게 되고 그에 따라, 배터리 성능이 감소하여 충/방전 불가, 셀별 특성 저하 등 결합요소가 발생하게 되어 정상적인 백업기능 제공이 불가능한 경우 및 사용자 안전성에 문제가 발생할 여지가 존재한다. 두 번째는 UPS가 적용된 장비가 함정 내부 지정된 격실에 배치되는데 해당 격실별로 규정된 온도가 존재한다. 하지만, 공조기 제어불량 또는 미운용으로 정상온도를 벗어나는 경우가 발생할 수 있으므로 배터리 및 주요 구성품이 문제를 야기 시킬 수 있다. 세 번째는 배터리가 상태감시 또는 육안으로 비정상상태가 감지되었음에도 지속적으로 운용 및 충/방전을 반복할 경우 배터리에 영구적인 결함이 발생할 수 있게 됨으로 이 역시 고려하여야한다. 위에서 언급한 3가지 요소는 기본적으로 검증되어 설계되어있으나 추가적으로 개선해야 할 요소가 있는지 주기적인 검증하는 활동이 필요하다. 위에서 언급한 두 번째와 세 번째는 대응책으로써 공식적으로 배포되는 운용 및 정비교범에 따라 관리 및 운용이 됨으로써 정상적인 운용이 되도록 적용되어있다. 또한, 설계 시 온도, 습도, 충격 등 함정 운용 조건을 고려하여 MIL-STD-810G, MIL-S-901D 등과 같은 환경시험 규격을 적용하여 개발단계에서 사전에 검증하고 기능검증을 완료하였다. 그러나 첫 번째 항목은 설계적인 측면에서 추가적으로 강화가 되어야하는 부분임을 식별하였기에 개선된 설계가 반영되도록 하였으며, 변경사항이 있는 제품에 대해서는 내환경성을 충분히 갖춘 제품임을 입증하여 최종적으로 개선완료 및 실적용을 하고자 한다. 주요 개선 포인트는 배터리 선정과 선정된 배터리의 방전특성을 고려하여 BMS용으로 개발된 감시 및 제어보드의 회로개선이 필요한 부분을 식별 및 조치를 진행하였다. 식별된 포인트는 1차적으로 시뮬레이션을 통해 분석하여 실물제작 및 측정을 진행하였으며 사전점검이 완료

된 실물을 기준으로 내환경성 시험을 진행하는 하는 순서로 구현하였다. 추가적으로 리튬이온폴리머배터리 특성에 따라 하우징과 패키징 방식을 난연 재질을 적용하여 안전성을 강화하는 방안도 적용하였다.

2.2 배터리 분석

CFCS의 장비에 장착되는 UPS 내에 적용 가능한 배터리 제품군을 3가지 선정하여 비교분석을 진행하였다. 실제 연결되는 제품의 부하를 고려하여 전기적 성능, 물리적 크기, 내환경성을 고려하였다. 또한, 비교분석 시 추가적으로 고려해야할 대상은 배터리의 자가방전률을 토대로 장비 내부의 BMS 회로 중 개선되어야할 부분이 있는지 파악하기 위해 부정적인 영향성을 주는 누설전류의 기준을 식별하여 개선하고자 한다.

Table 1. Comparison of Lithium-ion ploymer batteries

Group	A	B	C
Rated Capacity	1500mAH	1700mAH	1700mAH
C-rate	Charge 0.2C Discharge 0.5C	Charge 0.2C Discharge 0.2C	Charge 0.5C Discharge 0.2C
Nominal Voltage	3.7V	3.7V	3.7V
End Of Discharge	3.0V	2.75V	3.0V
Max Continuos Charge Current	3A	1.7A	3.4A
Max Continuos Discharge Current	45A	42.5A	36A
Operation Temp	0~45℃	0~45℃	0~45℃
Storage Temp	-20~60℃	-20~45℃	-20~45℃

Table 1은 배터리 셀 3가지를 선정하여 비교분석 표이다. 1차적으로 정격용량, C-rate등 데이터시트 상 요구사항을 충족하는 제품을 식별하였다. 이 제품을 바탕으로 실제 적용되는 부하를 고려하여 배터리별 방전특성을 분석하기 위해 시험을 진행하였다.

