

http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2024.10.5.651

JCCT 2024-9-76

과학화경계시스템 UPS 축전지 교체주기 실증연구

An Empirical Study on Battery Replacement Cycle for UPS of Scientific Boundary System

김 용*, 김대웅**

Yong Kim*, Dae Woong Kim**

요약 과학화경계시스템은 시스템별로 다양한 고장 영향요인이 있다. 이중 축전지와 같은 구성품은 화학적 변화율 등 영향요인이 타 구성품과 비교 시 유동적인 성향을 갖고 있어 데이터 수집과 관리의 어려움이 있는 편이다. 이에 따라 본 연구는 과학화경계시스템에 대한 사단급 4개 부대를 대상으로 최근 3개년간 UPS(Uninterruptible Power Supply, 무정전 전원공급장치) 축전지의 성능 추이를 수집하였다. 이를 통해 현재 설정된 축전지의 3.5년 교체주기에 관한 적절 여부를 실증, 연구하였다.

주요어 : 과학화경계시스템, 지원시스템, 축전지, 무정전전원공급기

Abstract Scientific boundary systems have various factors influencing failure for each system. Among them, components such as storage batteries tend to have fluid tendencies compared to other components due to influencing factors such as chemical change rates, which makes it difficult to collect and manage data. Accordingly, this study collected the performance trends of UPS(Uninterruptible Power Supply) batteries for the last three years, targeting four divisional units for the scientific boundary system. Through this, the appropriateness of the currently set 3.5-year replacement cycle was demonstrated and studied.

Key words : scientific boundary system, support system, battery, UPS(Uninterruptible Power Supply)

1. 서론

2013년 이후 전력화된 과학화경계시스템은 Figure 1과 같이 근거리·중거리 카메라를 활용한 감시시스템, GOP 정책에 설치된 광망의 센서를 활용한 감지시스템과 감시·감지시스템과 연동된 통제프로그램을 활용한 통제시스템, 비상시 전원을 공급하는 지원시스템 등으로 구성되어 있다.[1]

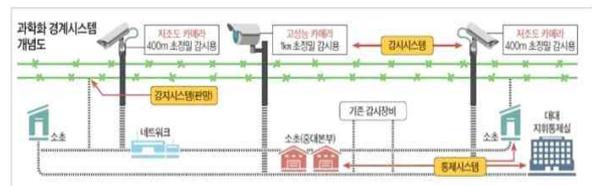


그림 1. 과학화경계시스템 구조

Figure 1. Construction of a scientific boundary system[1]

*정회원, 육군 제2672부대 장비정비과장 (제1저자, 교신저자)
**정회원, 육군 제2672부대 통신장비담당 (공동저자)
접수일: 2024년 6월 15일, 수정완료일: 2024년 7월 12일
게재확정일: 2024년 9월 5일

Received: June 15, 2024 / Revised: July 12, 2024
Accepted: September 5, 2024
**Corresponding Author: jitong7@naver.com
2672nd Army Unit, Korea

그러나 축전지와 같은 구성품은 화학적 변화율 등 영향요인이 타 구성품과 비교 시 유동적인 성향을 갖고 있어 데이터 수집과 관리의 어려움이 있다.[1][2][3]

표 1. 과학화경계시스템 수집데이터
Table 1. Data collected by scientific boundary system[3]

category	Data collection target	Factors influencing failure
Surveillance System	cameras maintenance-data	Device defects, aging
Sensing System	a vast expanse of light maintenance-data	Weathe, environmental, Animal, aging, instrument failure Device defects
Control System	Control PC maintenance-data	Device defects, aging
Support System	UPS and generators maintenance-data	Device defects, aging, environmental factors, battery charge rate

이에 따라 본 연구는 과학화경계시스템에 대한 사단급 4개 부대를 대상으로 최근 3개년간 지원시스템의 핵심인 UPS(무정전 전원공급장치) 축전지의 성능 추이를 수집하였다.

