

독립형 태양광발전 시스템의 설계

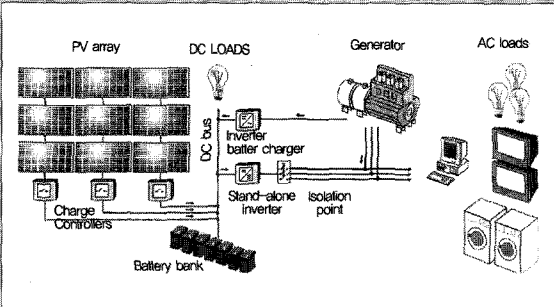
- 목차 -

- I. 독립형 태양광 발전의 개요
 1. 독립형 태양광 system의 정의
- II. 독립형 시스템의 계획과 설계
 1. 개요
 2. 독립형 태양광 발전 system의 설계 순서
- III. 기기 선정
 1. 독립형 PV 시스템의 모듈
 2. 독립형 PV 시스템의 축전지
 3. 납축전지의 작동방법 : 구조와 운용 원리
 4. 충방전 제어기

◆ 10월호부터 연재된 내용입니다.



글 _ 이현 화 (회원 No.8532)
한빛디엔에스(주) 대표이사/공학박사, 기술사



[그림 2-8] 추가 발전기와 DC와 AC 부하가 있는 DC 결합 독립형 시스템의 예. 이 시스템은 또한 단상 AC 쪽으로 구성될 수 있고 백업 발전기 없이 기능한다.

DC 결합 시스템의 장점은 다음과 같다.

- DC 부하를 사용할 수 있다.
- 축전지 충전과 DC 부하에 높은 효율이 존재한다.
- 계통 통제가 간단하다.
- 시스템은 비교적 강하다.

단점은 다음을 포함한다.

- 확장하기 어렵다.
- DC 전압 수준이 표준화되지 않는다.
- 긴 배선 루트로 높은 DC 손실을 갖는다.
- 독립형 인버터와 PV 어레이가 최대 부하를 위해 설계되어야 한다.
- DC 배선은 어렵다.

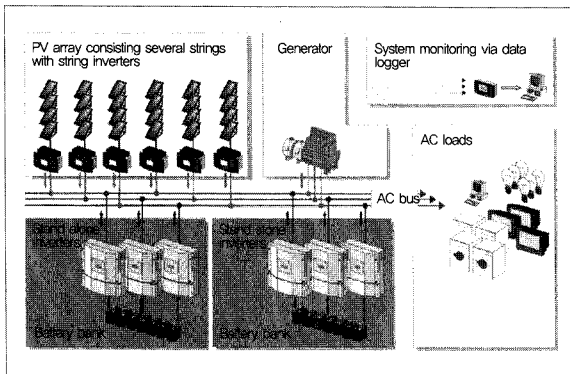
(2) AC 결합 시스템

이에 대조되게, 더 큰 시스템에는 PV 어레이와 부하의 AC측 결합이 저전압 전력 계통과 다른 독립형 시스템과 효과적인 연결성을 갖는다. 태양광은 독립형 계통에 공급되기 전 계통에 연결된 시스템에서 사용되는 것과 같이 기존의 스트링 인버터를 사용하여 AC로 변환된다. 모두 균일한 구성을 가진 필요한 수의 스트링이 AC 배전 시스템에 병렬로 연결된다. 먼저 소비를 담당하기 위해 태양광이 사용된다. 잉여분은 독립형 인버터를 통해 DC로 다시 변환되고 축전지에 저장되는데, 태양 에너지를 충분히 이용할 수 없을 때 그것은 축전지에서 독립형 계

통으로 다시 공급될 수 있다. 크기에 따라, AC 네트워크는 단상 혹은 삼상일 수 있다. 독립형 인버터들(그리고 모든 같은 종류의 장치들)은 단상 네트워크와 삼상 네트워크에 병렬로 배선되어 있고 삼상 사이에 동등하게 공유된다. 시스템 모니터 설비는 사용되는 측정 장비에 따라 인버터, 기능 제어 그리고 작동 데이터 분석과 통신을 가능하게 한다. 변압기가 없는 스트링 인버터는 메가 와트 범위까지 시스템을 가능하게 한다.

AC 결합 시스템의 장점은 다음과 같다.

- 더 낮은 최대 전력과 함께 더 높은 피크 전력과 더 비용이 저렴한 구성요소들을 경험한다.
- 계통 병렬 시스템에서 사용되는 것과 같이 큰 규모의 직렬 발전 구성요소들이 사용된다
- 확장 능력이 좋다.