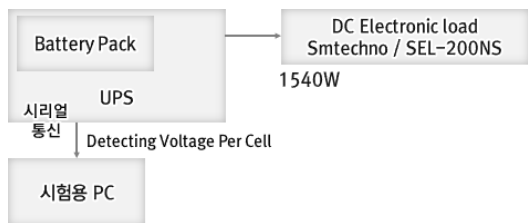


Fig. 5. Test configuration about characteristic of battery cell

실제 사용되는 UPS 교류부하는 유효전력으로 2.3kW이며 AC 220V 기준으로 약 10A에 해당하는 수치이다. 이를 참고하여 중부하 수준인 7A로 시험기준을 수립하였고, 이는 1540W에 해당하므로 DC Load로 시험 시 해당조건을 적용하여 시험을 진행하였다. 시험 구성은 Fig. 5.와 같이 구성하였으며 시험대상 배터리의 제품군 당 10개의 셀을 샘플링하여 측정된 결과는 Fig. 6~Fig. 8과 같다. 그 결과 3가지 배터리 셀의 방전특성은 동일한 형태임을 확인할 수 있었다. 또한, Table 2와 같이 각 제품군 별 주요 에너지밀도 분포도 구간의 차이는 있으나 적용하고자 하는 UPS 기준으로 볼 때 영향성이 없음을 판단하였다.

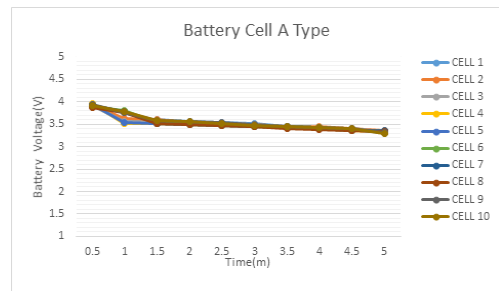


Fig. 6. test result of discharging battery cell A type

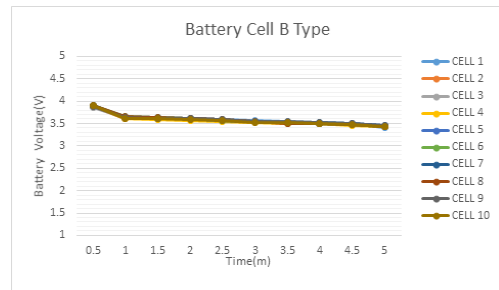


Fig. 7. test result of discharging battery cell B type

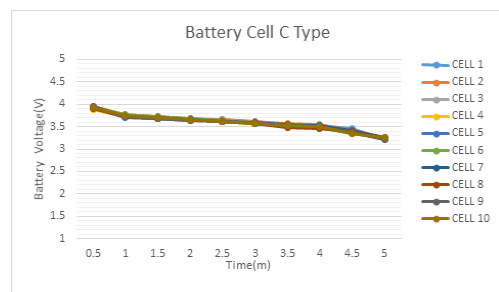


Fig. 8. test result of discharging battery cell C type

Table 2. Comparison of battery energy density

Group	A	B	C
Energy Concentration range	3.4V~3.6V	3.5V~3.6V	3.5~3.7V
ratio	70%	75%	67%

결과적으로, 시험대상의 제품군 3종은 CFCS에 적용되어있는 UPS에 적합한 배터리 모델로 채택가능하며, 특성이 동일한 형태를 보임에 따라 1가지 제품(제품 B)을 선정하여 실제 합정에서 미운용 시에 충전을 하지 않고 보관할 경우 어느정도의 누설전류가 발생하는지와 그에 따른 BMS 회로 내 개선해야할 누설전류 기준을 수립 및 조치하고자 하였다.

제품군 B는 상온(25°C)일 경우 2%의 Self Discharging rate를 가진다. 하지만 보관하는 환경과 설계측면을 고려하여 Worst Case (온도와 기타 환경을 고려)로 볼 경우 5%/month를 적용하여 자연방전 시 발생하는 누설전류량을 산출하였으며, 그 결과 제품B의 배터리는 5%/month의 자가 방전이 일어난다고 가정하였을 경우 Eq. (1)~(4)와 같이 118 μ AM의 누설전류가 발생하게 된다.

$$1C = 1700mAh \tag{1}$$

$$1C \times \frac{1}{100} = 0.01C = 17mAh \tag{2}$$

$$17mAh \times \frac{1D}{24h} \times \frac{1M}{30D} = 23.6\mu AM \tag{3}$$

$$\therefore leakcurrent 5\%permonth = 118\mu AM \tag{4}$$

시험결과에 따른 누설전류를 기준으로 BMS회로에서 개선해야할 포인트를 식별하여 개선조치를 반영하는 절차를 수행하였다. 여기서 주요 포인트는 장비 미운용 시 즉, OFF STATE일 경우 배터리 특성 상 미세한 누설전류도 부정적인 영향을 가져올 수 있기 때문에 개선이 필요한 부분을 식별 및 조치가 필요 하다는 것이다.