이를 통해 UPS 축전지의 성능 변화를 확인하였고, 현재 기술교범에 설정된 3.5년 교체주기에 관한 적절 여부를 실증, 연구하였다.[2][3]

본 연구의 진행은 Table 2와 같다.

표 2. 연구의 진행
Table 2. Framework for Research Progress

① Overview: Research background
② System Understanding and Prior Studies
• Understanding the system
• Research on prior research in related fields
③ Demonstrate UPS storage battery replacement cycle
• Understand support system conFigureuration & principles
• Support system data collection & analysis
• Demonstrate UPS storage battery replacement cycle
④ Summary of research results

II. 시스템 이해 및 선행연구 조사

1. 시스템 이해

과학화경계시스템은 Figure 2와 같이 감시·감지·통제·지원시스템으로 구성되어 있다.[1]



그림 2. 과학화경계시스템 구성품
Figure 2. Scientific Boundary System Components

과학화경계시스템의 시스템별 특징을 살펴보면, 감시시스템은 근거리 카메라와 중거리 카메라로 구성되어 있다. 근거리 카메라는 철책 주변 고정 운용(필요할 때 운용자에 의한 수동 조작용이 가능)하고 탐지거리는 주간 500m, 야간 200m(적외선투광기)의 성능을 갖고 있다. 중거리 카메라는 주요침투로 및 선정된 취약지역 회전감시를 하는 역할로 탐지거리는 주간 1Km, 야간 400m(열상 카메라)의 성능을 갖고 있다.

감지시스템은 광망 센서를 활용하여 감지하는 것으로 감지시스템은 적 침투(철책 절단, 절곡, 굴토, 월책 등)를 감지하여 광신호의 변화를 통제시스템으로 전송하는 시스템이다. 감지 센서 부는 광망, 월책 방지 브라켓, 상단 감지 유발기, 광신호를 송수신하는 감지 컨트롤러, 운용 SW 등으로 구성되어 있다.

통제시스템은 소초, 중대, 대대 상황실로 구분되고 소초용은 중대 상황실을 통해 정보 메시지 정보 수신 모니터링을 하고, 중대용은 감시·감지시스템을 통해 획득정보 자동수신 및 통합 관리(원격운용)한다. 대대용은 관리 서버를 통한 시간 동기화 및 백신, 보안 SW 업데이트 등의 특성이 있다.

본 연구의 핵심내용인 지원시스템은 과학화경계시스

템의 24시간 안정적인 전원을 공급하기 위한 UPS와 비상 발전기로 구성되어 있다. 특히, UPS는 일반 및 예비 전원을 사용할 때 정전이 발생하면 안정적인 전원을 공급해주는 장치로 과학화경계시스템의 24시간 안정적인 전원 공급을 위하여 설치 운용 중이며, 약 30분 내외의 전원 공급이 가능하도록 성능을 요구하고 있다.

2. 선행연구 조사

과학화경계시스템에 대한 연구는 2019년 이후 실시됨을 확인하였다. 주요연구를 확인한 결과 문승진 외1(2019)은 다중 복합센서를 이용한 과학화경계시스템 설계 및 테스트 베드를 통한 성능 고찰 방안을 연구하였다.[4] 박태웅 외2(2020)는 지휘관 및 참모 대상 설문 조사결과를 중심으로 GOP 과학화 경계시스템에 대한 개선 방안을 연구하였다.[5] 신의수 외3(2021)은 육군 차세대경계시스템의 효율적 운용방안을 위한 필수 도입요소에 관하여 연구하였다.[6] 문미남 외3(2022)은 AHP를 활용한 레이더 기반 AI 과학화경계시스템 효과 분석을 연구하였다.[7] 이원재 외1(2022)은 이미지 데이터를 활용한 과학화경계시스템 고도화를 연구하였다.[8] 권영호 외5(2023.5.)는 군사혁신 3요소를 적용한 과학화 경계시스템 발전 방향을 연구하였다.[9] 김태호 외4(2023)는 GOP과학화경계시스템의 성공 요인에 관한 탐색 연구를 하였다.[10] 이처럼 과학화경계시스템으로 한정된 선행연구를 조사결과 주로 일반적인 운용개념과 관련된 개선 방안을 중심으로 연구되었다.