[그림 2-9] AC 결합 독립형 시스템을 위한 배선도. 순수한 PV 공급과 단상 시스템을 가진 더 간단한 시스템도 가능하다

- DC 배전 시스템을 피한다.
- 추가 전력원에 쉽게 결합된다.
- 작동 최적화가 간단하다

단점은 다음을 포함한다.

- 계통 제어가 복잡하다.
- 아주 작은 시스템에는 시스템 비용이 더 높다.
- PV 전력을 위한 추가적 에너지 변환 단계는 손실을 포함한다.

통합된 충방전 제어를 가진 결합된 장치들이 이런 종류의 적용에 가장 잘 맞는다. 이것들은 AC와 DC 사이에 양방향 연결을 만들 수 있다. 통합된 관리 시스템으로, 독립형 인버터는 여러 발전기에서 공급되는 전력의 최적의 조정을 가능하게 하

고 축전지를 완충 장치로 사용한다. 통합된 충방전 제어기는 수명을 연장하기 위해 축전기 사용을 관리하고, 필요한 경우 전력 시스템에서 낮은 우선순위 부하를 차단할 수 있다.

이런 종류의 AC 결합 시스템은 주요 농촌 전기화 프로그램의 일부로 설치되어 왔고 설치되고 있는데, 진로소와 마을 학교뿐 아니라 모든 가구도 전기를 얻게 될 것이다. AC 결합은 에너지 요건이 성장하면서 시스템이 확장될 수 있고 기존의 전력원(예를 들어 디젤 발전기)이 통합될 수 있음을 의미한다. 단상 시스템으로 더 작은 시스템들이 건설된 한편, 더 큰 마을들은 PV 시스템을 위한 백업으로서 디젤 발전기를 가진 삼상 네트워크를 얻었다.

10) 다른 방법으로 독립형 태양광발전 축전기 용량 선정

독립형 전원 시스템의 축전지는 매일 사용되기 때문에 기대 수명을 몇 년으로 할지를 검토한다. 기기내 수납형으로는 보수가 용이한 소형 제어밸브식 납축전지, 거치용으로는 제어밸브식 거치납축전지와 소형 전동차용 납축전지 등이 쓰인다. 보통 불일조일수를 5~15일로 하므로 방전심도는 낮은 경우가 많은데, 일반적으로 50~70%가 채용된다. 보수율은 0.8로서 계산한다.

따라서 축전지용량 C는

$$C = \frac{L_b \times D_r \times 1000}{L \times V_b \times DOD \times 100}$$

이 된다. 여기에

L_b : 1일 적산 부하전력량 [kWh]

D_r : 불일조일[일]

L : 보수율

V_b : 공칭 축전지[V] ⇒ 납축전지의 경우는 2V

N : 축전지 개수[개]

DOD : 방전심도 [%]

(불일조일의 마지막날에 축전지용량의 65%까지 방전하는 설계를 한 경우는, DOD 65%라고 한다.)

L_b : 2.4kWh L : 0.8 D_r : 10일 V_b : 2V

N : 48개 DOD : 0.65로 하면

$$C = \frac{2.4 \times 10 \times 1000}{0.8 \times 48 \times 2 \times 0.65} = 481.4h$$

이 되어, SLM-500형 제어 밸브식 거치 납축전지 48개를 직렬 접속하여 사용하게 된다.

이 설계는 온도 25°C 일 때인 것으로, 방전시의 온도가 낮을 때, 예를 들어 5°C에서는 축전지용량은 95%, -5°C에서는 82%가 되므로 그만큼 용량을 크게 한다.

또, -15°C이하의 극저온에서의 사용에 대해서는 제조회사에 문의할 필요가 있다.

III. 기기 선정

1. 독립형 PV 시스템의 모듈

독립형 시스템에서 PV 어레이 내의 모듈은 대체로 12V, 24V 그리고 큰 시스템에서는 48V, 300V~400V의 공칭 직류 전압을 제공하도록 구성되어 있다. 이것은 모듈이 대체로 직렬로 연결되어 있다. 모듈의 더 쉬운 연결을 하기 위해, 플러그인 인입보다는 접속반을 가진 모듈이 사용되어야 한다(계통 연계 어레이에서 사용되는 긴 스트링을 구성하기 위해 사용하는 것처럼). 대부분의 독립형 시스템은 12V이다. 마라톤의 경우 320V이다.

