

기술로 미래를! 품질로 세계를!

DTaQ 국방기술품질원
Defense Agency for Technology and Quality

군용 리튬 1차 전지 초기전압지연 해소를 위한 활성화장치 개발



국방기술품질원 지휘정찰센터

조유습, 정길봉

목 차

I 배경 및 개요

II 초기전압지연현상 연구

III 초기전압지연현상 해소대책

IV 전지 활성장치 개발

V 향후 계획 및 결론

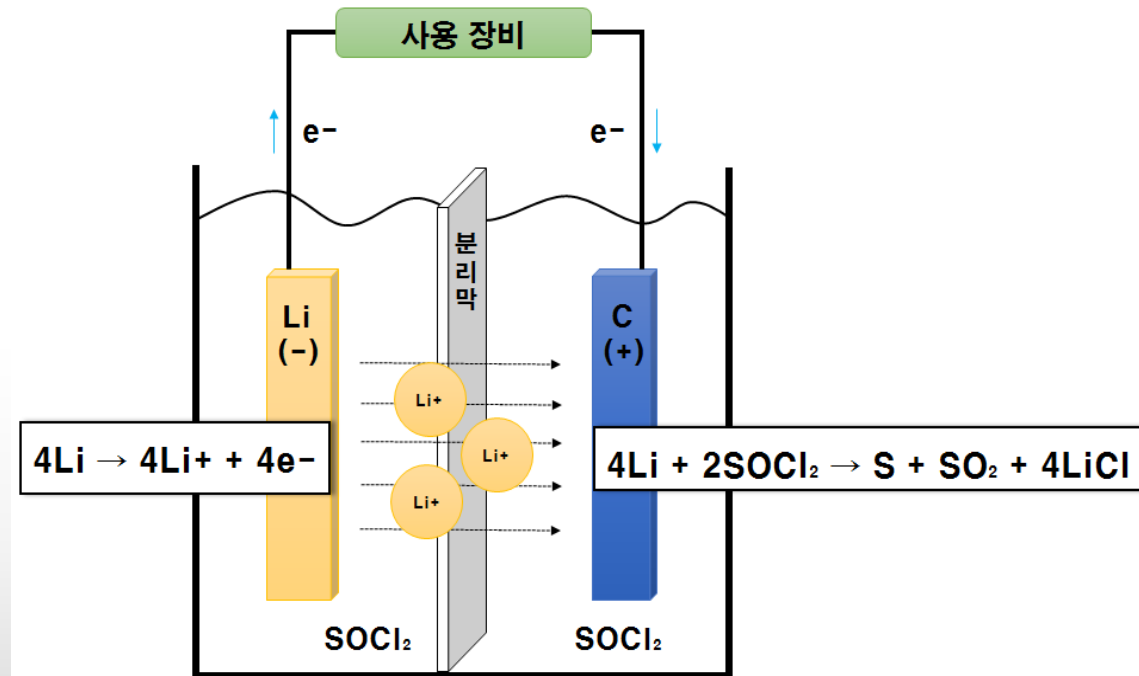
배경 및 개요



I. 배경 및 개요

● 군용 1차 리튬전지

▶ 군용 리튬전지 원리



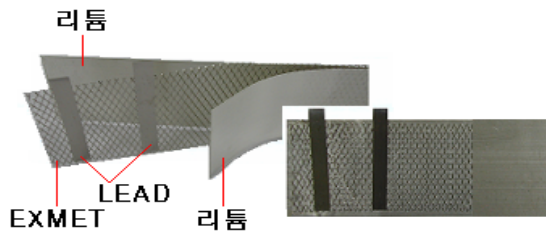
- 양극 : 유독성 전해액(염화황산) 및 탄소 집전체
- 음극 : 가볍고 반응성이 좋은 리튬

● 리튬 및 염화황산액의 반응을 통한 3.6V의 고전압 특성

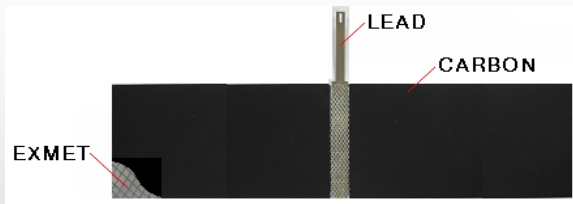
I. 배경 및 개요

● 군용 1차 리튬전지

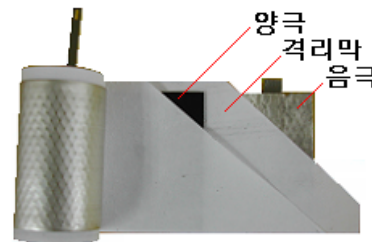
▶ 군용 리튬전지 구조 및 제조



음극
(구성품 : 리튬 + Exmet + Lead)



양극
(구성품 : Carbon + Exmet + Lead)



WINDING



Case 삽입



스텐레스 볼 용접
(활성화 된 전지)










Case 삽입

● 양극과 음극, 분리막을 둥글게 말아서 제조(반응면적 극대화로 고전류 가능)

I. 배경 및 개요

● 군용 1차 리튬전지

▶ 군용 리튬전지 종류 및 제원

구분	품명	17년 납품	단위전지		전압 (V)	적용장비	형상
			형태	구성			
1	BA-6853AK	129,297	D	4직렬	14.4	PRC-999K (FM무전기)	
2	BA-6821AK	8,778	D	9직렬	32.4	PRC-950K (AM무전기)	
3	BA-6818AK	12,067	D	4직렬	14.4	PRC-999K 및 ARF-95(암호장비)	
4	BA-6813AK	7,447	D	3직렬	10.8	ADU-95 (암호장비)	
5	BA-300K	1,648	D	8직렬 2병렬	28.4	SB-30K(교환기) TAS-815K(열영상장비)	
6	BA-6812K	2,764	D	2직렬	7.2	PAS-01K, 신궁야간조준경	
7	BA-6501K	-	D	1EA+ CAP	3.6	K11 복합소총용	

● 통신장비, 개인화기, 유도탄 조준경 등 널리 사용되고 있음

I. 배경 및 개요

● 군용 1차 리튬전지

▶ 군용 리튬전지 종류 및 제원

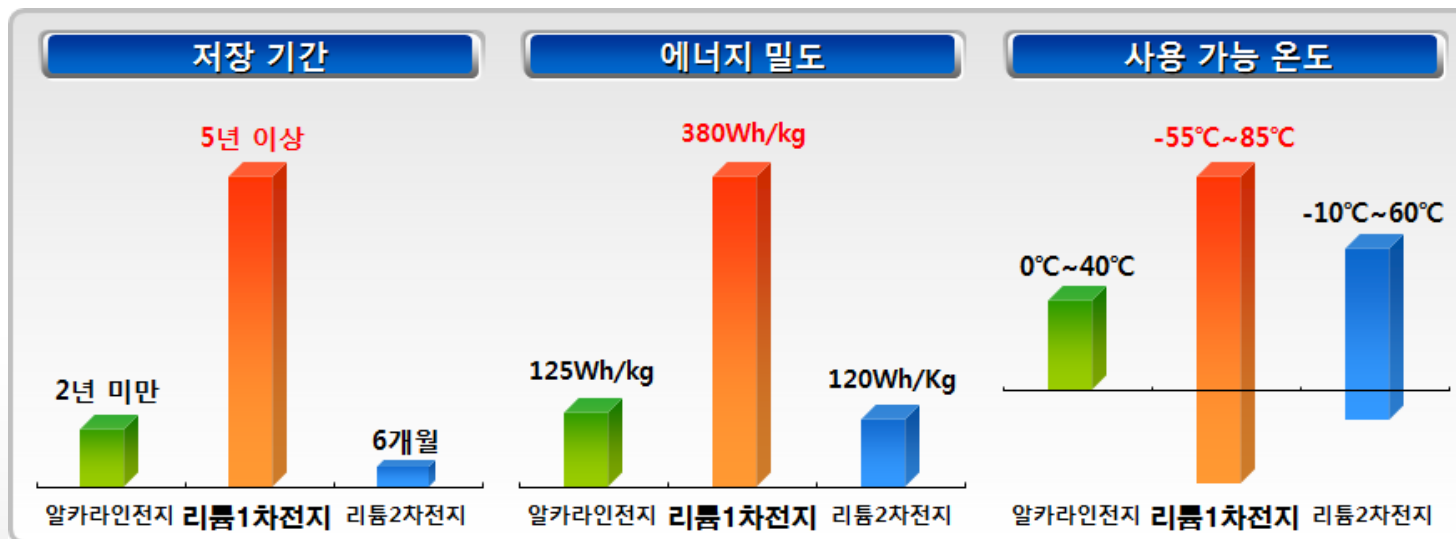
8	BA-6822AK	22,996	D	3직렬	10.8	회로지령탄약	
9	BA-6823AK		D	2직렬	7.2	회로지령탄약	
10	BA-6802K	1,269	D	2직렬	7.2	탐지장비세트, 화학작용제용	
11	BA-6863K	-	D	4직렬 2병렬	14.4	VRC-680AK	
12	BA-6085K	-	AA	4직렬	14.4	PRC-85K	
13	BA-6086K	132,125	AA	3직렬 2병렬	10.8	PRC-96K (소부대무전기)	
14	BA-6012K	828	AA	2직렬 2병렬	7.2	방사능측정기	
15	BA-6218K	1,046	AA	5직렬 2병렬	18.0	원격무선폭파장치	