다음으로 본 연구의 주제인 축전지 교체주기와 관련한 선행연구를 확인하였다. 서철식 외4(2008)는 UPS 용량축전지를 위한 축전지 관리시스템을 연구하였다. 연구에서는 무정전 전원시스템에 사용되는 납축전지의 잔존용량을 추정하는 알고리즘을 제안 하였다.[11] 박건상 외3(2021)은 지휘 무장 통제체계용 UPS 축전지 안전성 확보 방안을 연구하였다. 연구에서는 지휘무장 통제체계에 적합한 UPS 개선을 위한 축전지 비교분석, 누설전류 분석, 내 환경성 시험을 기초로 시스템을 검증하였다.[12] 남중하 외4 (2004)는 무정전 전원공급장치용 온라인 축전지 관리시스템 개발에 관한 연구를 하였다. 연구에서는 정전으로 인한 방전 시에 내부저항과 개별 셀의 용량을 계산하고 교체 시기를 결정할 수 있도록 실험을 통해 타당성을 확인하였다.[13]

이처럼 본 연구에 중점이 되는 축전지 수명예측과

관련한 다양한 연구가 진행되었음을 확인하였다. 그러나 군의 과학화경계시스템과 민(民)의 운용환경을 동일하게 적용하는 것은 제한이 된다. 즉, 과학화경계시스템이 실제 운용되는 가혹환경과 기상적 영향요인의 차이 때문이다.[3] 이에 따라 본 연구는 군의 사단급 4개 부대의 3개년간 UPS 축전지의 충전율에 대한 데이터를 측정, 수집하여 확인하였고, 환경요인을 고려한 축전지의 교체주기를 실증하였다.[2][3]

III. 지원시스템 UPS 축전지 교체 주기 실증연구

1. 지원시스템 UPS 이해[1]

과학화경계시스템의 지원시스템은 UPS, 발전기 등으로 구성되어 있다. 과학화경계시스템은 평상시 외부 전원을 이용하지만, 정전 시 등 응급 상황 발생 시에는 UPS 내부에 충전된 축전지를 활용하여 전력을 공급한다. 즉, UPS는 비상시 과학화경계시스템에 적정시간의 전원 공급이 가능토록 성능을 요구하고 있다. UPS와 축전지의 형상은 Figure 3과 같다.



그림 3. UPS 및 축전지 형상
 Figure 3. UPS and Battery geometry(example)

UPS의 구성은 Figure 4와 같이 정류기, 축전지, 동기 절체 스위치, 유지보수 스위치, 자동 전압 조정기 등으로 구성되어 있다.

정류기는 AC 전원을 DC로 변환하여 축전지와 인버터에 전력을 공급하는 역할을 한다. 반면, 인버터는 변환된 DC 전원을 다시 안정된 AC로 변환하여 부하에 공급하는 기능을 한다. 축전지는 평상시에 정류기에서 받은 DC 전력을 모아뒀다가 정전 시 혹은 정류기의 고장 시 부하에 전력을 공급하는 기능을 수행한다. 과학화경계시스템의 UPS 용 축전지는 UPS 용량(용량 크기에 따라 일반적으로 소형 I, 소형II, 중형, 대형 등 4가지로 구분)에 따라 셀의 크기가 다르나 일반적으로 UPS 1대당 16개 셀로 구성되어 있다. 동기 절체 스위치는

