

리튬폴리머전지 생산공장 화재



2017년 4월 21일 금요일 밤 22시 54분경 충남 예산군 에 위치한 리튬폴리머전지 생산공장에서 배터리 폭발로 인한 화재가 발생하였다. 화재가 발생한 생산공장은 철골조 샌드위치패널 지붕구조(지상3층)의 건물로 전체 사업장 연면적은 약 1만 2천 제곱미터였다.

인명 피해는 발생하지 않았으나 보험사 추정 재물 손해액은 500억 원에 달하는 것으로 조사되었다. 해당 생산공장은 가입금액 약 500억 원의 재산종합보험에 가입되어 있었다.

4차 산업혁명 시대와 맞물려 다양한 스마트기기들과 전기자동차 등이 개발되면서 리튬폴리머 전지 등 컴팩트하고 성능이 우수한 각양 전지들이 개발되고 있다. 이러한 시점에서 예측하지 못했던 원인에 의해 화재가 발생할 수 있다.

본 화재사례는 신종 제품에 대한 위험성과 리스크 관리의 필요성을 보여준 사례라고 할 수 있다.

리튬폴리머전지 생산공장 화재

1 일반사항

- 소재지 : 충남 예산군
- 화재일시 : 2017년 4월 21일(금요일) 22시 54분
- 발화장소 : 가동 사무실 부분 1층 포장실
- 재산피해 : 500억 원 (보험사 추정 손해액)
- 인명피해 : 없음
- 발화원인 : 배터리 폭발

2 건물 현황

2.1 건물 개요

리튬폴리머전지 생산공장은 공장동 2개동(가동 및 나동) 및 부속건물 5개동 등 총 7개 동으로 구성되어 있다. 공장동은 철골조 샌드위치패널 지붕구조의 건물이었으며, 공장동 중 가동은 서로 다른 용도(이하 “공장부분” 및 “사무실부분”으로 칭함)로 사용되는 2개의 건물이 2층 통로로 상호 연결된 구조였



그림 1. 화재 전 공장의 위성사진

다. 화재 발생 후 화재현장의 전체적인 연소흔적은 공장동 2개동이 전소되어 발화지점을 해석할만한 흔적이 남아있지 않은 상태였다.

표 1. 건물현황

건물명	층수(지상/지하)	연면적(㎡)	용 도
가동	3/0	8,129.27	작업장, 사무실, 식당
나동	2/0	2,845.97	작업장
위험물창고, 취급소	1/0	186.24	창고, 작업장
발전기실	2/0	190.89	발전기실
시험실, 연구실	3/0	1,029.98	시험실, 연구실
합 계		12,382.35	

2.2 공정 현황

본 공장은 1차 전지류를 생산하는 공정으로 리튬포일(Li Foil)과 니켈망(Ni Net)을 생산 후 최종적으로 리튬전지를 생산한다.

표 2. 제조 공정

반제품 제조 공정
* 리튬포일(Li Foil) 공정 원자재(리튬) → 압연(진공, 항온항습 분위기 공정) → 완성(반제품) * 니켈망(Ni Net) 공정 원자재(니켈) → 세척(물+세제) → 타공(그물망 형태) → 카본 도포(#) → 열처리(분위기 가스 수소 사용, 질소 냉각) → 재단 → 완성(반제품) # 바동 2층에서 흑연과 IPA의 혼합공정이 실시됨(반죽형태).
리튬전지 등 제조 공정
* 리튬포일, 니켈망 → 와인딩 → 케이스삽입 → 저부용접 → 상부 링 삽입 → 가스켓 삽입 → 전해액 주입(#유기질 전해액) → Vent/PTC/Cap삽입 → 세척(물) → 건조(Aging: 상온/30℃/60℃) → 검사 → 출고 # 유기질 전해액: Propylene Carbonate, Thionyl Chloride

