

구명정 배터리의 폭발사고 예방을 위한 대안

임명환¹ · 안병원[†]

(원고접수일 : 2011년 1월 25일, 원고수정일 : 2011년 3월 2일, 심사완료일 : 2011년 8월 2일)

Preventive Measures of Battery Explosion in Lifeboat

Myeong-Hwan Im¹ · Byong-Won Ahn[†]

요 약 : 구명정은 선박이 좌초나 침몰 시 인명구조용으로 구조는 황천시 물이 구명정내부로 들어오지 못하도록 밀폐형으로 되어 있다. 밀폐형 구조로 인해 구명정내부는 온도가 상승되고 이 온도 상승으로 인해 엔진시동용 배터리가 폭발 가능성이 있고, 실제로 목포해대 실습선의 구명정에 탑재된 배터리에서 폭발사고가 발생했다. 폭발에 대한 원인조사를 바탕으로 폭발방지를 위한 대안 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 발생한 사고의 방지를 위한 구명정의 구조개선, 충전장치, 법규개정을 위한 기초적 자료를 제안하였다.

주제어 : 폭발사고, 배터리, 구명정엔진, 구명정, 충전기

Abstract: Emergency batteries on board are used for stairs, pathway lights, and emergency communications during alternator black-out. In addition, there are engine start-up batteries in lifeboats. Typically, these batteries are installed under the Classification Rules. However, Since batteries inside life boats are installed in a confined narrow space, it is difficult to perform regular maintenances. Also, even though there are air vents in the life boat, the temperature inside the life boat often reaches above 65 °C, which is much higher than the regulation temperature, 45°C. In this paper, we will summarize the accident of battery explosion occurred in MMU training ship, and possible causes. We will propose preventive measures of battery explosions as well as the revision of the regulation.

Key words: Battery explosion, MF Battery, Life boat engine, Life boat, Battery charger

1. 서 론

배터리의 종류는 많으나 선박에서는 무게가 무거운 단점이 있지만 사용온도가 높고 용량과 효율이 높은 장점으로 납산배터리를 많이 사용하고 있다. 종래에는 전해액이 액상의 묽은 황산을 많이 사용하였지만 최근 메이커에서 많이 생산되고 유지보수가 필요없는 장점으로 겔형 배터리로 바뀌고 있는 추세이다. 선박에서 사용하는 배터리는 사용목적에 따라 3가지로 나눌 수 있다. 발전기가 블랙아웃 상황 시 사용되는 비상용 배터리, 선내 통신용 전원을 공급하는 통신용배터리, 그리고 구명

정의 엔진시동용 배터리이다. 비상용 및 통신용 배터리는 선급 및 강선규칙 6편 제13절에서 규정되어 있기[1-2]때문에 선박에서 문제가 없는 것으로 판단된다. 반면 구명정의 엔진 시동용 배터리는 공간이 협소할 뿐만 아니라 밀폐된 공간에 있어 관리의 어려움이 있고, 선급 규정이 미흡한 것으로 판단된다.

일반적으로 배터리의 보관은 공기가 잘 통하도록 통풍구를 설치하고, 온도는 45°C를 넘지 않도록 하고 있다[3]. 그러나 구명정은 밀폐형으로 내부온도가 최고 65°C까지 상승한다. 사고는 2010년 09월

[†] 교신저자(목포해양대학교 기관시스템공학부, E-mail : ds4cbt@mmu.ac.kr Tel 061-240-7214)

* 목포해양대학교 실습선 새유달호 기관장

17일 14시경 목포해양대학교 실습선 새누리호의 구명정 4호정의 점검을 위해 시동을 거는 순간 엔진 시동용 배터리가 폭발하는 사고가 일어났다.

배터리의 폭발과 이로 인한 사고는 리튬전지에서 많이 발생하고 있고 관련 연구는 많이 있다 [4-6]. 그러나 납산배터리는 자동차나 선박에도 많이 사용되지만 개방된 상태에서 관리되고 규정에 따라 보관하는 경우, 폭발 사고가 발생하지 않는 것으로 사료되며 관련연구도 찾을 수 없었다.