부하에 공급하는 전원을 끊김 없이 전달 해준다. 즉, UPS 시스템 내부 고장 시 상용전원으로 Bypass(어느 지점을 통과하여야 하지만, 여러 신호 또는 물리량으로 통과가 어려우면 별도의 우회 길을 만들어 사용하는 것) 하고, 고장 복구 후에는 다시 UPS 선로 측으로 선로를 변경하는 역할을 한다. 유지보수 스위치는 UPS의 인위적인 유지보수 및 점검이 필요할 때 상용전원에 Bypass 하는 기능을 한다. 자동 전압 조정기는 $\pm 15\%$ 이상의 불안정한 전압 변동을 $\pm 2\%$ 로 일정하게 출력하며 정전압이 요구되는 고가 장비에 사용되며, 상용전원 사용 시 고품질의 전력을 부하에 입력해 주기 위한 장비이다. UPS 축전지는 Figure 5와 같이 비상 상황이 발생하지 않으면 사용되지 않고, 충전된 상태로 유지하며 자연 방전이 된다.

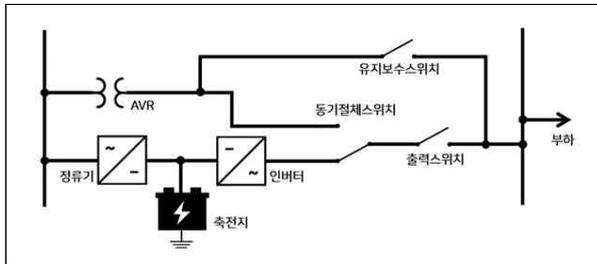


그림 4. UPS 구성과 원리
Figure 4. UPS Key Components and Roles[1]

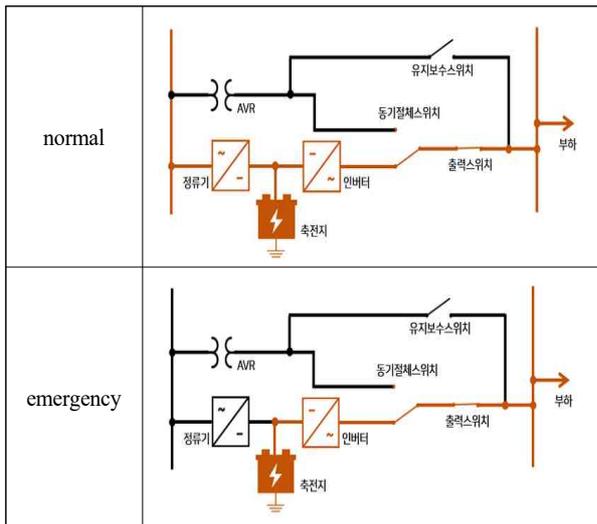


그림 5. UPS 축전지의 작동 및 충/방전 시스템
Figure 5. Operation and charging/discharging of the scientific boundary system UPS[1]

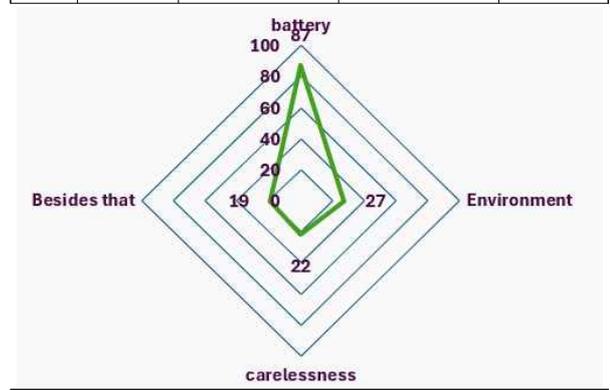
2. 지원시스템 데이터 수집, 분석[3]

2021~2023년 기준 4개 부대를 대상으로 지원시스템에 대한 고장·정비데이터를 분석해 본 결과 지원시스템에 대한 다빈도 고장품목은 UPS 축전지에서 다수 발생하였다.

2021~2023년 기준 3개년간 고장 및 정비데이터는 Table 3과 같이 총 154건이었다.