2. 독립형 PV 시스템의 축전지

에너지 생산과 소비가 일반적으로 일치하지 않기 때문에 대부분의 독립형 시스템에서는 에너지 저장이 필요하다. 낮 동안 생산된 태양 에너지는 흔히 저녁까지 필요하지 않으며 따라서 일시적으로 저장되어야 한다. 오랜 기간 동안의 구름 낀 날씨에도 전력이 필요하다. 대부분의 독립형 태양광 시스템은 축전지를 가지고 있는데, 태양광 물펌프 시스템은 예외이다. 이 시스템에서는 태양이 충분히 있을 때 물을 펌프하여 저장한다.

독립형 태양광 시스템에서 사용되는 가장 일반적인 종류의 축전지는 재충전할 수 있는 납축전지이다. 이것들은 가장 비용이 저렴하고 높은 효율성으로 대용량과 소용량의 충전 전류를 처리할 수 있다. PV시스템에서, 저장 능력은 일반적으로 0.1kWh에서 100kWh에 이르는데, 몇 개의 시스템에서는 이미 MWh 범위가 도입되었다. 상업적으로 판매 할 수 있는 다른 종류의 재충전 축전지는 니켈 카드뮴, 니켈 무소 하이브리드, 그리고 리튬 이온 축전지들이다. 이것들은 라디오, 시계, 손전등, 그리고 노트북 컴퓨터와 같은 소형 제품에 주로 사용된다.

3. 납축전지의 작동방법 : 구조와 운용 원리

납축전지는 여러 개의 개별 전지로 이루어져 있고, 각각의 전지는 2V의 공칭 전압을 갖고 있다. 블록 조립으로 만들어졌을 때, 전지들은 공통의 하우징 안에 들어 있고 내부적으로 직렬로 배선되어 있다(예를 들어 12V 블록에는 6개의 전지). 큰 용량의 축전지 탱크에는 크기와 무게 때문에 개별 전지들이 사용된다. 그러면 이것들은 설치될 때 같이 연결되어야 한다. 이 경우, 전지를 직렬 혹은 병렬로 연결함으로써, 각종 기기에 필요로 하는 시스템 전압과 용량을 만들어낼 수 있다.



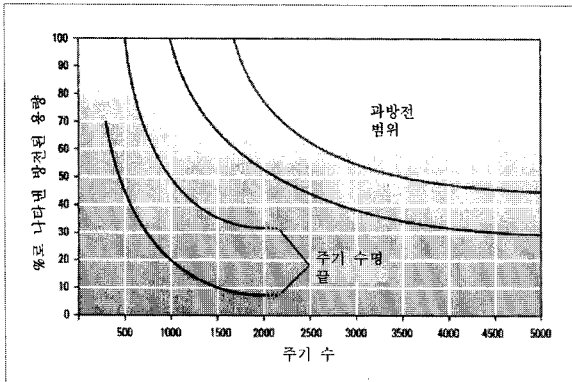
[그림 7-3] 독립형 태양광 시스템에 사용 되도록 설계된 축전지들

하나의 전지는 희석된 황산(H₂SO₄)으로 만든 전해질로 채워진 용기로, 그 안에 다른 극의 두 개의 판이 설치되어 있다. 판들은 전극 역할을 하며 격자 모양의 납 담체와 작용 물질로 구성되어 있다. 이 다공성의 작용 물질이 실제 에너지 저장소이며, 스폰지 같은 구조가 전기화학 반응을 위한 충분한 표면적을 제공한다. 충전된 상태에서 음극 판은 납(Pb)이고 양극 판은 이산화납(PbO₂)이다. 음극에서 양극을 분리하기 위해, '분리기'가 사용된다.

전기를 이끌어 내면, 부하를 통해 음극에서 양극으로 전자가 흘러, 판들과 황산 사이에 화학 반응을 일으킨다. 이것은 산의 유형이 작용 물질에 결합하면서 두 개의 판 표면에 황산염(PbSO₄)이 형성되도록 한다. 그러므로 전해질은 축전지가 방전되면서 소모된다. 이것은 산의 농도를 감소시킨다. 이 변화는 액체 비중계로 아주 잘 측정할 수 있고, 이것은 전지의 충전 상태를 확인할 수 있게 한다.