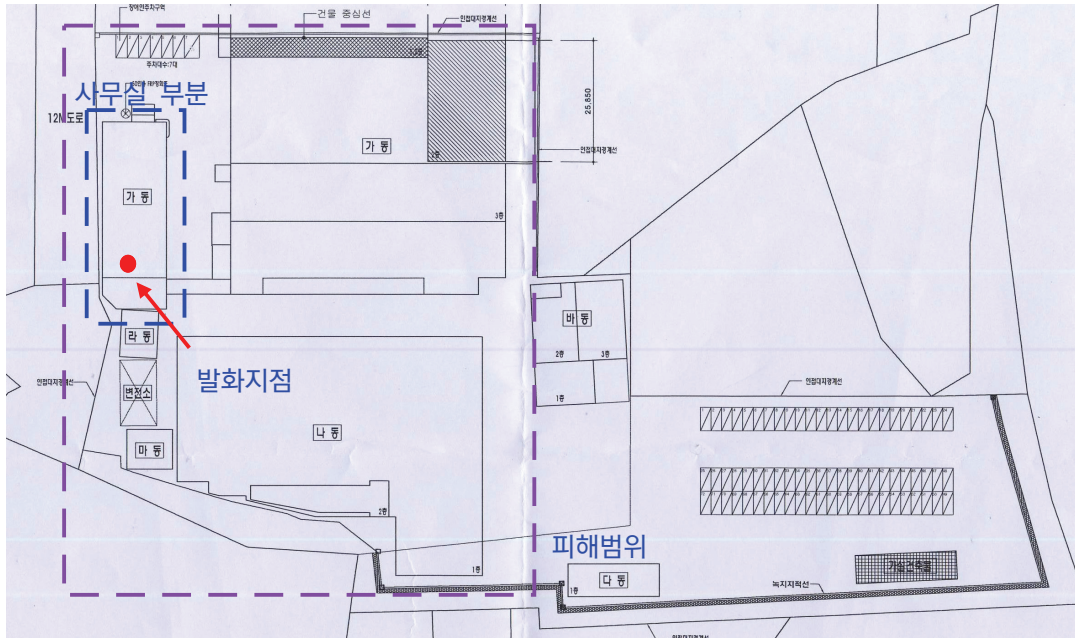


그림 2. 화재현장의 건물배치도

리튬폴리머 전지의 특성

○ 리튬폴리머전지의 장점

- High Voltage : 평균 전압이 3.7V, (타 2차 전지에 비해 3배 정도 높음).
- Fast charge capability : 1~2 시간 이내에 완전 충전이 가능함.
- long cycle life : 정상적인 조건에서 500회 이상의 충·방전 특성 보임.
- No Memory Effect: Nickel-cadmium 전지에서 나타나는 것과 같이 완전 충·방전이 되지 않았을 때 용량감소가 생기는 현상이 없음.
- Safer than Lithium ion battery : cell외부로 전해액 누액 염려 없음
- advantageous in the thinner battery: 얇은 cell을 만들기 적당하며 또한 bag을 사용해 package화하기 용이함.
- shape-free: 원하는 모양으로 잘라 원하는 모양의 cell을 얻을 수 있음.

○ 리튬폴리머 전지의 단점

- 충·방전 시 국부적으로 과열되기 때문에 열에 약한 고분자 전해질이 부분적으로 용해되거나 기화될 가능성이 높음.
- 물리적 변형으로 인한 내부 전극의 단락 위험.

○ 리튬폴리머 전지의 화재위험

- 날카로운 물체에 찌힘, 구부러짐 등 외부 충격이 가해지는 경우 전지 내부의 셀 사이의 단락으로 화재발생 가능
- 고온 환경에 노출되면 내부의 압력이 높아지는 스웰링 현상으로 인한 외형 변화 및 이에 따른 내부 셀 사이에서 단락으로 화재 발생 가능
- 설정 전압 또는 설정 용량 이상으로 과충전하는 경우 양극에서 산소가 발생하게 되며, 산소가 전해질 내에서 유기화합물과 반응하여 셀 내부의 압력을 증가시키고, 증가된 내부 압력에 의해 전지 내부의 셀 사이에서 단락으로 화재 발생 가능

2.3 소방시설 현황

수계 소화설비로 공장동 전역에 옥내 및 옥외소화전설비가 설치되어 있었다. 경보설비로는 공장동에 자동화재탐지설비가 설치되어 있었다. 가동의 위험물 일반취급소에는 자동식 소화설비(리튬 사용처-분말소화설비, 톨루엔 사용처-포소화설비)가 추가로 설치되어 있었다.

3 화재발생 상황

본 사업장의 근무인원은 총 240명이며 생산라인은 주로 야간근무로 가동되고 있었다. 사고당일(2017.4.21. 금)에도 야간 생산라인은 정상가동 중이었으며, 화재가 발생한 가동의 사무실 부분은 1층은 포장실, 2층 사무실, 3층은 구내식당 용도로 사용되고 있었다. 화재발생 당시 가동 1층의 포장작업장은 작업이 없는 상태로 소등 후 출입 인원이 없었고 출고 대기 중인 1차 전지제품이 다량 적재된 상태였다.

CCTV상 발화 추정지점 및 부근에는 1차 전지 외 기타물품은 적재되어 있지 않았다. 공장 관계자는 1층 포장실에서 화재를 최초로 목격하고, 소화기와 소화전을 이용하여 초기소화를 시도하였으나 급격한 연소 및 건전지 폭발로 실패하였다. 포장실에서 발생한 화재로 인해 폭발한 전지가 비산하여 주변 건물로 화재가 확대되었다는 공장관계자의 설명이 있었으며, 현장의 곳곳에서 전지의 연소 잔류물이 식별되었다(그림 3 참조).

- (1) 22시 54분 : 화재 신고 접수
- (2) 22시 59분 : 소방대 도착
- (3) 03시 33분 : 초기진압 완료

☞ 공장 내 높은 화재하중으로 인해 초기진압이 실패하였다. 최초 화재신고 후 약 6시간이 경과된 후 완전 진화되었다(소방차 29대, 소방관 226명 및 경찰·유관기관 등 총 327여명 출동).

4 화재 원인

가동 사무실 부분 1층 포장실 내부의 CCTV영상자료 검토결과 포장실 후면 전지 적재장소에서 폭발 및 연소 확대과정이 확인되었다(그림4 참조).