● 통신장비, 개인화기, 유도탄 조준경 등 널리 사용되고 있음

I. 배경 및 개요

● 군용 1차 리튬전지

▶ 군용 리튬전지 개발 및 채택배경

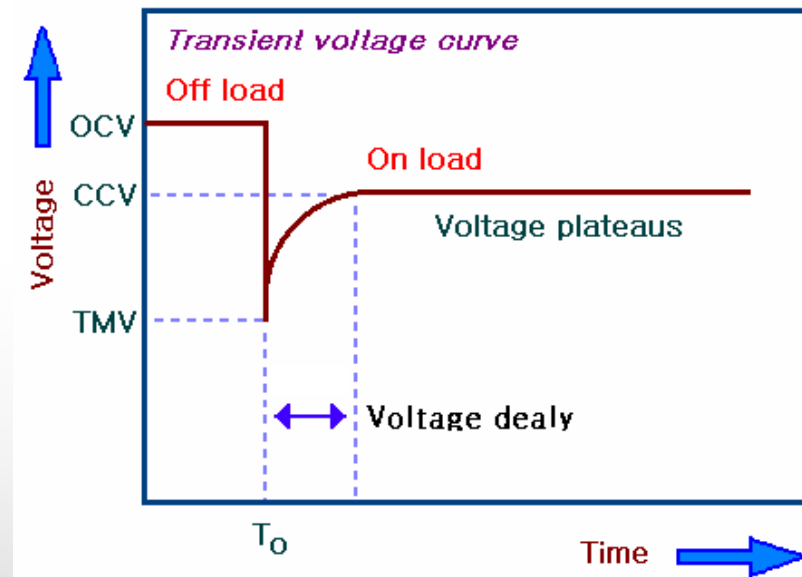
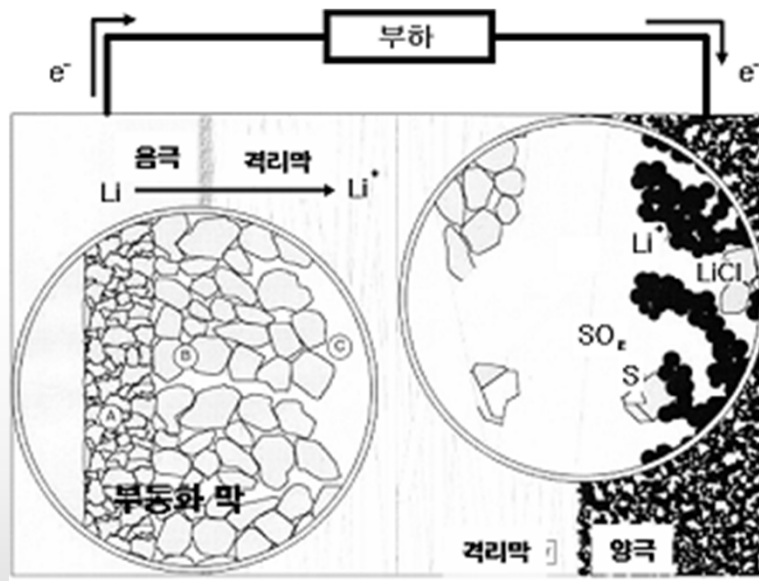


- 개발 : 90년대 신형 FM 무전기 교체에 따라 개발
 - 92년부터 납품시작, 93년 9월 방산물자로 지정, 04년 11월 일반물자로 변경
- Li/SOCl₂ 전지 채택 배경
 - 저장능력, 저온특성, 에너지 용량 및 경제성 고려 채택
 - 채택 시 **파열(폭발) 위험성을 인지**하였으나, 기술발전을 통해 해소 가능 판단

I. 배경 및 개요

● 군용 1차 리튬전지 초기전압지연 현상

▶ 군용 리튬전지 초기전압지연 현상



- : 리튬전지 장기 보관 시 염화리튬막(LiCl)의 생성으로 신제품전지 사용 시 저전압으로 인한 장비 구동 불가 현상(일정시간 전류 흐름 필요) : 비활성 전지 → 활성
- : 자가방전을 억제하여 장기간 보관이 가능(5년)

초기전압지연 현상 연구

II. 초기전압지연현상 연구

● 초기전압지연 현상 야전발생 현황

▶ 장기 저장 리튬전지 전원 공급 불가 현상

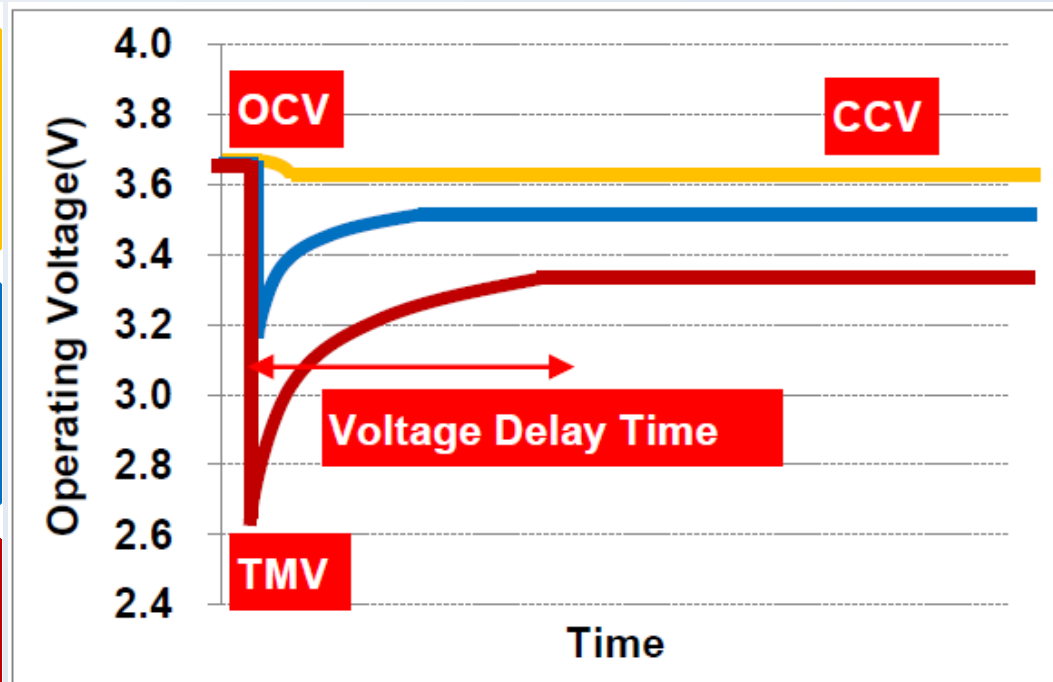
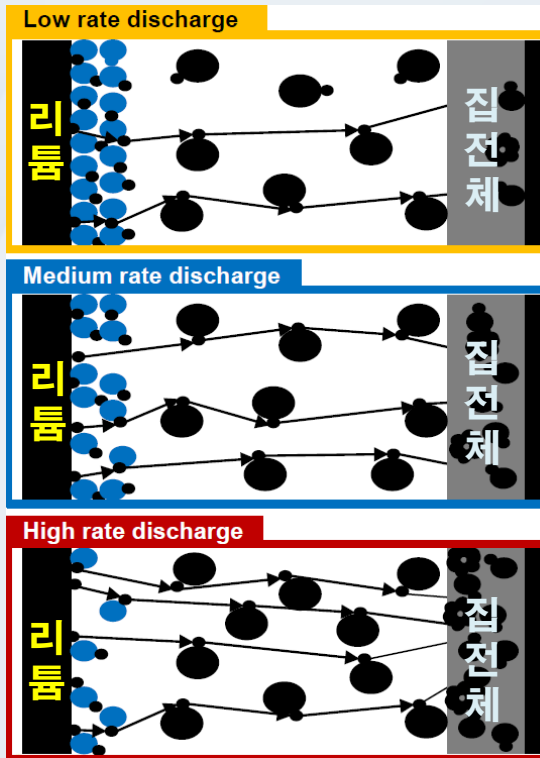
품명	생산연도	수 량	전지활성	체계장비 (사용전류)
BA-6812K	'14년8월 (3년8개월 저장)	18	실패	신궁 야간조준기 (1A 이상)
	'16년1월 (2년3개월 저장)	18	실패	
	'16년12월 (1년4개월 저장)	18	12개 성공, 6개 실패	
BA-6501K	'15년8월 (2년4개월 저장)	20	실패	K11 사격통제장치 (0.8A~1.3A)
BA-6853AK	-	-	항시 성공	PRC-999K (270mA~1.5A)