2.3 회로 개선

2.3.1 BMS - 감시보드

배터리를 사용하는 응용에 필수적으로 적용되는 BMS 은 CFCS 내 UPS 에서는 감시 및 제어보드로 지칭하여 설계되어있다. 기본적으로 감시보드는 배터리방전, 셀 밸런싱 회로 등으로 구성되어있고, 제어보드는 배터리 충/방전, 점검회로 등이 구성되어있다. 식별한 배터리의 누

설전류를 고려하여 개선회로를 식별하였다. 먼저 감시보드 내 주요회로를 검토한 결과 장비 미사용 시 에도 배터리 셀과 일부 연동이 되어있는 소자가 OFF STATE 시 누설전류가 발생하는 부분을 식별하였다. 시뮬레이션을 위해 사용한 툴은 Cadence 사의 Orcad 16.2를 사용하였다.

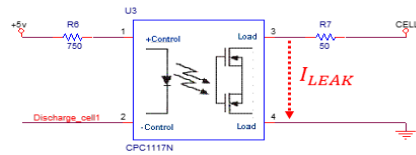


Fig. 9. battery discharging circuit of check

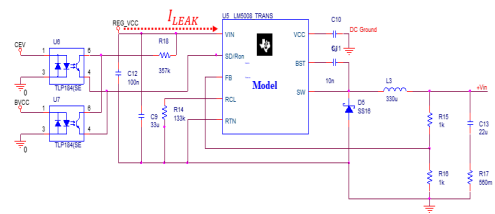


Fig. 10. DC regulator circuit of battery

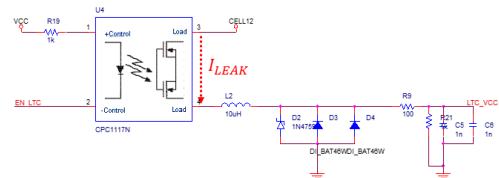


Fig. 11. Switching circuit of Cell Sensing IC VCC source

첫 번째 Fig. 9회로는 배터리 방전회로이다. 여기서 적용된 소자는 IXYS사의 포토커플러이고 입력단에는 +5V와 MCU 신호가 연결되어있고 출력단에는 배터리 셀 전원이 연결이 되어있다. 이는 입력단에서 MCU에서 인가받는 Discharge_cell1 이라는 신호를 인가받아야만 포토커플러가 Turn-on 되지만, 신호를 인가 받지 않는 Turn-off 상태인 경우라도 부하에 배터리 전원과 상시 연결 되어있으므로 항상 $I_{LEAK} = 1\mu A$ (Ambient Temperature at 25°C)의 누설전류가 발생한다. 두 번째 Fig. 10회로는 배터리 전원을 받아 내부의 5V 전원을 분배해주는 역할을 위해 구성되어있는 DC regulator이다. 여기서 적용된 소자는 TI사의 소자가 적용되어있으며 이 소자에 Vcc 단에는 배터리 전원을 받는다. 즉, 장비를

미사용하더라도 OFF STATE 상에서 $I_{LEAK} = 150\mu A$ 의 누설전류가 발생한다. 마지막으로 Fig. 11회로는 배터리 셀 센싱을 위한 IC 소스원으로 사용되며 이 또한 Fig. 9와 동일한 포토커플러를 사용하고 이 소자의 부하단에 배터리 셀 전원이 연결되어있으므로 $I_{LEAK} = 1\mu A$ (Ambient Temperature at 25°C)의 누설전류가 발생한다.