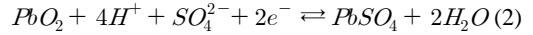
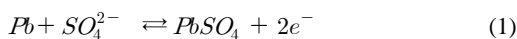
본 연구에서는 사고가 발생한 겔형납산 배터리에 국한해서 조사 분석연구를 하였다. 발생한 사고 원인의 분석과 사고방지를 위한 구명정의 구조개선, 충전장치, 법규개정을 위한 기초적 자료를 제안한다.

2. 관련이론과 규정

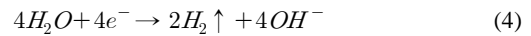
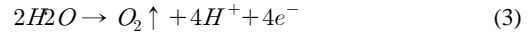
2.1 배터리

납산배터리는 전해액에 상태에 따라 액상 전해액과 겔형 전해액으로 나눌 수 있다. 종래에는 액상전해액인 증류수에 황산을 희석한 묽은 황산을 많이 사용하였으나 사용중 누액이나 증류수의 증발로 인한 유지 보수의 필요가 있었다. 최근은 겔형 전해액이 많이 사용되고 있으며 겔형 전해액은 증류수에 황산을 희석한 묽은 황산 용액에 겔화의 재료인 실리카(SiO₂)와 묽은 황산이 수화반응을 해서 교반되어지면 졸의 형태로 되어진 후 수 시간 내에 실온상태에서 응축하여 겔의 형태로 되는 것이다[7]. 겔형 전해액은 유동성이 거의 없고, 보관이 용이하며, 수증기의 증발이 적어 유지보수가 필요없는 MF(Maintenance Free)배터리의 전해액으로 많이 사용되고 있다. 메이커에 의하면 액상 전해액과 겔형 전해액은 1:9의 비율정도로 생산되고 있다고 한다.

전체적인 반응 메커니즘은 양극에서 과산화납(PbO₂), 음극에서는 전자를 만들기 위해 전해액과의 접촉면적을 넓히기 위해 해면상의 납(Pb), 전해액으로 묽은 황산(H₂O + H₂SO₄) 속에서 두 전극은 다음과 같은 가역반응이 일어나게 된다.



충전이 진행됨에 따라 단자전압이 상승하고, 충전말기에는 전해액에 포함되어 있는 물을 전기분해하여 양극에는 산소가, 음극에서는 수소가 발생하며 수소는 불꽃이 있을 경우 폭발이 일어날 수 있다.



전지는 양극과 음극사이에 전해액과 반응하는 관계로 화학반응이 주위온도에 영향을 받는다. 표 1은 엔진을 돌리는 배터리의 온도에 따른 출력을 나타내고 있다[5]. 온도가 떨어지면 배터리의 성능이 저하로 엔진을 돌리기 위해 배터리의 용량이 더 필요한 것을 알 수 있다.

Table 1: Temperature vs. battery output

온도[°C]	출력(%)	엔진에 돌려줘야 할 힘
25	100	100(%)
0	63	165(%)
-18	43	250(%)
-30	30	360(%)

제조사는 주위 온도에 따른 충전전압을 변경할 것을 권고하고 있다. 배터리 사용 온도는 25°C 기준으로 하여 적절한 환기 및 냉난방장치가 필요하며, 주위온도 변화 시 부동충전 전압 조정이 필요로 하는데 충전전압 보상기준은 주위온도 1°C상승 시 3mV 하향조정이 필요하다. 부동충전전압을 Vt는

$$Vt = 13.40 - 0.003 \times Cn \times (t - 25) \quad (5)$$

여기서 Vt는 부동충전전압, Cn은 배터리의 셀 수, t는 주위온도이다[8].

2.2 선급 및 강선규칙

선급규정에 의하면 적용규격에서 ‘납축전지는 한국산업규격에 적합한 것 또는 동등이상의 것이

어야 한다.’고 규정되어 있다. 구조, 설치장소, 축전실의 전기장치, 방식보호, 환기 충전장치, 축전지의 보수 기록서에 관한 규정이 있다[1].

2008 선급 및 강선적용지침에 의하면 환기규정에는 축전시설등의 배기장치의 능력에 관한 식은

$$Q=110 \times I \times n \text{ [L/h]} \quad (6)$$

여기서 Q는 배기량[L/h], I는 충전전류(10시간충전율), n은 축전지의 수이다.