- 장기저장 시 리튬표면에 염화리튬(LiCl)막이 두껍게 성장하여 반응을 방해
 - 전지 강제 방전으로 염화리튬막 파괴 및 전압회복 시간이 필요
 - 1A정도의 고전류로 초기 구동하는 장비는 장비자체 전원이 ON되지 않으므로 초기 전압지연현상의 해소가 어려움(전지 활성 불가)
 - 리튬전지를 2년 이상 저장 시 본 현상이 두드러짐

II. 초기전압지연현상 연구

초기전압지연 현상분석

염화리튬막 파괴 매커니즘

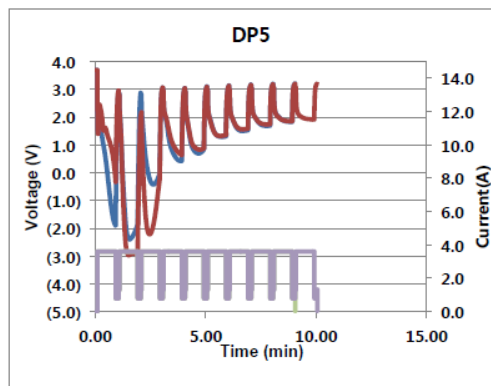
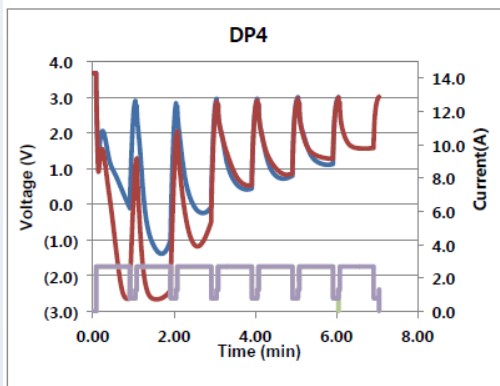
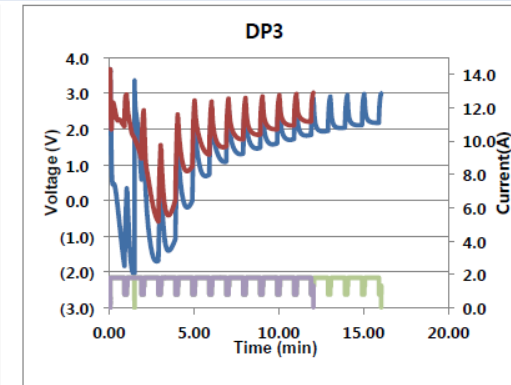
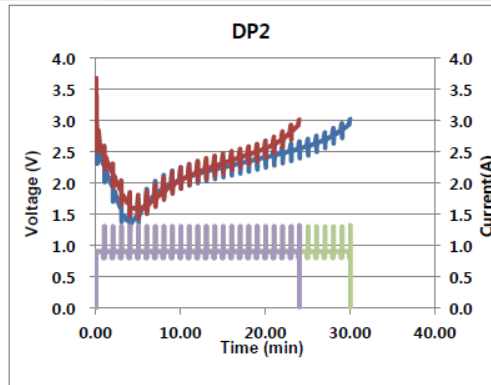
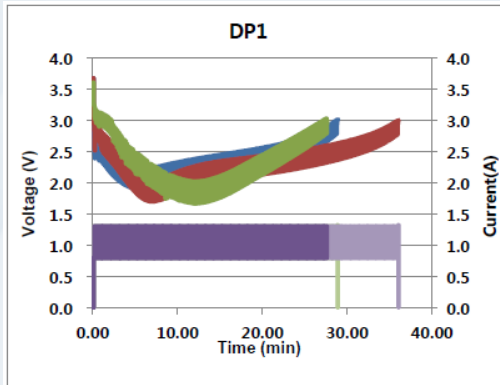


- 저전류 사용 시 절연막을 적게 파괴(소요시간 ↓)
- 고전류 사용 시 절연막을 대부분 파괴(소요시간 ↑)

II. 초기전압지연현상 연구

● 분석결과(1)

▶ 절연막 파괴 소요시간 – K11 사통장치용 전지



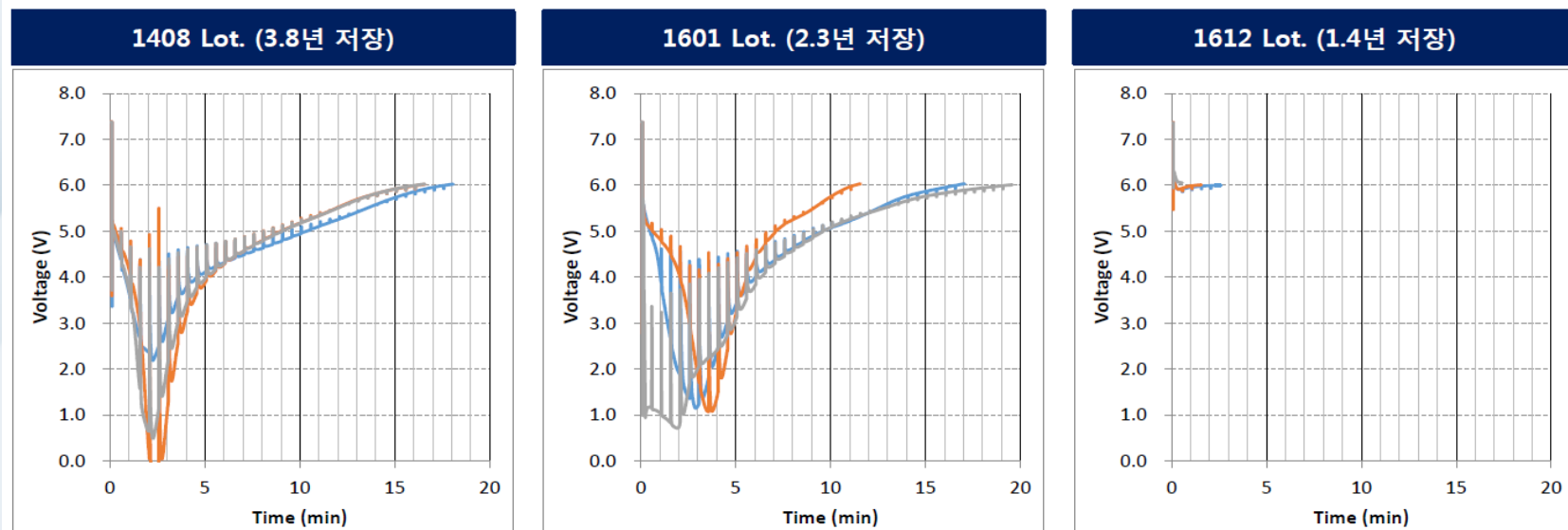
시험 항목	시험 샘플수량	시험방법	결과
DP 1	3팩 (시험 1 후)	0.8A/8s, 1.3A/2s 반복 *실 사용장비 부하 수준 *종료조건: $\geq 3V$ at 1.3A/2s	28~36분
DP 2	2팩 (시험 1 후)	0.9A 연속방전 *단, 1분 주기로 DP 1 적용 *종료조건: $\geq 3V$ at 1.3A/2s	24~30분
DP 3	2팩 (시험 1 후)	1.8A 연속방전 *단, 1분 주기로 DP 1 적용 *종료조건: $\geq 3V$ at 1.3A/2s	12~16분
DP 4	2팩 (시험 1 후)	2.4A 연속방전 *단, 1분 주기로 DP 1 적용 *종료조건: $\geq 3V$ at 1.3A/2s	6~7분
DP 5	2팩 (시험 1 후)	3.6A 연속방전 *단, 1분 주기로 DP 1 적용 *종료조건: $\geq 3.0V$ at 1.3A/2s	6~7분

● 단위전지 최대 전류방전 조건인 1.8A 기준 약 12~16분 소요

II. 초기전압지연현상 연구

● 분석결과(2)