현재의 축전지 전압보다 높은 전압으로 PV 모듈을 사용하여 축전지를 재충전할 때, 전지는 다른 방향으로 움직인다(즉 양극에서 음극으로). 이것은 방전 중 일어난 화학 변화를 역전시킨다. 이 과정은 완전히 역전되지는 않는다. 작은 양의 황산염

이 다시 녹지 않는다(설페이션). 방전/충전 과정의 결과로 축전지의 용량은 약간 감소한다. 이 용량 손실은 방전이 깊을수록 크다. 만일 축전지 용량의 일부만 사용되었다면, 용량 감소는 비교적 작다. 그러므로, 방전 용량이 적은 애플리케이션에 사용될 때, 축전지의 수명은 상당히 증가한다. 그림 7.4는 방전 심도와 충방전 사이클의 관계를 보여준다. 사이클의 면에서 축전지 수명은 대체로 주어진 방전 심도 그리고 각 사이클에서 완전히 충전된 축전지에 대해 명시된다. 축전지의 사이클 수명은 충전된 상태의 용량이 정격 용량의 80 퍼센트 이하로 떨어지기 전 얻을 수 있는 사이클 수로 정의된다. 그 시점 이후에도 축전지는 사용될 수 있으나 이용할 수 있는 용량이 계속 떨어지고, 특히 단락의 결과, 갑작스러운 정지 위험이 증가한다.



【그림 7-4】 납축전지의 수명, 수는 축전지 종류와 방전 심도에 달려있다.

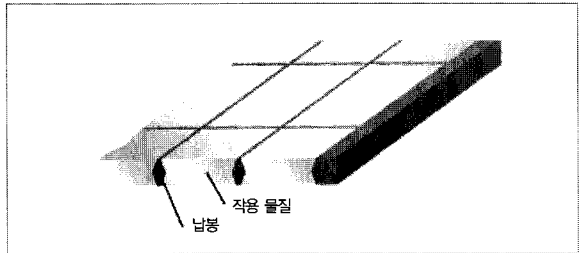
주) 주어진 시스템에서 축전지의 수명을 추정할 수 있도록 이것과 같은 그래프를 축전지 제조사들이 제공한다. 때로, 그 정보는 표의 형태로 주어지기도 한다.

3.1 납축전지의 유형과 설계

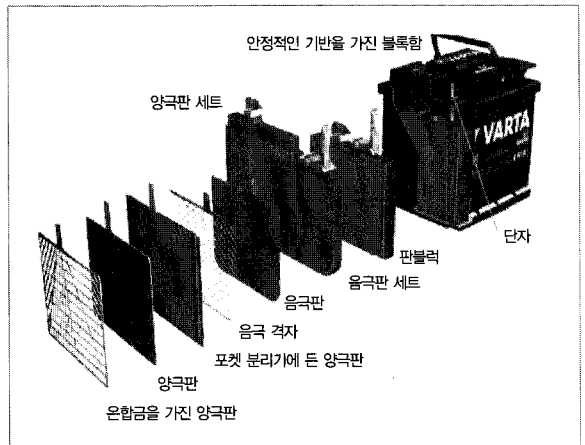
납축전지는 극판 기술과 사용하는 전해질 종류에 따라 다른 종류로 구분된다. 태양광 설치물에서는 흔히 액체 전해질을 가진 격자판 납축전지(태양 전지 혹은 변경된 시동 축전지라고 알려진), 젤 축전지, 튜브모양 판 축전지 그리고 블록 축전지(개별 전지)가 사용된다.

액체 전해질을 가진 격자판 납축전지(습전지)

가장 일반적인 축전지 종류는 격자판과 액체 전해질을 가진 납축전지이다. 그것은 자동차의 시동 축전지로 사용되기 때문에, 많은 수량으로 제조되고 따라서 기동-조명-점화(SLI)의 축전지라고 부른다.



【그림 7-5】 격자 판 횡단면



【그림 7-6】 액체 전해질을 가진 격자판 납축전지(SLI) 구성

양극과 음극 모두 격자판이다. 작용 물질을 격자 위에 연고상태로 바를 수 있기 때문에, 격자판은 낮은 비용으로 생산할 수 있다. 이 축전지의 변형은 때로 소위 말하는 태양용 축전지라고 알려져 있다. 여기서 우리는 차량 시동 축전지를 독립형 태양광 시스템에 사용할 수 있는지의 문제를 간단히 살펴보겠다. 차량 시동 축전지는 많은 수의 비교적 얇은 판으로 만들어져 있다. 이것은 넓은 작용 표면적이 생기게 한다. 그 결과, 짧은 시간 동안 높은 시동 전류를 제공할 수 있다. 이것은 다만 몇 초 동안만 흐르며, 그것은 축전지 용량을 조금만 감소시킨다. 짧은 동안(얇은 판) 높은 성과를 위해, 충방전 횟수가 감소된다. 그러므로 최고 50 퍼센트의 방전 심도로 정상적인 그리고 주기적인 태양광 사용에서 시동 축전지는 며칠 후 사용할 수 없게 될 것이다. 그것의 용량은 초기 용량의 아주 작은 부분으로 감소될 것이다. 그러므로, 일반적으로, 차량 시동 축전지는 적절하지 않고 그것이 구입할 수 있는 유일한 종류의 축전지일 때만 독립형 태양광 시스템에서 사용되어야 한다(트럭 축전지가 최고 2년까지 사용수명을 가지며 작은 시스템에 사용되는 개발 도상국의 많은 지역과 같은 경우). 그것들이 사용될 때,

축전지를 적절하게 정립하고 가능한 경우, 충방전 제어기의 저전압 차단을 때로 아래로 조정함으로써 일일 평균 방전을 낮게 유지해야 한다.