2.3 해상인명안전협약(SOLAS)

1974년 해상인명안전협약(SOLAS)의 제3장 제16규칙의 생존정의 진수 및 회수장치에서 “퇴선 중 생존정에 선박의 현측에서 배출되는 물이 유입되지 아니하도록 하는데 필요한 수단을 갖추어야 한다.”고 정의되어 있고, 제2절 여객선과 제3절 화물선에서는 전폐형구멍정을 비치하도록 하고 있다 [2].

3. 사고 원인 분석

3.1 폭발제품

폭발된 제품은 2009년 09월 설치한 제품명 RP100-12,용량이 100Ah이고, 12V용으로 수명은 2~3년이다. 부동충전전압은 13.2~13.4V/Cell이고 이 전압은 25℃이상에서는 -3mV/℃의 전압보정을 실시하도록 하고 있고 주위온도가 높으면 성능이나 수명이 저하되거나 파손 또는 변형의 원인이 될 수 있으므로 과충전을 방지하기 위하여 충전전압을 내려주어야 한다고 한다. 축전지의 사용온도 범위는 방전시 -15~45℃, 충전시는 -15~40℃로 이 온도 범위 내에서 사용할 것을 명시하고 있다[2].

3.2 원인분석

사고 발생후 메이커 측에 사고 조사를 의뢰한 결과 “과충전 및 고온환경 사용에 의한 폭발”로 결과를 통보해 왔다[9].

그림 1은 폭발된 배터리의 사진을 나타내고 있다. 본 연구에서 추정하는 폭발의 원인은 제품의 결함, 규정이상의 충전전압, 주위온도의 고온으로 사료된다. 현재 본선에서 사용 중인 구멍정은 4척

중 한 척에서 발생했고, 같은 구멍정 안에서도 특별히 4호정 1번 배터리만 폭발사고가 발생한 것은 제품결함일 가능성이 크다. 그러나 전해액의 상태, 전지조의 강도, 폭발 당시의 배터리 전압 등의 분석을 할 수 있는 능력이 없어 현재 제품결함을 찾는 메이커측이 아니면 한계가 있다.



Figure 1: Photograph of exploded battery

또 다른 원인을 추정하기 위해 사고 발생 후 충전기의 출력전압과 배터리의 단자전압을 측정하였다.

표 2는 각 구멍정의 측정전압 결과를 나타낸다. 비교란은 외기 온도 25℃에서 충전전압 13.40V와 비교한 전압으로 기준출력전압에 비해 0.57-1.31V 까지 높게 나타나고 있다. 반면에 1호정은 전압이 1V이상 차이가 나지만 폭발하지 않는 것은 충전전압의 영향으로 보기는 어려울 것으로 사료된다.

Table 2: Chargers and batteries output voltage

NO of Boats	Voltage[V]	Charger output	Battery terminal	Deferential at 25℃
1	1	14.09	14.71	1.31
	2	14.34	14.52	1.12
2	1	14.28	14.49	1.09
	2	14.51	14.67	1.27
3	1	14.29	14.39	0.99
	2	14.33	14.55	1.15
4	1	14.16	13.97	0.57
	2	14.41	-	-

그림 2는 FRP로 된 제작된 구명정의 내부온도와 배터리의 충전전압의 관계를 나타내고 있다. 구명적내부는 밀폐되어 있고, 환기가 되지 않아 65℃까지 올라가므로 온도와 충전전압이 사고의 원인일 가능성도 있다.