표 3. 지원시스템 고장 및 정비데이터
Table 3. Support system failure and maintenance data status

total	battery	Environment	carelessness	Besides that
154	87 (56.5%)	27 (17.5%)	22 (14.3%)	19 (11.7%)



발생 순위는 축전지 불량 87건(56.5%) > 환경요인(저장 환경에 따른 먼지, 이물질, 습기 등에 의한 환경요소가 주원인으로 확인) 27건(17.5%) > 부주의 22건(14.3%) > 기타 19건(11.7%) 순으로 확인되었다.

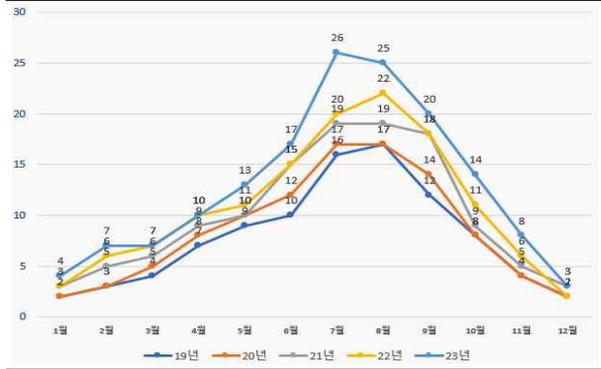
Table 4는 2019년부터 2023년까지 과학화계시스템 UPS의 5년간 고장 추이를 분석한 결과로 주로 구성품의 수명으로 매년 고장은 증가하였다. 또한, 고장이 많이 발생하는 시기는 7~9월의 하절기로 분석이 되었다. 이것은 해당 시기에 장마로 인한 집중호우와 낙뢰 등 계절적, 기상적 원인에 의한 것으로 해당 시기에 고장이 다수 발생하였다.(이중 최근 3년 추이는 2021년 120건, 2022년 131건, 2023년 154건으로 지속 증가) 이에 관련 장비의 안정적 운용을 위해서는 4~6월에 정밀 점검과 대비가 필요함을 확인할 수가 있었다.

Table 3, 4를 통해 확인된 데이터를 종합해보면 UPS의 고장 유형(사례)과 년도 별 UPS의 점진적 고장증가 추세를 종합해 볼 때 축전지의 성능 변화가 고장의 주원인이며 동시에 UPS 성능에 많은 영향을 준다는 상관관계를 도출할 수 있었다.

표 4. UPS 고장 트렌드(요약)

Table 4. UPS Failure Trends(summary)[3]

category	2019	2020	2021	2022	2023
1months	2	2	3	3	4
2months	3	3	5	6	7
3months	4	5	6	7	7
4months	7	8	9	10	10
5months	9	10	10	11	13
6months	10	12	15	15	17
7months	16	17	19	20	26
8months	17	17	19	22	25
9months	12	14	17	18	20
10months	8	8	9	11	14
11months	4	4	5	6	8
12months	2	2	3	2	3
total	94	102	120	131	154



이에 따라 축전지 성능 변화를 고려한 주기적인 점검과 교체가 필요한바 고장·정비데이터, 축전지 충전율 변화 등을 기초로 현 3.5년 교체지침의 확인이 필요하다. 즉, UPS의 고장 다빈도를 차지하고 있는 축전지의 성능 변화에 관한 관계 분석이 요구된다.

3. UPS 축전지 교체주기 실증[3]

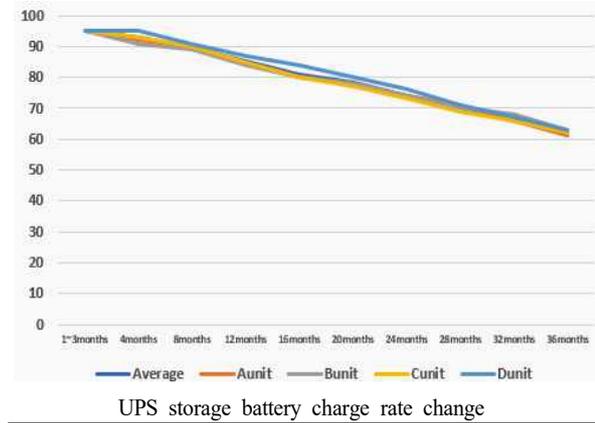
과학화경계시스템의 UPS 용 축전지 Cycle 확인을 위해 4개 부대에 배치된 UPS 377대(소형 342대, 중형 11대, 대형 24대)를 대상으로 확인하였다.