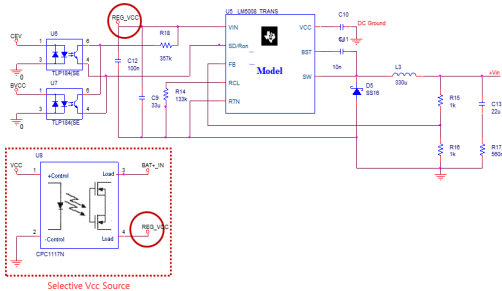


Fig. 12. Improved DC regulator with Selective VCC source circuit

따라서 감시보드 자체에서 $152\mu A$ 의 누설전류가 식별됨을 확인하게 되었고 이전 배터리 셀 자가방전을 분석 시 5%/Month 기준으로 산출된 누설전류를 바탕으로 비교분석한 결과 Fig. 10의 회로에서 발생하는 누설전류를 감소하는 회로 개선이 필요하다고 판단하였다. 해당문제를 해소 하기위해 DC regulator IC의 VCC에 상시로 연결되어있는 배터리 전원과 분리가 필요하다. 따라서, Fig. 12와 같이 Selective VCC source circuit를 추가로 구성하여 선택적으로 DC Regulator에 배터리 전원을 공급함에 따라, OFF STATE 시 DC Regulator에 연결되는 VCC와 배터리 전원 간 사실상 개방회로가 된다. 이 회로를 구성하기 위해 기존에 Fig. 9에 적용되어있는 포토커플러를 적용하여 구성하였으므로 최종적으로 Fig. 10회로의 누설전류는 $150\mu A$ 에서 $1\mu A$ 로 기존대비 약98% 감소함을 확인하였다.

2.3.2 BMS - 제어보드

제어보드 역시 BMS 기능을 위해 필요한 구성품으로써 배터리 전압 측정, 분압 및 분배 기능 등을 포함한다. 제어보드 내에서도 OFF STATE 시 상시로 누설전류가 발생하는 회로를 확인한 결과 배터리 전압 감지, 배터리 상태 감시, 배터리 충/방전회로 이 3포인트를 식별하였다. 첫 번째 Fig. 13의 회로는 배터리 전압을 측정하는

회로로써 입력노드에는 배터리 셀 전압이 TI사의 전압팔로워에 연결되어있다. 이 소자의 출력부는 MCU의 관련 라인과 연결되어 감지하는 형태로 구성하였다.

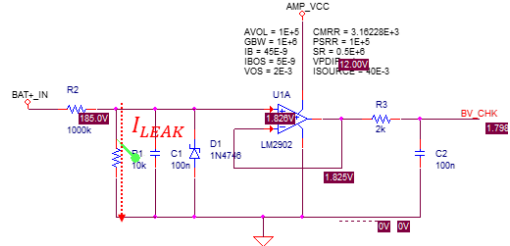


Fig. 13. Battery voltage detector

이는 데이터시트와 별개로 LM2902소자의 입력부하 임피던스와 배터리 셀 전압을 감지하는 비반전단자를 바라보는 출력소스임피던스의 영향에 따라 DC Ground로 누설되는 전류를 확인하여야 함에 따라 시뮬레이션을 진행하였다.

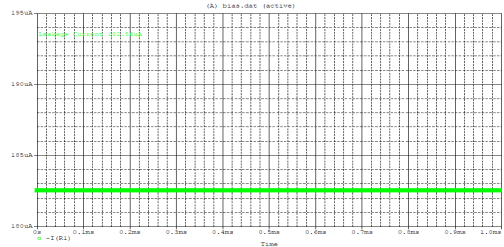


Fig. 14. Leakage current of Battery voltage detector

시뮬레이션 결과 Fig. 14와 같이 DC Ground로 누설되는 누설전류 값은 약 $182.56\mu A$ 가 발생하는 것을 확인하였다.

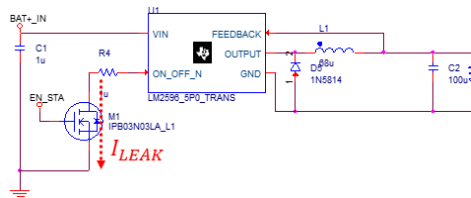


Fig. 15. Test Switch circuit of Battery status

두 번째 Fig. 15의 회로는 배터리 상태를 점검하기 위한 회로로써 이 회로에 적용되는 소자는 TI사의 Step-Down Voltage Regulator Converter가 사용되었으며 의

ON_OFF_N노드에 선택적 제어를 통해 전원을 공급하는 형태로 구성된다. 즉, 이러한 선택적 공급을 위해 연결되어있는 FET 소자의 Drain 노드에 연결되어있는 부분이 배터리 전원과 상시로 연결되어있는 루프가 됨에 따라 OFF STATE 시 누설전류가 약 $1\mu A$ 임을 확인하였다.