▶ 절연막 파괴 소요시간 – 신궁 야간조준기용(사업관리회의 제기사항)



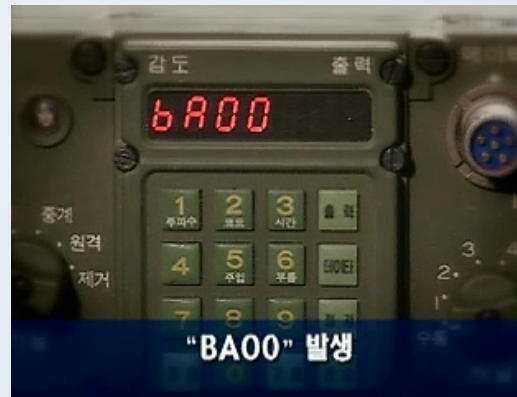
- 단위전지 최대방전 전류 조건을 초과한 2A 기준 12~20분 소요
- 염화리튬막은 고온에서 더욱 빠르게 성장하며, 야전에서 저장온도에 영향을 받음
- 현재 리튬전지는 군에서 선입선출 방식으로 소진되어, 기본 2년정도 저장 후 사용
따라서 이 현상은 반드시 나타날 것으로 예상됨

초기전압지연현상 해소대책

II. 초기전압지연현상 해소대책

● 초기전압지연 현상 해소방법

▶ 염화리튬 절연막 파괴 방안



● PRC-999K 사용전류

- 수신 : 270mA, 송신 : 1.5A

(수신과 송신기능을 오가며 저/고 전류 번갈아 방전하여 절연막 파괴)

● 리튬전지를 사용하는 장비에서 절연막 파괴를 위한 활성화기능 구현 필요

III. 초기전압지연현상 해소대책

● 초기전압지연현상 연구 및 해소대책

▶ 절연막 파괴 최적조건 조사

● 전지별 절연막 파괴를 위한 최적의 조건 시험 조사

- BA-6812AK (장비조건 : 1A ~ 2A)
- BA-6822AK (장비조건 : 30mA ~ 2A)
- BA-6821AK (장비조건 : ?A~ 1.5A) 등

● 리튬전지 절연막 파괴를 위한 활성화장치 제작 검토

- 최적 절연막 파괴 조건 확정
- 전지~활성장치 간 파괴 조건으로 설계
- A/S 또는 부대 제공 검토



리튬전지 활성장치 개발

IV. 리튬전지 활성화장치 개발

리튬전지 활성화 키트 개발

전지활성 키트 제작 대상

● 사용자불만 발생 및 부대방문 등을 통해 식별된 리튬전지 3종

품 명		BA-6821AK	BA-6822AK	BA-6812K
단위전지(셀)		BA-6001AK (9직렬, 32.4V)	BA-6001AK (3직렬, 10.8V)	BA-6001AK (2직렬, 7.2V)
체계 장비	장비명	PRC-950K (AM무전기)	K421 (탄약, 회로지령)	신궁 야간 조준경
	소비전류	Max. 3.17A	Max. 1.2A	Max. 2A
	요구전압	20.4V	8.1V	6.1V
문제점		높은 소비전류 단위전지 기준 2.3V (ΔV 1.3V)	높은 소비전류, 높은 구동 전압, 단위전지 기준 2.7V (ΔV 0.9V)	높은 소비전류 및 구동 전압, 단위전지 기준 3V (ΔV 0.6V)
제기부대		제11공수여단	소요군	신궁 IPT
형상				

IV. 리튬전지 활성화장치 개발

리튬전지 활성화 키트 개발

전지활성 키트 기능

- 주 목적 : 리튬전지의 초기전압지연 현상을 장비를 통해 해소 불가 시 해결
- 기능 : 최대 1시간 이내 저항 및 외부전원을 통한 전지 활성화
 - 활성화 조건 : 전지당 약 1A로 최대 60분 강제 활성화(방전)
 - 활성화 완료 : 장비별 최소 구동전압 도달 시 멈춤
 - 안전 장치 : 사용전지 혼입 및 과열 방지를 위한 저전압 지속 시 강제종료

구 분		BA-6821AK	BA-6822AK	BA-6812K
전지활성	부하조건	22.5Ω	7.5Ω	5.0Ω
장비조건	체계장비 구동조건	210mA 5s → 2A 5s → 210mA 5s → 2A 5s → 210mA 5s → 2A 5s → 210mA 5s → 2A 5s → 210mA 5s → 2A 5s → 210mA 1hr	30mA 3s → 920mA 0.3s → 290mA 0.8s → 80mA 2.6s → 1A 1.6s → 30mA 1hr	2A 10ms → 1A 1hr
	최소 구동전압	18.0V	8.0V	6.1V

IV. 리튬전지 활성화장치 개발

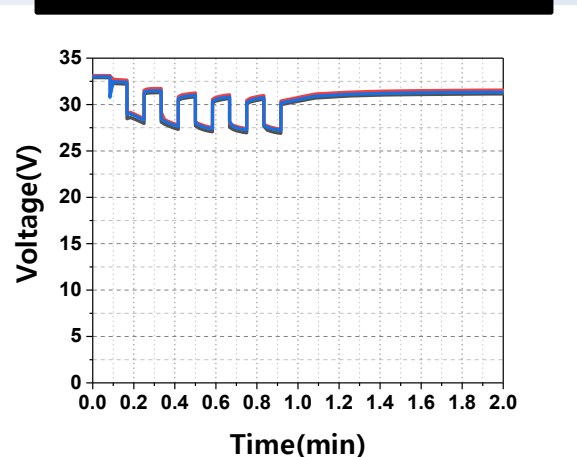
리튬전지 활성화 키트 개발

전지활성 키트 효과 모의시험

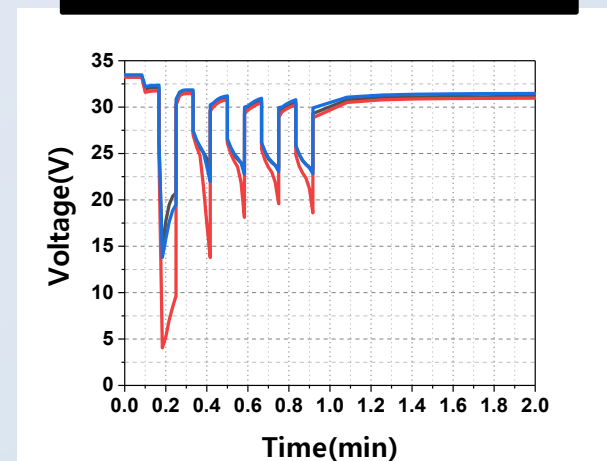
전지활성 키트 사용/미사용 비교시험

	고온저장	체계장비 방전조건	최소구동
BA-6821AK	72°C 18일	210mA 5s → 2A 5s (5회반복) → 210mA 1hr	18.0V
BA-6822AK	72°C 18일	30mA 3s → 920mA 0.3s	8.0V
BA-6812K	72°C 14일	2A 10ms → 1A 1hr	6.1V