Table 5는 4개 부대에서 운용 중인 UPS 377대의 축전지(2018년 6월 교체)를 대상으로 측정한 충전율의 평균치 결과다. 최근 3개년간 축전지 충전율을 측정한 결과를 기초로 UPS 축전지의 수명 모형화를 제시할 수 있었다.

표 5. 축전지 충전율 측정결과

Table 5. Battery Charge Rate Measurement Results[3]

category	Average	A Div	B Div	C Div	D Div
1~3months	95	95	95	95	95
4months	92.75	92	91	93	95
8months	89.5	90	89	90	91
12months	85.25	85	84	85	87
16months	81	80	80	80	84
20months	78.25	78	78	77	80
24months	74.25	74	74	73	76
28months	70.25	71	70	69	71
32months	66.75	66	68	66	67
36months	62.25	61	63	62	63



과학화경계시스템 UPS의 축전지 Life-Cycle 모델은 Figure 6과 같이 약 3~4개월 주기로 조금씩 최대 충전량이 감소하는 노화 형태를 보였다. 이러한 충전을 패턴은 일반적인 "리튬-이온 축전지"의 저장 수명주기와 유사함을 확인할 수가 있었다.[2]

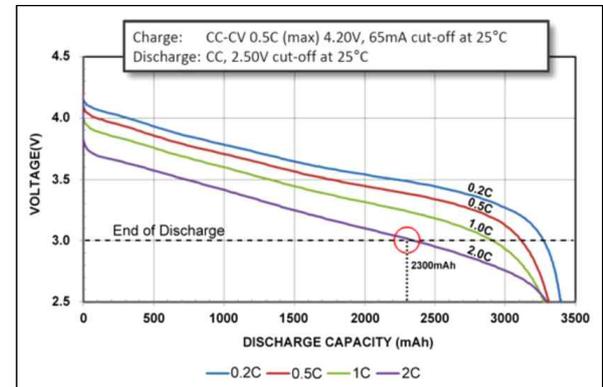


그림 6. 리튬-이온 축전지 저장수명
 Figure 6. lithium-ion storage battery Storage life cycle[2]

일반 “리튬-이온 축전지”의 저장수명은 “리튬-이온 축전지”의 물리적인 특성으로 인해 충전 후 사용하지 않고 그대로 두어도 조금씩 화학적 결정 구조가 파괴되어 사용 가능량이 줄어(노화)든다.

기존 선행연구(사단급 UAV UPS 용 축전지 교체주기 판단연구(육군본부, 2023.12월))를 살펴보면 100% 충전 후 25°C 환경에 보관 시 1년 후 약 20% 정도 감소되며, 최대 사용 가능량은 80% 수준으로 확인되었다.[2] 50% 충전 후 25°C 환경에 보관 시는 1년 후 약 4~5% 정도 감소하며, 최대 사용 가능량은 95% 수준이다.(Figure 7 참고) 일반적으로는 최대 충전 양이 60% 이하일 경우는 강제 폐기를 한다.

일반 “리튬-이온 축전지의 저장수명을 고려 시 UPS 축전지는 90% 충전 후 -10°C~30°C 환경에서 보관 운용하는 조건에서 3년 후 최대 사용 가능량은 80% 근방 혹은 이하로 예측이 된다.