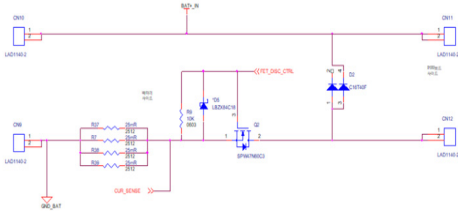


Fig. 16. Battery Charging/Discharging circuit

마지막으로 Fig. 16의 회로는 배터리 충/방전 메인회로로써 방전 시 Turn-on되는 스위칭 소자인 FET가 OFF STATE 상에서 누설전류가 $25\mu A$ 임을 확인하였다. 제어보드 내 검토한 회로 중 감시보드 분석 케이스를 고려하여 개선이 필요한 부분을 정리해보면 Fig. 13의 배터리 전압 감시 회로에 대해 조치가 필요함을 식별하였다.

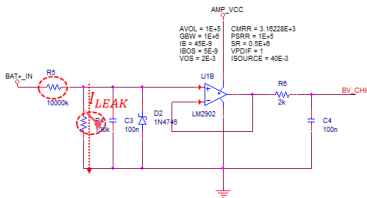


Fig. 17. Improved circuit of Battery voltage detector

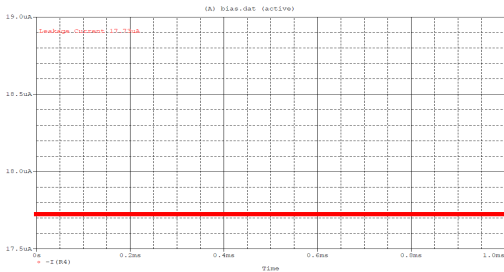


Fig. 18. Reduced leakage current of Battery voltage detector

Fig. 17과 같이 전압팔로워의 비반전단자 출력소스임 피턴스의 값 개선을 통해 Fig. 18과 같이 기존

$182.56\mu A$ 에서 $17.73\mu A$ 로 개선하여 누설전류를 약 90% 감소시키는 회로를 구현하였다. 결과적으로 감시 및 제어보드 각 1부분의 회로 개선안을 적용하여 기존 대비 누설전류를 각 99.3%, 90.3% 감소시켰다. 해당 결과를 토대로 실물을 제작하여 실질적인 개선여부를 확인 및 내환경성 검증을 진행하였다.

2.4 제작 및 내환경성 시험

장비에 노출되는 환경을 고려하여 신뢰성을 검증하기 위해 신규로 제작된 실물을 통해 누설전류 개선여부와 사전기능점검을 수행하였다. 주요 측정장비 및 환경구성은 Table 3과 같다.

Table 3. Measurement device detail

function	device detail		
	device	company/ part num.	Performance
Leakage current measurement	Current meter	Fluke/287	$0.01\mu A \sim 10A$
Environment resistance test	Temperature chamber	Daejin eng/ DJ.001	$-70^{\circ}C \sim +80^{\circ}C$ 95%RH
	DC load	Smtechno/ SEL-200NS	-
	AC load	Developed	-

첫 번째 점검은 감시보드 내 DC Regulator 회로의 누설전류 감소를 위해 Selective VCC source circuit 를 반영한 실물을 Fig. 19와 같이 제작하였다.



Fig. 19. Improved Selective VCC source circuit in Monitoring board



Fig. 20. Measured result of leakage current about Improved point in Monitoring board

해당 회로의 개선여부 확인을 위해 기존제품과 변경사항이 반영된 제품을 측정해본 결과 Fig. 20과 같이 $101.28\mu A$ 에서 $0.02\mu A$ 로 약 99% 누설전류가 감소함을 확인할 수 있었다.



Fig. 21. Improved Battery voltage detector in control board

두 번째는 제어보드 내 Battery voltage detector의 누설전류를 감소시키기 위해 회로 내 출력소스임피던스를 수정하였으며 이를 Fig. 21과 같이 실제로 제작하였다. 이를 시뮬레이션 값과 비교하기 위해 기존제품과 실제 제품의 개선포인트를 측정한 결과는 Fig. 22와 같이 $186.91\mu A$ 에서 $19.14\mu A$ 로 약 90% 개선되었음을 확인할 수 있었다.