BA-6821AK 강제활성 O



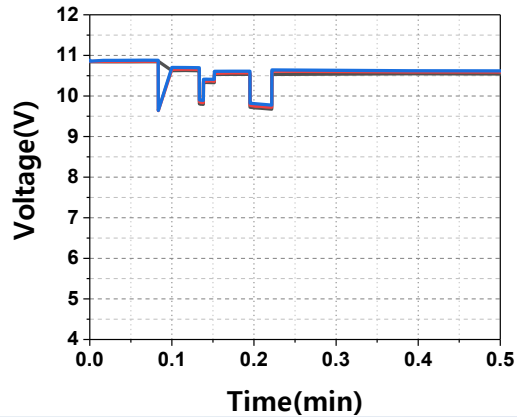
BA-6821AK 강제활성 X



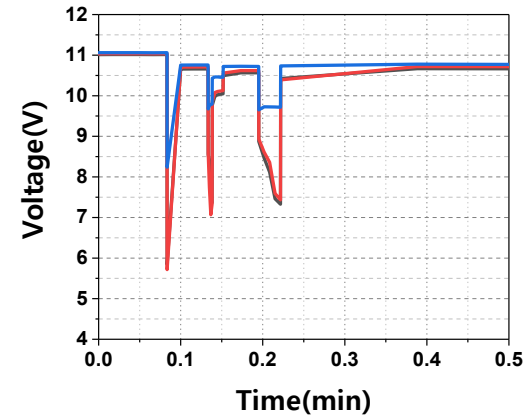
IV. 리튬전지 활성화장치 개발

리튬전지 활성화 키트 개발

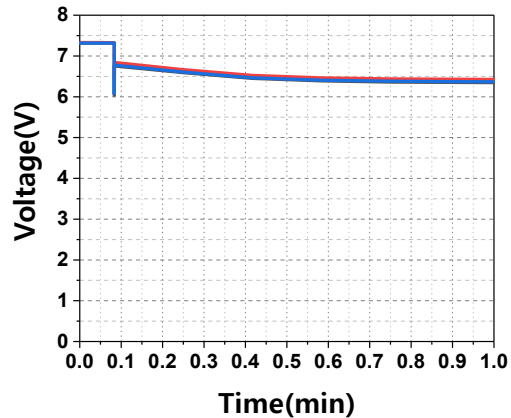
BA-6822AK 강제활성 O



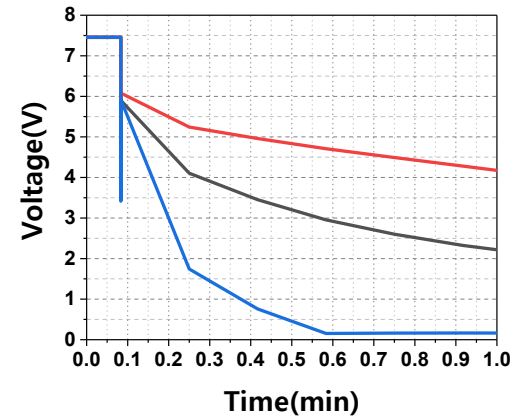
BA-6822AK 강제활성 X



BA-6812AK 강제활성 O



BA-6812AK 강제활성 X

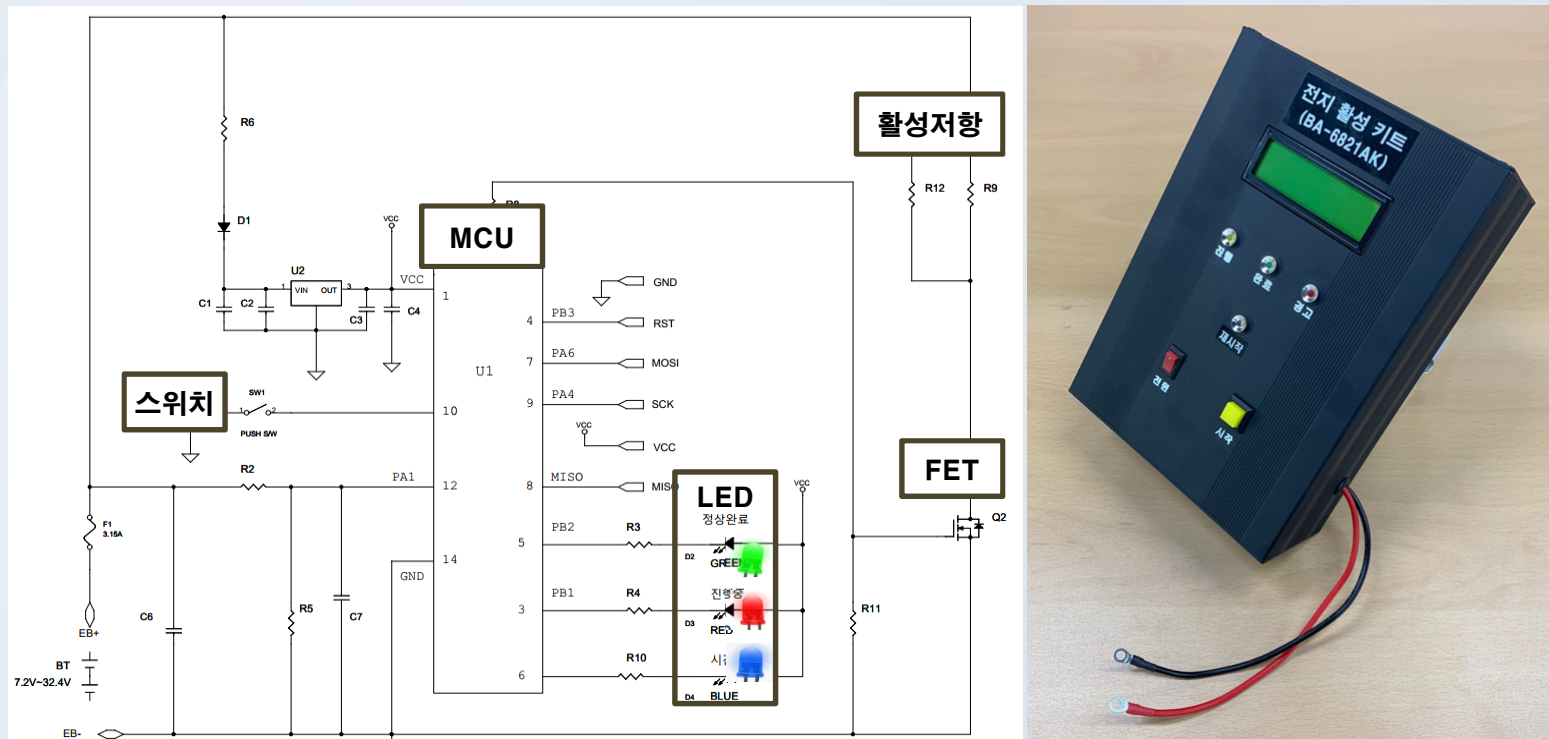


IV. 리튬전지 활성화장치 개발

리튬전지 활성화 키트 개발

전지활성 키트 초기설계 결과

내부 설계 회로 및 외부 형상



IV. 리튬전지 활성화장치 개발

리튬전지 활성화 키트 개발

전지활성 키트 초기설계 결과

SW 알고리즘 구성

- 모드0 : 방전대기(초기상태), 스위치 누르면 모드1로 이동
“전지 활성화기(BA-6812K)”, “활성 대기”
- 모드1 : FET ON, 타이머 시작, 10분 카운터 시작, 황색 LED점등,
2분 후 전압감시 시작, “전지 활성화 시작”
전압 측정 방식: 1초 1회 측정→총 2회 측정으로 판단
 - ① 6V이상: **모드4**로 이동
 - ② 3V미만: **모드5**로 이동
 - ③ $3V \leq$ 측정전압 < 6V: 현 상태 유지 후 **모드2**로 이동
- 모드2 : 카운터 동작 1~5회
FET OFF, 황색 LED 점멸, 1분간 대기, 전압 감시 해제. 모드1로 이동
카운터 동작 6회: **모드3**으로 이동