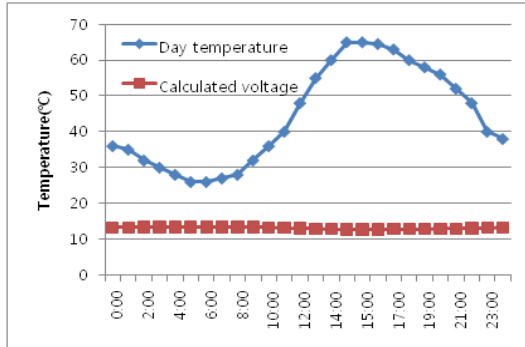


Figure 2: Day time lifeboat inner temperature

4. 사고방지를 위한 제안

4.1 충전장치

선박에서 사용하는 충전방식은 정류기와 축전지를 부하에 병렬로 연결하여 방전을 계속 보충하는 부동충전방식을 많이 사용한다. 배터리의 자기방전을 보충함과 동시에 상용부하에 대한 전력공급은 충전기가 부담하도록 하되 충전기가 부담하기 어려운 일시적인 대전류 부하는 축전지로 하여금 부담케 하는 방식이다. 이 방식은 정류기 용량이 작아도 되고, 축전지의 수명이 연장되며, 축전지가 항상 완전충전상태이므로 방전전압을 일정하게 유지할 수 있는 장점이 있다. 현재의 충전장치는 다이리스터나 실리콘정류기를 정류하여 일정전압을 걸어주는 역할만하거나 스위칭 전원을 이용하여 일정한 전원을 공급하는 두 가지 방식이 있다. 이러한 방식은 하나의 세팅된 전압에만 동작할 수밖에 없기 때문에 과충전의 염려가 있고 온도에 대해서도 대응할 수 없다.

그림 3은 구명정의 전기회로의 흐름을 나타내는 블록도이다. 선내발전기에서 공급되는 전원을 정류하여 NO1, 2배터리에 부동충전한다. 배터리는 100Ah의 용량으로 하나는 예비로 사용할 수 있도록 절환스위치(COS)에 의해 선택할 수 있다. 키스

위치로 스타팅을 하면 스타팅모터에 의해 엔진을 돌리고 시동이 되면 엔진의 발전기에 의해 충전이 된다.

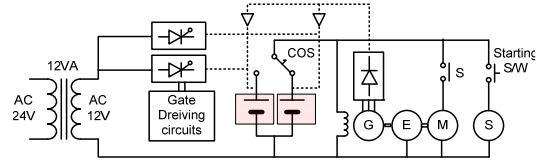


Figure 3: Schematic diagram of life boat battery charging system

그림 4는 현재 장착되어 있는 충전기의 사진을 나타내고 있다. 그림 (a)는 충전지의 외관을 나타내고, 그림 (b)는 내부기판을 나타내고 있다. 변압기에서 전압을 낮춘 후 교류를 다이리스터(오른쪽 중간위)에서 위상을 제어하는 방식으로 정류하여 배터리에 공급한다. 일반적으로 일정한 전압을 세팅하면 고정된 전압이 출력된다. 그러나 표 2와 같이 제품이 출고될 때 오차를 갖게 되고, 온도에 대응할 수 없다는 단점이 있다.

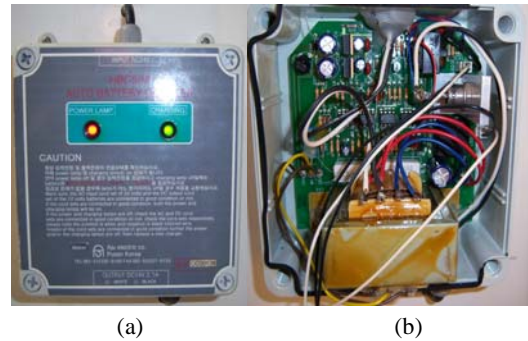


Figure 4: Photograph of battery charger

그림 5는 제안하는 구명정 배터리의 충전기시스템의 개략도를 나타내고 있다. 선내 발전기에서 공급되는 교류전원이 충전기에 입력되면 마이크로프로세서(PIC 18F4520)는 배터리의 터미널전압(충전기와 연결되어 있으므로 충전기의 출력 전압과 같음)을 입력받고 전지조의 온도 T2와 주변온도 T1을 측정하여 온도에 맞는 정류전압을 계산하고, 게이트에 출력하여 충전기의 출력전압을 결정하게 된다. 주변온도나 전지조의 온도가 35℃이상 되면

배터리 상자의 팬에 전원을 공급하여 환기를 시키는 시스템이다. 팬은 컴퓨터 본체의 환기를 위해 사용하는 DC12V용 팬을 사용하면 배터리 전원을 이용하여 동작시킬 수 있고, 방전이 필요할 경우 팬을 이용하여 배터리를 방전할 수 있는 장점이 있다.