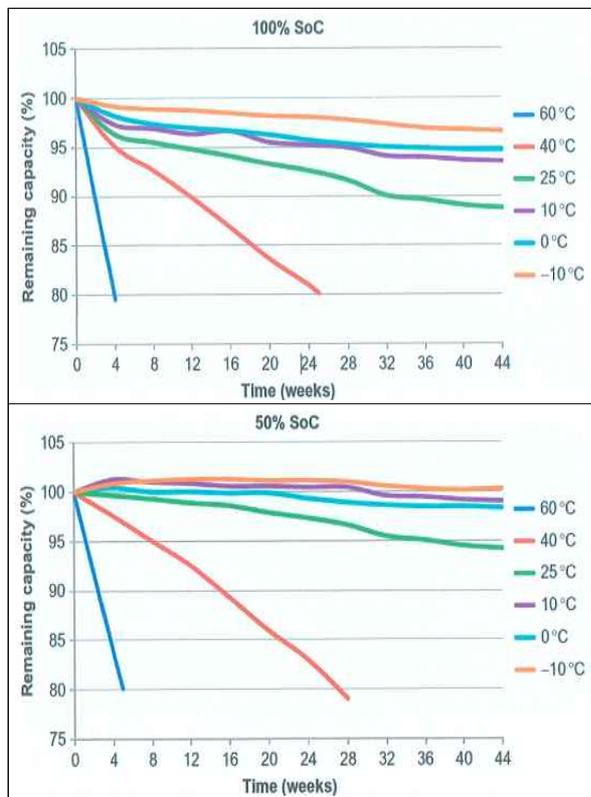


그림 7. 축전지의 평균 충전 속도 및 저장수명
Figure 7. Average charging rate and storage life of a normal battery[2]

이에 따라 UPS 축전지의 교체주기 3.5년 설정은 체계개발 시 충전과 방전을 반복하여 축전지를 사용할 경

우로 가정할 경우(1회 운용 시 1회 충·방전(1 cycle)을 기준으로 월 10회 운용(약 3년 사용 시 360 cycle)을 가정) 교체주기 연장 가능성 및 정비 가능 여부와 관련해서는 실제 운용은 충·방전(cycle)을 하지 않기 때문에 축전지의 순수 저장과 노화로 고려해야 한다.

또한, 과학화경계시스템의 UPS 축전지는 25°C에서 필수장비에 대해 30분을 가동할 수 있는 용량으로 설치됨에 따라 축전지 용량은 80%에서 20%가 소모된다. 3년 후에는 축전지 노화로 인해 최대 충전량이 80% 이하로 떨어질 때 필수장비에 대한 30분 내외의 전원 공급 요구도를 만족하지 못할 수도 있다.

이를 종합해보면 3~4개년간 UPS의 축전지 충전율 측정 데이터를 기초로 실증한 연구결과 과학화경계시스템의 지원시스템에서 고장 분포가 가장 많은 UPS 축전지와 관련해서는 현행 3.5년 주기의 교체주기 지침을 최우선으로 준수하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 단, 최소 3년이 도래한 UPS 축전지에 대해서는 전문 점검을 통한 정비를 수행하고 필요시에는 조기 교체를 수행해야 하겠다.

IV. 결 론

본 연구는 과학화경계시스템에 대한 사단급 4개 부대를 대상으로 최근 3개년간의 지원시스템에 대한 평균 고장 및 정비데이터를 수집하였다.

연구는 시스템별 고장을 미치는 영향요소가 기기결함 및 노후화, 기상, 환경, 동물 등과 같이 예측되는 고정적 요소가 아닌 화학적 변화율과 같은 유동적 영향요인이 많은 지원시스템의 고장 다빈도품목인 축전지에 대한 데이터를 측정, 수집, 분석하여 교체주기의 적절성을 실증 확인하였다. 실증을 통해 지원시스템의 주 구성품인 UPS의 점진적 고장 건수의 증가 추세와 고장사례에 따른 UPS에 성능적 영향을 주는 축전지의 성능 변화가 주요 고장 원인이라는 상관관계를 도출하였다. 이에 따라 UPS 축전지의 성능 변화를 고려한 주기적인 교체가 필요한바 고장 및 정비데이터, 축전지 충전율 변화 등을 기반으로 현 3.5년 주기 교체지침에 관한 실증을 하였다.