IV. 리튬전지 활성화장치 개발

리튬전지 활성화 키트 개발

전지활성 키트 초기설계 결과

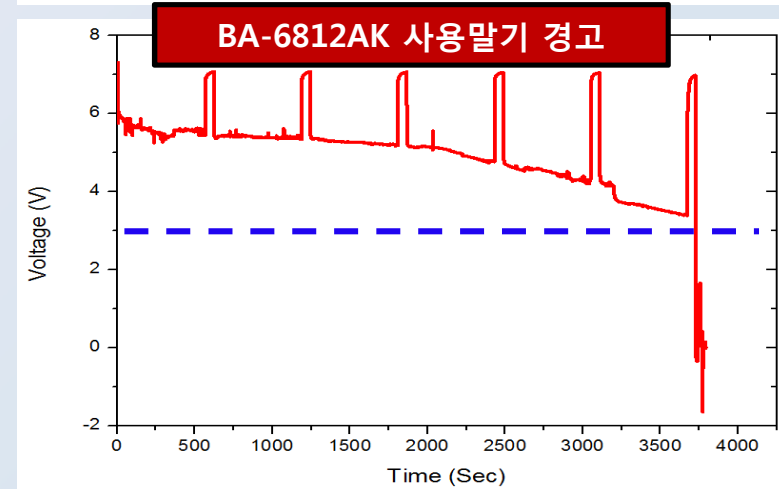
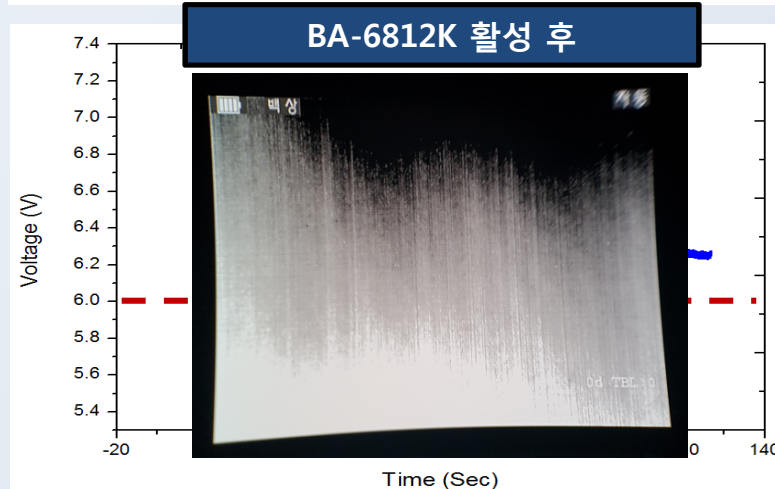
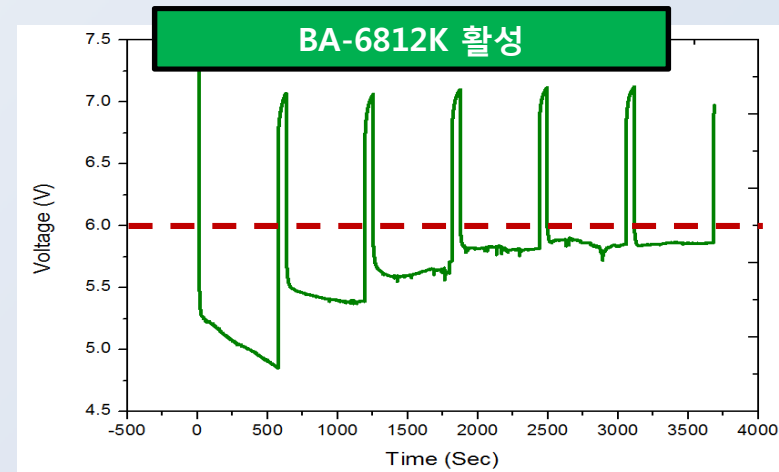
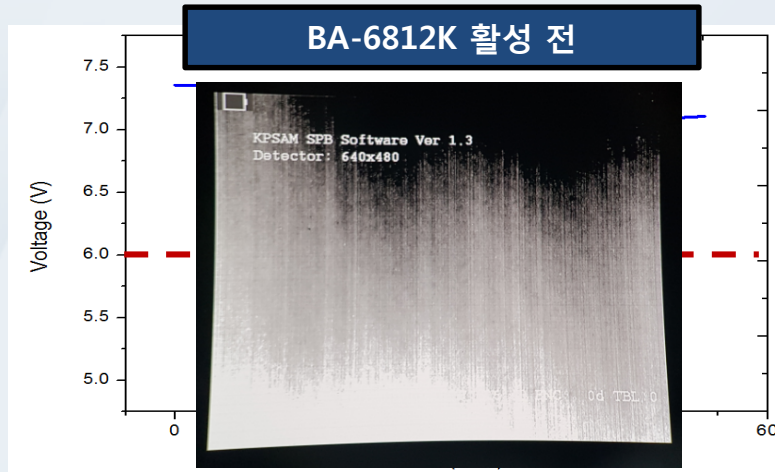
SW 알고리즘 구성

- **모드3** : FET OFF, “활성시간 초과-재시작” -점멸, 청색 LED(재시작) 점등, 부저음(1초간격으로 전지 제거 시 까지 유지) 전지전압 0.5V 이하 시(전지 분리) : 모드0으로 이동 (부저음:짧은 2회)
<전지 활성화 재시작>
- **모드4** : FET OFF, 녹색 LED점등, “전지 활성화 완료” , 부저음(짧은 3회), 전지전압 0.5V 이하 시(전지 분리) : 모드0으로 이동 (부저음: 짧은 2회)
<전지 활성화 완료>
- **모드5** : FET OFF, 적색 LED 점등, 부저음(1초간격으로 전지 제거 시까지 유지) “경고! 신제품 여부확인” -점멸 , “신제품이면 재시작” - 점멸 무한반복 전지전압 0.5V 이하 시(전지 분리) : 모드0으로 이동 (부저음: 짧은 2회)
<전지 파열 경고>

IV. 리튬전지 활성화장치 개발

리튬전지 활성화 키트 개발

전지활성 키트 Prototype 시험결과



IV. 리튬전지 활성화장치 개발

리튬전지 활성화 키트 개발

전지활성 키트 시제품 3종 개발

품 명		전지활성 키트 (BA-6821AK)	전지활성 키트 (BA-6822AK)	전지활성 키트 (BA-6812K)
형상				
용도		BA-6821AK (9직렬, 32.4V)활성	BA-6822AK (3직렬, 10.8V)활성	BA-6812K (2직렬, 7.2V)활성
제원	사용저항	23Ω	8Ω	5Ω
	활성전류	1A	1A	1A
	Cut-off 전압	22.5V	8.1V	6V
사용장비		PRC-950K (AM무전기)	K421 (탄약, 회로지령)	신궁 야간 조준경
안전장치		13.5V 저전압 도달 시 방전 중단 및 경고 메시지	4.5V 저전압 도달 시 방전 중단 및 경고 메시지	3V 저전압 도달 시 방전 중단 및 파열 경고 메시지

IV. 리튬전지 활성장치 개발

리튬전지 활성 키트 개발

시험방법

- 장기저장 전지 모의를 위한 **고온저장(가속 노화) 후 활성 및 장비 장착/구동**

$$t_2 = t_1 e^{-\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)}$$

t_1 : 예상수명

t_2 : 가속노화 예측수명

T_1 : 가속노화 저장온도

T_2 : 실 저장온도

R : 가스상수(1.987 cal/K-mol)

E_a : 전지 활성화 에너지

* 국방규격(KDS 6135-4008)에서 저장월수 시험기준으로 채택

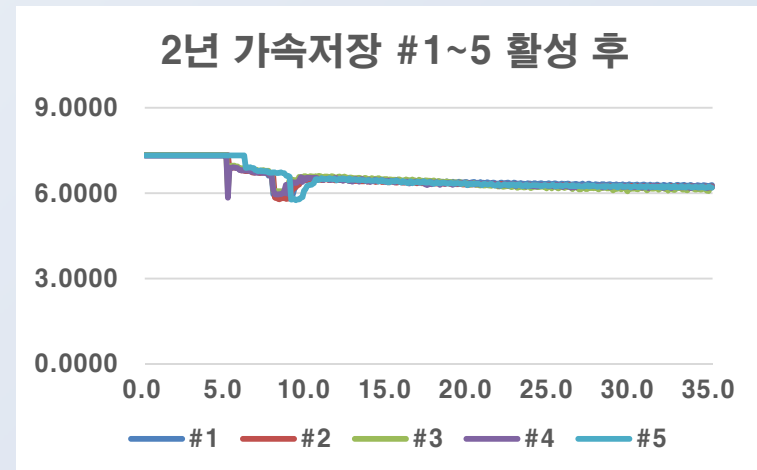
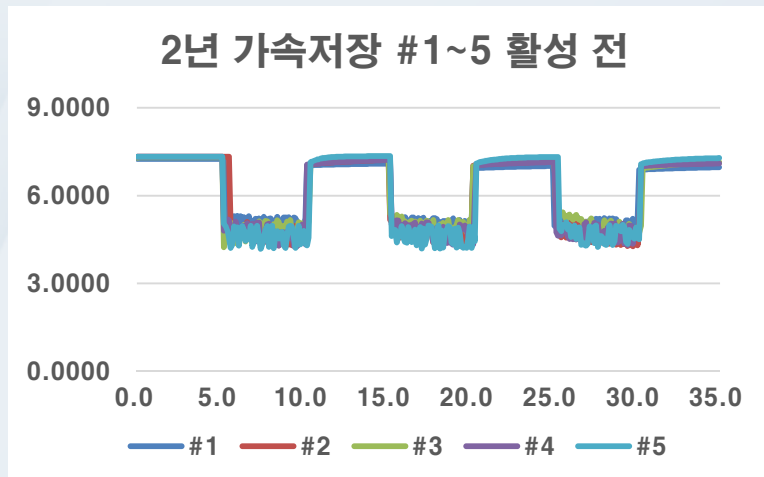
ex) 상온(24°C) 5년 보증시험 : 72°C 45일 저장 후 시험

상온(24°C) 10년 보증시험 : 72°C 90일 저장 후 시험

IV. 리튬전지 활성화장치 개발

리튬전지 활성화 키트 개발

전지활성 키트 시제품 시험결과(BA-6812K - 신궁 야간조준기 장착)