Fig. 22. Measured result of leakage current about Improved point in control board

따라서 시뮬레이션 값과 개선품을 실제제작하여 누설전류를 측정된 값을 비교한 결과를 요약하면 Table 4와 같이 대부분 근사한 값을 확인하였으므로 회로 측면에서 개선됨을 확인하였다. 이 결과를 토대로 공식 배포된 기능시험절차서에 따라 사전점검까지 완료한 다음 내환경성 시험을 진행하였다. 내환경성 시험은 기본적으로 장비 개발 시 장착되는 장비가 노출되는 환경, 제품 특성 등을 고려하여 온도, 습도, 충격 등의 항목에 대해 MIL-STD-810G, MIL-S-901D등과 같은 규격에 따라 인증시험을 진행한다.

Table 4. Compare simulation with measurement result

Group		Comparison result		
		As-Is	To-Be	Reduced Rate
Monitoring Board	simulation	$150\mu A$	$1\mu A$	99.3%
	measurement	$101.28\mu A$	$0.02\mu A$	99.9%
Control Board	simulation	$182.48\mu A$	$17.8\mu A$	90.3%
	measurement	$186.91\mu A$	$19.14\mu A$	89.8%

하지만 해당제품은 1차적으로 개발이 완료된 제품으로써 양산 시 적용되는 환경조건을 기준으로 하였다. 양산 시 적용하는 기준은 제조사에 정식 배포된 초기고장배제시험절차서를 기준으로 하며 이는 MIL-HDBK-2024A, MIL-HDBK-344A를 따른다[2]. 또한 UPS 단독으로만 시험함에 따라 Tailoring된 온도조건을 적용하여 Fig. 23과 같이 시험을 진행하였다.

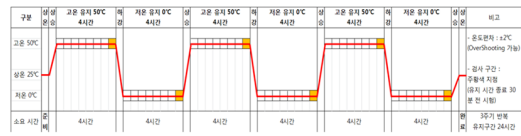


Fig. 23. Test (Hi/Low)Temperature Condition Graph (From 0°C to 50°C, 3 Period = 24 Hour)

시험조건은 24시간 동안 고온 50°C 저온 0°C를 각 4시간씩 3주기를 반복하며 환경에 노출시킨다. 이러한 노출된 환경에서 정상적으로 동작하는지 확인하는 절차는 3가지타입으로 나뉜다. 첫 번째는 사전시험으로써 시험 전 장비 이상 유무를 확인 및 기준을 수립하기 위함이고, 두 번째는 운용시험으로써 고온과 저온 노출 시 4시간씩 유지되는 구간별로 종료 30분전에 확인해야 할 기능을 체크한다. 마지막으로 사후시험으로써 노출된 환경에서도 사전에 체크한 것과 같이 동일하게 동작하는지 확인함으로써 문제여부를 확인하게 된다. 실제 제작한 개선품을 내환경성 검증을 위한 시험구성은 Fig. 24와 같다.

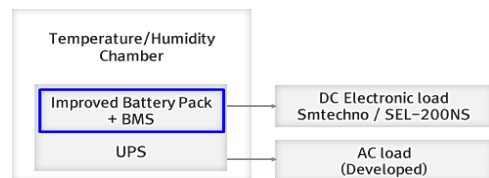


Fig. 24. Environment Test configuration of Improved Battery pack, BMS in UPS

챔버 외부에 Fig. 25와 같이 DC 및 AC Load를 설치하고 이와 연결한 개선된 배터리가 장착된 UPS는 Fig. 26과 같이 설치하여 진행하였으며, 내환경성 테스트 3주기를 진행한 결과 기능시험 결과를 모두 충족하였다.

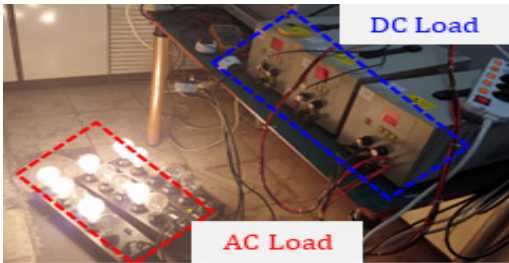


Fig. 25. ups test configuration of external temperature chamber

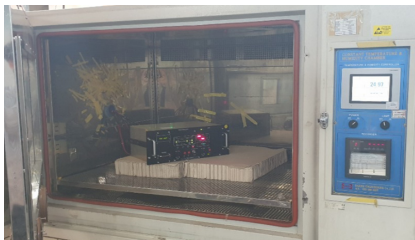


Fig. 26. Installation Test Item in Temperature Chamber

최종적으로 내환경성검증까지 완료됨에 따라, Table 5와 같이 개선품을 실 장비 적용을 위해 개선방안별 기존 대비 동등이상임을 입증하였으며 이후 에이징 시험 진행, 운용교범 최신화, 보호기능이 반영된 펌웨어 동작 유무 등을 최종적으로 확인하여 함형별로 반영하여 정상 운용 및 기존 대비 개선된 안전성이 반영된 제품을 실 운용 가능하게 되었습니다.