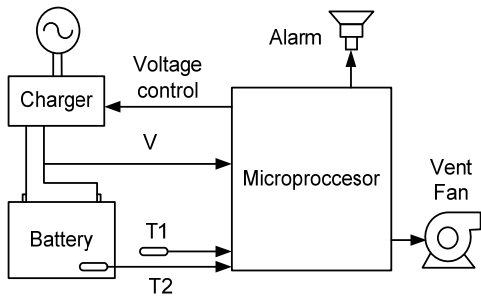


Figure 5: Block diagram of proposed battery charger

배터리 충전기의 효율은 무부하에서 공급전원이 24V일 때 무부하 전류가 0.32A가 흘렀고, 전부하에서 1차가 1.27A가 흘렀고, 배터리 전압이 10.8V였고, 전류가 2.11A로 효율은 83.4%였다.

4.2 구멍정의 구조개선

그림 6은 구멍정내의 엔진시동용배터리의 케이스를 나타낸다. 그림 (a)는 외함을 나타내고, 그림 (b)는 케이스 내에 들어 있는 것을 나타낸다. 선급 및 강선규칙 적용지침에 “0.5kW이하의 출력을 갖는 충전설비와 접속하는 축전지는 적절한 장소에 설치한 격납상자 또는 로커에 설치하여야 한다”는 규정에 따라 격납상자에 보관되어 있다.



Figure 6: Photograph of battery case

그림 7은 현재 구멍정에 설치되어 있는 축전지 격납상자의 환기구를 나타내고 있다. 기관시동용 축전지는 기관에 될 수 있는 한 가까이 설치하여야 하고, 만약 축전지가 축전지실 내에 설치되어 있지 아니할 경우에는 유효한 통풍장치를 설치하여야 한다고 규정되어 있다. 그림 (a)는 구멍정 외부에 배기관이 나와 있다. 선급규정은 구즈빅형을 설치하도록 하고 있다. 그림 (b)는 축전지의 상부에서부터 구멍정외부로 연결하는 벤트관으로 비닐 호스로 연결되어 있다. 그림 (c)는 축전지 격납상자 위에 실리콘을 처리하여 밀봉하고 있다.



Figure 7: Photograph of battery vent

담뱃불을 통풍호스 입구에 두는 실험을 통해 담배연기가 전혀 통풍구로 빨려나가지 않는 것을 볼 때, 기존 설치되어 있는 통풍시스템은 형식적인 설치로 보인다.

그림 8은 구멍정선수에 위에 설치된 통풍구 사진이다. 엔진의 흡기구로 이 안에 20φ의 호스를 연결하여 강제 통풍을 한다면 배터리의 냉각작용과 배기작용을 동시에 할 수 있을 것으로 판단되고, 이 시스템을 제한한다.



Figure 8: Photograph of lifeboat vent

표 3은 2011년 7월 22일 라이프보트의 도어를 밀폐한 경우와 전개한 경우 1/5정도만 열어서 하루 동안 라이프보트의 내부온도를 관찰한 것이다. 밀폐된 경우에는 오후 3시경에 배터리의 주위온도의 한계인 45℃를 넘는 것으로 나타났다. 또 도어를 열어 환기가 될 때는 온도가 떨어지는 것을 확인할 수 있고 전개했을 경우 주위온도 보다 2~3℃정도 높고, 45℃보다는 낮은 온도를 유지하고 있음을 알 수 있다. 따라서 밀폐된 공간에서도 강제 순환식 냉각을 한다면 냉각효과를 볼 수 있을 것으로 판단된다.

Table 3: Inner temperature of lifeboat by door open

시간	대기 온도	밀폐	전개	1/5 열음
11:00	28.5	39.0	29.0	31.0
12:00	29.5	41.5	30.5	32.5
13:00	30.5	44.5	32.0	34.0
14:00	31.5	49.0	34.0	36.0
15:00	32.0	50.5	34.0	37.0
16:00	30.5	47.0	33.0	33.0
17:00	28.5	44.5	31.5	32.0

그림 9는 구멍정의 배치도를 나타내고 있다. 접선의 기존 통풍구를 실선의 통풍구로 강제 배기한다면 냉각작용과 배기작용을 동시할 할 수 있을 것으로 판단된다. 온도가 상승하여 축전지의 전압이 높아지면 축전지 전원으로 팬을 구동하는 시스템을 제안한다. 팬을 구동하면서 배터리에 충전된 에너지를 소모하여 충전전압을 낮추는 장점이 있다.