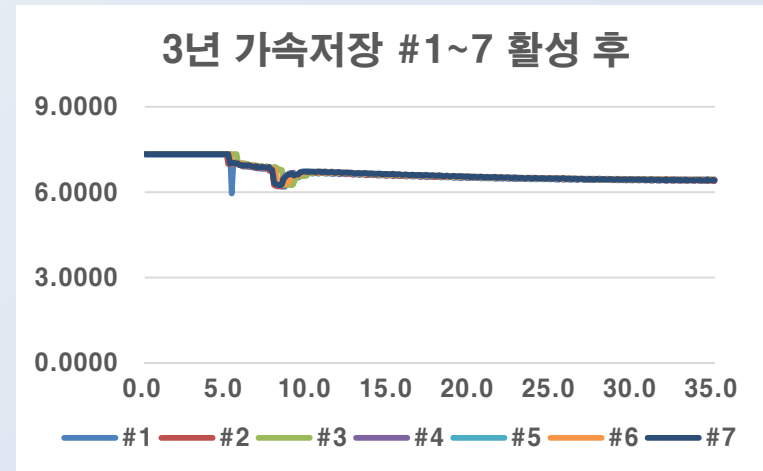
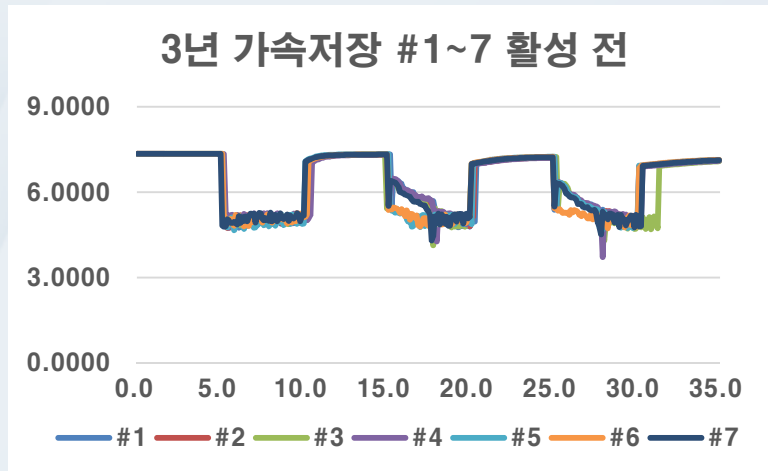


시료번호	활성횟수(회)	활성 시간(분)			
		시간(분)	최대	최소	평균
1	3	100	141 (4회)	78 (2회)	105 (3.2회)
2	4	101			
3	2	78			
4	4	107			
5	3	141			

IV. 리튬전지 활성화장치 개발

리튬전지 활성화 키트 개발

전지활성 키트 시제품 시험결과(BA-6812K - 신궁 야간조준기 장착)

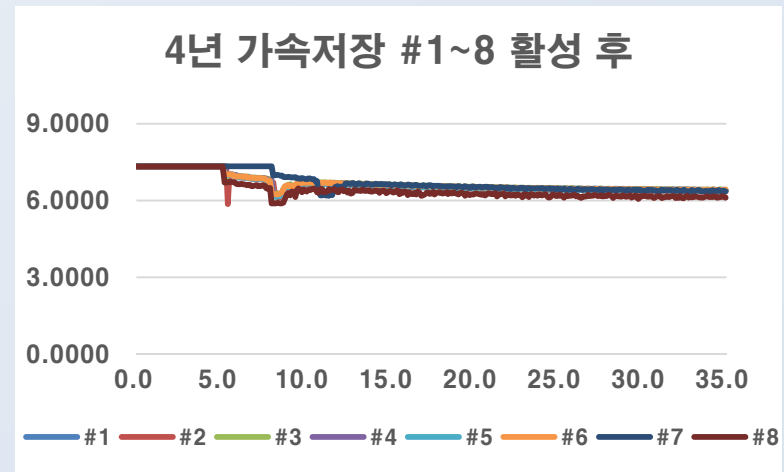
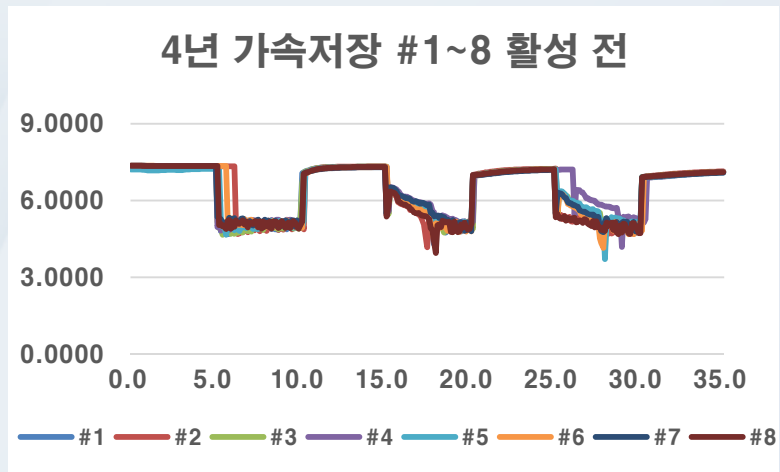


시료번호	활성횟수 (회)	활성 시간(분)			
		시간	최대	최소	평균
1	2	52	78 (2회)	52 (2회)	63 (2회)
2	2	60			
3	2	64			
4	2	78			
5	2	59			
6	2	70			
7	2	60			

IV. 리튬전지 활성화장치 개발

리튬전지 활성화 키트 개발

전지활성 키트 시제품 시험결과(BA-6812K - 신궁 야간조준기 장착)

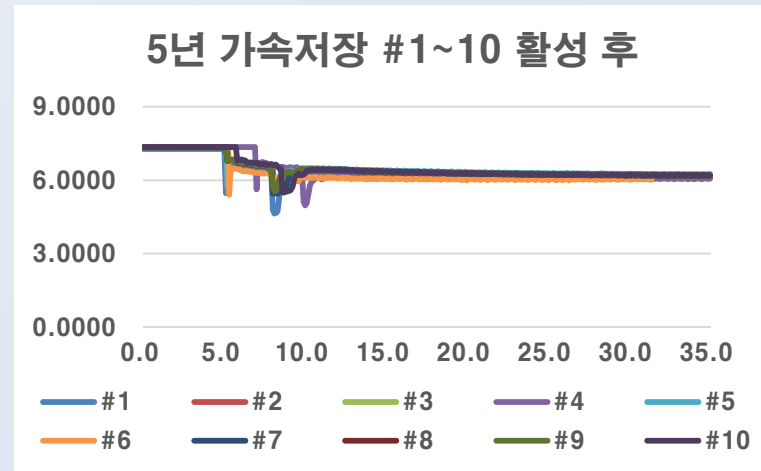
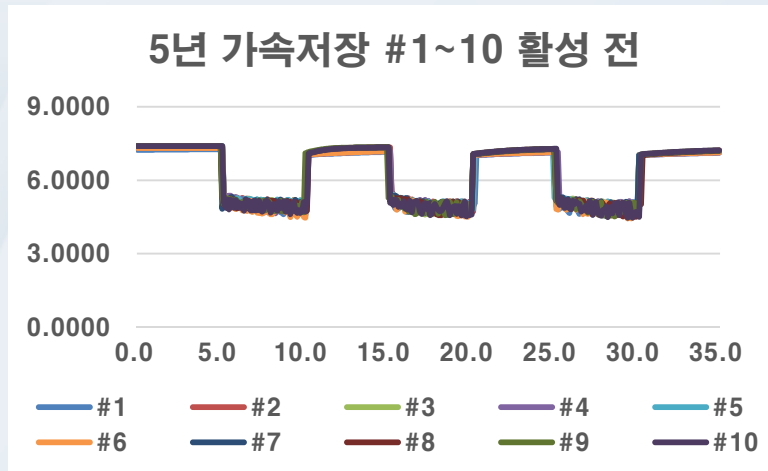


시료번호	활성 횟수(회)	활성 시간(분)			
		시간	최대	최소	평균
1	2	60	70 (3회)	47 (2회)	60 (2.3회)
2	2	59			
3	2	54			
4	2	47			
5	2	70			
6	3	57			
7	2	64			
8	3	68			

IV. 리튬전지 활성화장치 개발

리튬전지 활성화 키트 개발

전지활성 키트 시제품 시험결과(BA-6812K - 신궁 야간조준기 장착)