Table 5. Final test report of improved system

improvement factor	comparison result		
	As-Is	To-Be	Final result
selection of battery cell	selected optimized cell	selected optimized cell	equivalence above existing
leakage current Monitoring board Control board	101.28 μ A	0.02 μ A	
	186.91 μ A	19.14 μ A	
Environment resistance	Verification completed	Verification completed	

3. 결론

본 논문에서는 다수의 함형 내 CFCS에 적용 중인 UPS에서 운용방식에 따라 장기간 방지로 인해 배터리 성능저하 및 과방전 후 재충전으로 인해 발생가능한 안전성 문제를 식별하였으며 검증을 위해 제안한 개선방안 3가지를 통해 동등이상 개선품 임을 검증 및 안전성이 강화된 실 장비를 개선 완료하는 성과를 얻었다. 개선방안 1은 배터리 비교 분석이며 정격용량과 C-rate 등 다수의 요소를 비교한 결과 3가지 제품군 모두 적용 가능한 제품으로 식별하였고, BMS 회로 개선을 위해 보관 시 발생하는 누설전류의 크기를 5%/Month 기준으로 산출하였다. 개선방안 2는 이 수치를 근거하여 BMS 회로 내에서 문제가 예상되는 부분을 회로개선 및 시뮬레이션을 진행하였고, 개선방안 3은 개선방안 1, 2의 결과를 반영한 실 제품을 제작하여 실측값 검증 및 사전기능점검을 완료한 후 내환경성(고온/저온) 시험을 진행하여 제품이 정상 동작 및 동등 이상임을 검증하였다. 이를 토대로 에이징 시험 및 기타 보호기능 동작유무까지 확인완료 후 기술변경을 통해 관련 함정에 일괄 반영함에 따라 사용자가 한층 더 안정화된 장비를 사용할 수 있는 성과를 얻었다. 향후에는 동일한 환경, 운용 특성이 요구되는 분야에 지속적으로 개선활동을 진행하여 제품의 안전성과 신뢰성을 강화하는 계획을 수립 및 진행하고자 한다.

References

- [1] Sung-Who Kim, Han-Go Choi, "Improvement of Naval Combat System UPS under Abnormal Transients", *Journal of the Institute of Convergence Signal Processing*, Vol. 19, No. 3, pp.97-103, september 2018
- [2] Byung-Jun Kim, Jin-Sung Kim, "A Study on the Standard of ESS Requirement based on MIL-HDBK-344A", *Journal of the KIECS*, Vol.15, No.2, pp.335-342, April 2020
DOI: <https://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2020.15.2.335>

박 건 상(Gun-Sang Park)

[정회원]



- 2011년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부 (공학사)
- 2013년 2월 : 경북대학교 회로 및 임베디드시스템전공 (공학석사)
- 2014년 1월 ~ 2015년 6월 : 삼성탈레스 해양연구소 연구원
- 2015년 6월 ~ 현재 : 한화시스템 해양연구소 선임연구원

<관심분야>

전원회로, 메모리 셀

김 재 윤(Jae-Yun Kim)

[정회원]



- 2012년 2월 : 영남대학교 전기공학과 (공학사)
- 2012년 1월 ~ 2013년 5월 : 쌍용건설 플랜트설계부 사원
- 2013년 7월 ~ 2020년 7월 : 현대중공업 특수선사업부 대리
- 2020년 7월 ~ 현재 : 한화시스템 해양연구소 전문연구원

<관심분야>

전장설계, 환경제어

김 동 규(Dong-Gyu Kim)

[정회원]



- 2014년 2월 : 한국해양대학교 전기전자공학부 (공학사)
- 2014년 1월 ~ 19년 9월 : 대우조선해양 해양전장설계 대리
- 2019년 10월 ~ 현재 : 한화시스템 해양연구소 선임연구원

<관심분야>

구조설계, 전자회로