화재현장은 공장동이 전소되어 연소 확대 경로 및 발화지점을 판단할 만한 근거가 부족한 상태였다. 최초로 화재가 목격된 가동 사무실 부분 1층 포장실 또한 전소되어 연소 확대경로 및 발화지점을 판단할 만한 근거가 부족한 상태였다.

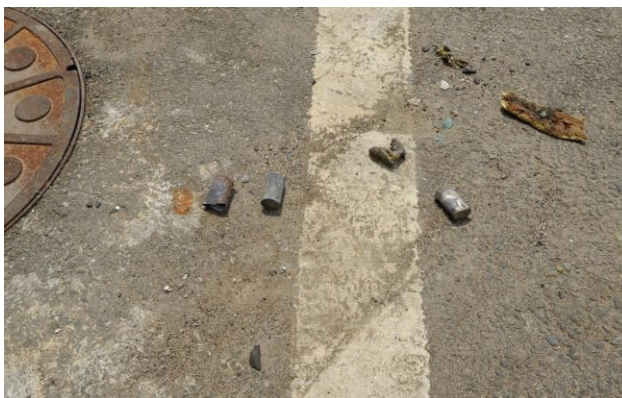


그림 3. 폭발 후 비산된 전지의 연소잔류물(구내 여러 개소에서 식별되었음)

5 사고현장의 문제점

5.1 공정위험

공장 내 완제품 저장공간은 별도로 방화구획이 되지 않아 추후 공사 시 보완하도록 화재보험협회의 안전점검 시 지적되었으며 위험물 일반취급소에서 리튬, 톨루엔 및 IPA 등을 저장취급으로 화재 및 폭발위험이 존재하나 가동 일반취급소의 전기설비는 일반형으로 설치되어 있었다.



그림 4. 1차 전지 적재개소에서 폭발 발생

5.2 연소확대 방지시설

가동 1층 및 2층 작업장 부분은 1,000 m² 초과하나 기계설비 설치 및 연속공정으로 방화구획이 불가하여 완화 적용되어 있었다.

6 안전점검 연계사항

6.1 전지제조 공장의 주요 점검 포인트

- (1) 충·방전실(에이징실) 점검: 충·방전 과정에서 발생하는 수소가스 배출설비가 적절하게 설치되어 있는지와 수소가스에 대한 가스경보설비가 적절하게 설치되어 있는지 점검해야 한다.
- (2) 금속성 물질(리튬 등)을 저장 및 취급하는 장소: 침수 또는 수계소화설비 설치 등으로 인하여 물기 접촉시 수소가스가 발생하기 때문에 저장소 상부에 수소가스 배출을 위한 환기설비가 설치되어 있는지 점검해야 한다.
- (3) 톨루엔 및 IPA 등 위험물 저장, 취급소의 전기설비는 방폭형으로 설치해야 한다.
- (4) 전지를 시험 생산하는 연구실 및 실험실 등에는 국소배기장치를 설치해야 한다.
- (5) 용해로, 열처리, 건조로 등 설비 점검: 분위기 가스로 사용되는 수소가스 및 연료용 가스(LNG 또는 LPG 등)의 누출 감지용 가스누출자동차단장치 또는 가스누출경보장치가 적절히 설치되어 있는지 점검하여야 한다. 또한 과열 방지를 위한 자동온도조절장치가 설치되어야 하며, 고온설비의 주변에는 일정거리 이상 가연물과 이격되어 있는지 점검해야 한다.
- (6) 집진설비 및 집진덕트(용해로 등과 연결)의 점검: 정전기 방전을 위해 분진이 접촉되는 부분은 금속제로 접지 및 본딩되어야 한다. 집진장치 내부에 설치한 전기기계 기구 등은 방폭형으로 설치되어야 한다. 고온 불티, 발화 가능한 분진, 이물질 등의 혼입이 방지되어야 하며, 집진덕트에는 조기반응형 적외선 감지기 및 이와 연동하여 작동하는 소화설비 가 설치되어야 한다.

6.2 보완사항

- (1) 생산 공정상의 충·방전실 뿐만 아니라 연구실의 충·방전 실험에 대한 점검이 필요하다. 열처리 공정인 용해로에서 발생하는 불티가 집진설비로 유입되어 화재가 다수 발생하므로 이에 대한 점검이 필요하다.
- (2) 전지제조 공장의 화재안전 기준 제정 필요: 리튬 저장관련(마그네슘, 알루미늄 방화기준 有) 및 충·방전실의 방화기준 등 제정이 필요하다.

7 참고자료

- (1) 금속성 물질의 취급 저장에 관한 기술지침(KOSHA GUIDE G- 77-2011)
- (2) 축전기 취급에 관한 기술지침(KOSHA GUIDE E- 10-2013)
- (3) 배터리실의 폭발위험장소 설정에 관한 기술지침(KOSHA GUIDE E- 137-2015)
- (4) 집진장치 방화기준(KSF 810)
- (5) 실험실 방화기준(KFS 745)
- (6) 마그네슘 저장 방화기준(KFS 552)