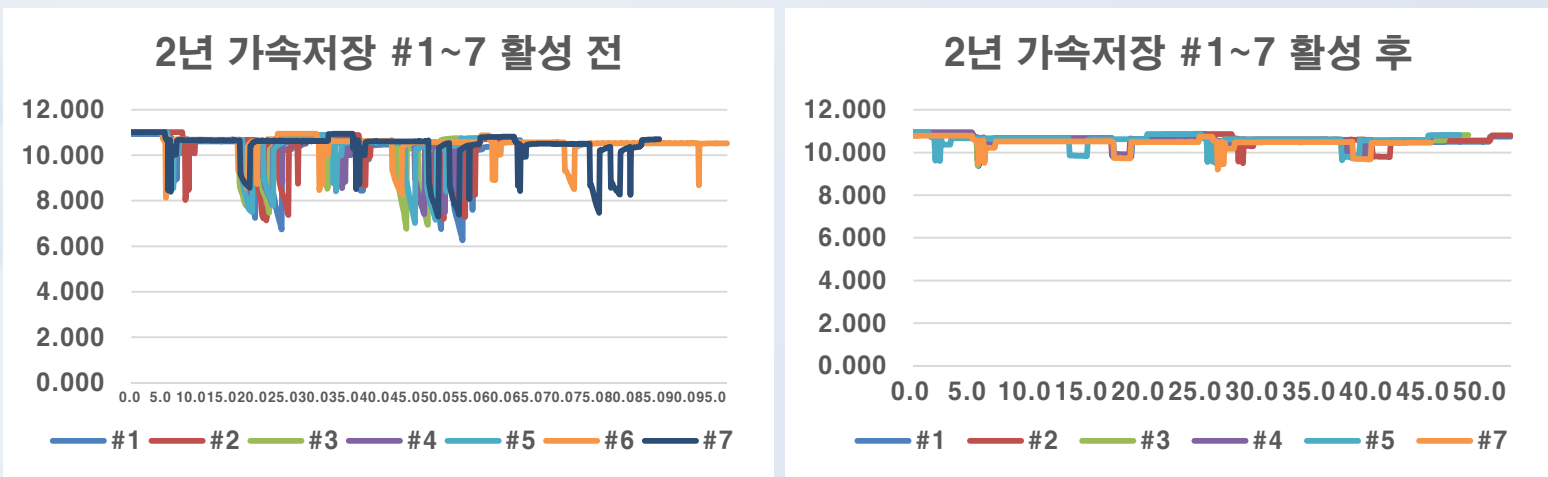


시료번호	활성 횟수(회)	활성 시간(분)			
		시간	최대	최소	평균
1	7	113	157 (10회)	89 (7회)	131 (8.2회)
2	6	147			
3	8	133			
4	6	141			
5	7	131			
6	10	157			
7	8	154			
8	10	125			
9	10	119			
10	10	89			

IV. 리튬전지 활성화장치 개발

리튬전지 활성화 키트 개발

전지활성 키트 시제품 시험결과(BA-6822AK - 회로지령탄약 장착)

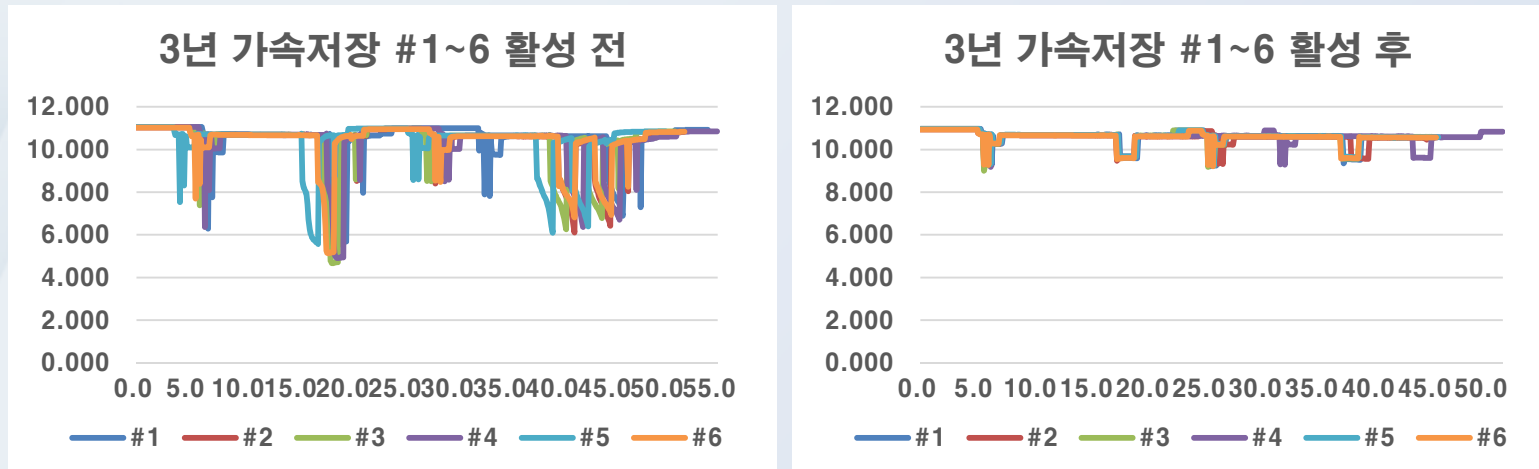


시료번호	활성횟수(회)	활성 시간(분)			
		시간(분)	최대	최소	평균
1	1	45	45 (5회)	32 (1회)	40 (1.6회)
2	1	32			
3	5	32			
4	1	44			
5	1	44			
7	1	44			

IV. 리튬전지 활성화장치 개발

리튬전지 활성화 키트 개발

전지활성 키트 시제품 시험결과(BA-6822AK - 회로지령탄약 장착)

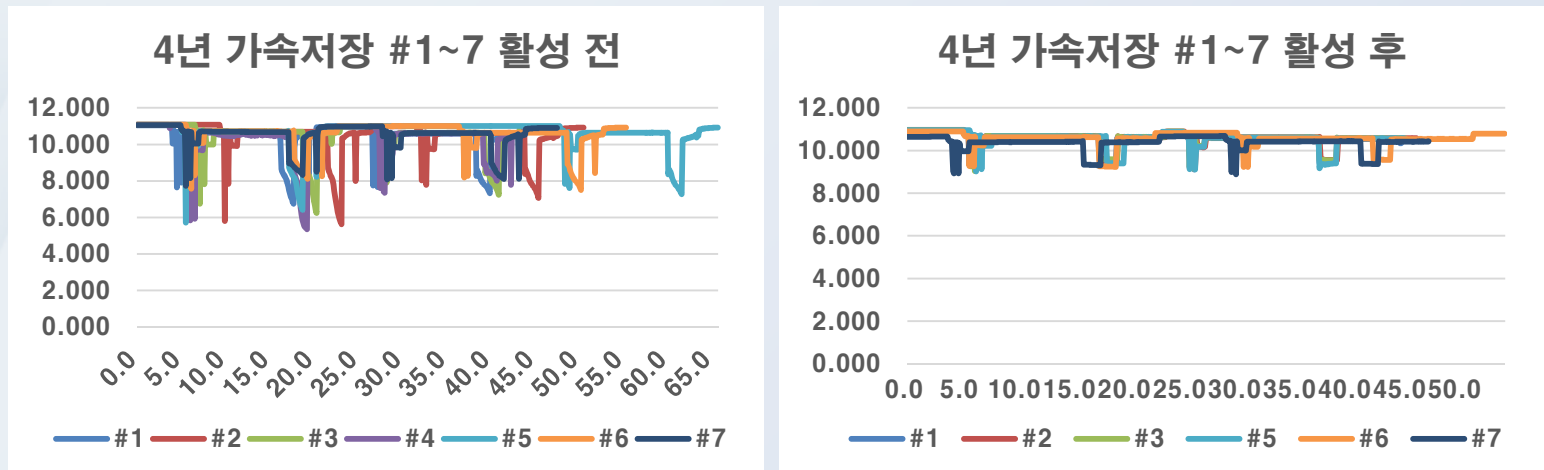


시료번호	활성횟수(회)	활성 시간(분)			
		시간(분)	최대	최소	평균
1	10	50	58 (10회)	32 (1회)	47 (4.8회)
2	1	50			
3	4	56			
4	8	38			
5	5	32			
6	1	58			

IV. 리튬전지 활성화장치 개발

리튬전지 활성화 키트 개발

전지활성 키트 시제품 시험결과(BA-6822AK - 회로지령탄약 장착)



시료번호	활성횟수(회)	활성 시간(분)			
		시간(분)	최대	최소	평균
1	1	50	56 (6회)	38 (1회)	47 (3회)
2	5	44			
3	1	56			
5	4	50			
6	1	44			
7	6	38			

결론

▶ 결론

- 군용 1차 리튬전지 장기저장 시 운용성 개선 필요성 대두
- 리튬전지의 초기전압지연현상은 필연적으로 발생 → 대책 필요
- 전지 활성 키트 개발을 통한 품질개선으로 해소
- 추가적인 전지개선 연구 예정

군용 리튬전지 운용성 향상 및 사용자 편의 도모



감사합니다