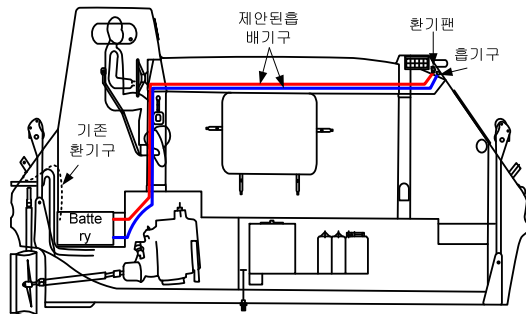


Figure 9: The proposed life boat general arrangement with vent

5. 결 론

배터리의 폭발사고는 주로 리튬배터리가 많이 발생되고 있지만 납산배터리는 관련연구가 거의 없는 실정이다. 목포해대 실습선에서 발생한 폭발 사고의 원인은 제품결함일 가능성이 높지만 구체적인 증거는 찾기 힘들었고, 객관적인 원인인 충전기의 충전전압제어와 배터리의 격납상자안의 온도 제어를 위한 관리와 유지 보수에 개선점을 제안한다.

1. 충전장치를 피드백이 가능한 제어장치를 제안한다.
2. 밀폐식 구멍정에 선급규정에 위배가 없도록 구멍정의 환기통을 이용하여 온도에 따라 자동으로 동작하는 배터리 격납상자의 강제환기장치를 제안한다.
3. “밀폐식 구멍정에 탑재되는 배터리는 주위온도가 45℃이하로 온도를 낮출 수 있는 강제환기장치의 설치하여야 한다”는 조항을 규정에 삽입할 것을 제안한다.

향후 배터리 주위 환경온도에 따라 충전전압을 변화할 수 있는 배터리 충전 시스템과 선급규정에 문제없는 환기장치의 개선에 관한 연구가 필요 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 한국선급 “강선 및 강선 규칙 제6편 전기설비 및 제어 시스템”, 한국선급, pp. 37-38, 2008.
- [2] 한국선급번역 “1974년 해상인명안전협약” - 2006년 통합본-, 해인출판사, pp. 663-768, 2005.
- [3] 안병원, 해기사 실무를 위한 전기공학, 다솜출판사, p. 264. 2009.
- [4] 김경태, “알루미늄과 리튬코발트옥사이드혼합물의 폭발특성에 관한 연구”, 호서대 석사학위논문, 2008.
- [5] 오재근 외 5인, “휴대폰배터리폭발사고사례”, 한국법과학회지, vol. 9, No. 1, pp. 71, 2008.
- [6] 박지훈 외 3인, “충전식랜턴화재사례에 관한 연구”, 한국화재방학회 2001년도 춘계학술발표대회초록집, 2010.

[7] 김영신 “황산겔 납축전지의 전해액조성에 따른 전기화학적 특성에 관한 연구”, 창원대학교 석사학위논문, 1999.

[8] <http://www.gbattery.com/>

[9] 메이커 공문, 세전공 : 세전공 제 2010-020호.

저 자 소 개



임명환(林明煥)

1961년 9월생, 1982년 목포해양전문대학 기관과 졸업, 1991년 호원대학교 기계공학과 졸업, 1998년 목포대학교 기계공학과 대학원 석사과정졸업(공학석사), 2004년 동대학원 박사과정졸업(공학박사), 1998년~현재 목포해양대학교 실습선 기관장

관심 분야: 선박엔진, 전기추진, 선박안전



안병원(安秉元)

1986년 한국해양대학교 기관공학과 졸업(공학사) 1996년 한국해양대학교 기관공학과 졸업(공학박사) 2002-2003 일본큐슈대학교 시스템정보대학원 Post Doctor 2009-2010년 일본큐슈대학교 시스템정보대학원 교환교수 1996년-현재

목포해양대학교 기관시스템공학부 교수

관심 분야: 보행로봇, 실버로봇, 용접자동화, 전기추진