과학화경계시스템의 지원시스템용 UPS 축전지에 관한 실증결과 Life-Cycle 모델은 약 3~4개월 주기로 조금씩 최대 충전량이 감소하는 노화 형태를 보였다. 이

러한 충전을 패턴은 일반적인 “리튬-이온 축전지”의 저장 수명주기와 유사함을 확인하였다. 이를 통해 과학화 경계시스템의 지원시스템은 고장 분포가 가장 많은 UPS 용 축전지와 관련해 3.5년 교체주기를 최우선으로 준수하고 3년 도래 시부터는 정밀한 점검과 확인이 병행되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 향후 과학화경계시스템의 지원시스템 분야의 축전지 운용과 성능개량 시 참고가 되길 기대한다. 향후 연구 시에는 다양한 군사용 장비에 활용 중인 축전지의 교체주기에 대한 실증이 필요하고, 실시간 축전지의 성능 변화를 확인할 수 있는 신기술의 적용과 축전지의 화학적 변화율(충전율)에 대한 체계적인 데이터 수집 방안 등의 연구가 필요하겠다. 또한, 주요 부품 중 축전지와 같은 주기성 교환 품목에 대해서는 수명주기 기간의 운용유지비 등 경제성과 효율성 측면에서 데이터에 기반한 교환주기의 적절성을 재평가하는 추가 연구가 필요하겠다.

References

- [1] Army Headquarters, “Scientific Boundary System Education Materials”, 2023.12.
- [2] Army Headquarters, “Study on Division-level UAV UPS Replacement Cycle”, 2023.12.
- [3] OGrops, “2019-2023 Analysis of Scientific Boundary System Failure and Maintenance Data”, 2019-2024.1.
- [4] Moon Seung-jin et al. 1, “Designing a scientific boundary system using multiple complex sensors and reviewing its performance through a test bed”, *Journal of the Korean Communications Society*, Vol. 44, No. 1, pp. 148-157, 2022. <http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.7840/kics.2019.44.1.148>
- [5] Park Tae-woong et al., 2, “Evaluation and Improvement Measures for GOP Scientific Boundary System: Based on the Results of Surveys for Commanders and Staff”, *Journal of the Korean Academy of Defense Management Analysis*, No. 2, pp. 57-72, 2020.
- [6] Shin Eui-soo et al., 3, “Study on the Efficient Operation of the Army’s Next Generation Boundary System”, *Korean Military Studies*, Vol. 77, No. 2, pp. 334-362, 2021. <http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.31066/kjmas.2021.77.2.013>
- [7] Moon Min-nam et al., 3, “Efficacy analysis for the Radar-based Artificial Intelligence (AI) Scientific Guard System based on AHP”, *Convergence security journal*, Vol. 22, No. 5, pp. 135-143, 2022. <https://doi.org/10.33778/kcsa.2022.22.5.135>
- [8] Lee Won-jae et al., 1, “Study on Advanced Scientific Boundary System: Focusing on Image Data Analysis”, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 23, No. 6, pp. 144-150, 2022. <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2022.23.6.144>
- [9] Kwon Young-ho et al. 5, “Direction to Develop a Scientific Boundary System Applying 3 Elements of Military Innovation”, *JCCT* Vol. 9, No. 3, pp. 249-255, 2023.5.
- [10] Kim Tae-ho et al., 4, “Exploring Research on the Success Factors of the GOP Scientific Boundary System”, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 10, No. 10, pp. 610-623, 2023.
- [11] Seo Cheol-seok et al. 4, “The Battery Management System for UPS Lead-Acid Battery”, *Korean Society of Lighting and Electrical Equipmen*, Vol. 22, 6th edition, 20008.
- [12] Park Geon-sang et al., 3, “A Study on the application method of UPS’s Battery Safety for Battleship Command and Fire Control System”, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 22, No. 3, pp. 587-596, 2022.
- [13] Nam Jong-ha et al., 3, “Development of Online Battery Management System for Uninterruptible Power Supply”, *Power Electronics Congress Papers(2)*, pp. 830-833, July 1, 2004.