자동차 시동 축전지와 대조되게, 소위 말하는 태양 전지는 충방전 횟수를 증가시키기 위해 더 두꺼운 판으로 만들어지고, 납 격자는 안티몬 첨가제로 경화된다. 이에 덧붙여, 부식을 줄이고 따라서 사용 수명을 증가시키기 위해 산 함량이 약간 낮다. 축전지 용량은 방전되는 전류의 세기와 온도 둘 다에 달려 있다. 온도가 내려가면, 용량은 적어지고 : 온도가 올라가면 용량은 증가한다. 예를 들어, 온도가 20℃에서 0℃로 떨어지면, 사용할 수 있는 용량은 약 25 퍼센트 감소한다.

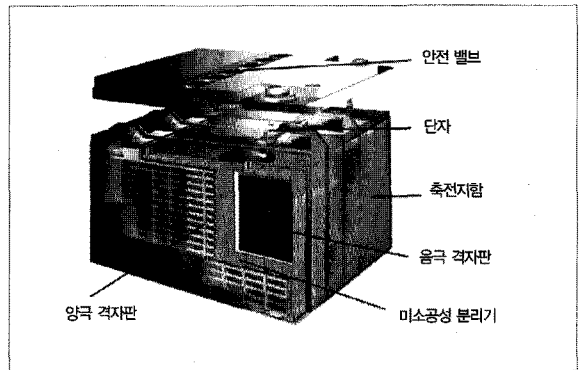
그림 7.4의 납축전지 특성 곡선은 태양 전지(Verta 제조)의 충방전 사이클을 보여준다. 용량의 70 퍼센트가 정상적으로 방전되었을 때인 70 퍼센트 방전 심도에서, 그것은 200회의 충방전 사용 수명을 가짐을 의미한다. 50 퍼센트 방전 심도에서, 그것은 400 사이클 이상으로 상당히 증가하고 20 퍼센트에서는 1000 사이클이다. 이 종류의 축전지는 산발적 애플리케이션(예를 들어, 캠퍼 밴, 배 그리고 주말 별장)에 적절하다. 축전지가 충분한 치수로 만들어졌다는 것을 조건으로, 50 퍼센트 방전은 드물게 일어나고 그 결과 사용 수명이 극적으로 길어질 것이다. 만일 가능하다면 방전 수준이 50 퍼센트 이하로 떨어지지 않도록, 충방전 제어기의 사용이 요구된다. 그러면 이것은 축전지를 보호하기 위해 충분히 여유 있게 부하를 차단시킨다.

젤 납축전지

격자판을 가진 전통적 납축전지가 좀 더 발전된 것이 젤 축전지이다. 이것에는 첨가제의 첨가로 산이 젤 상태로 진해져 있다. 이것의 특별한 이점들은 다음과 같다.

- 문제를 일으키는 산 성층화가 없음. 셀페이션 감소
- 더 높은 충방전
- 가스를 발생시키지 않아, 통기가 좋지 않은 조건에서도 사용할 수 있음
- 완전히 밀봉된 누출 방지 하우징으로 어떤 곳에도 설치 (예를 들어 배와 캠퍼 밴)
- 사용 수명 중 전해질을 채워야 할 필요가 없기 때문에 유지보수 불필요

액체 전해질을 가진 축전지는 외함과 분리할 수 없는 장치로 밀봉된 설계로 제조된다. 전해질 높이를 확인하고 채우기 위해 밀봉 플러그만 열 수 있다. 이와 대조되게, 젤 축전지는 정상적 운영 조건에서는 물을 보충해야 할 필요가 없기 때문에 밀봉 플러그를 필요로 하지 않는다. 그 결과, 그것들은 밀봉된 축전지로 만들어지고 안전 밸브와 함께 설비하는데, 안전 밸브는 과도한 충전 결과로 생기는 가스가 방출되도록 한다. 그러므로 젤 축전지는 유지보수가 필요하지 않다.



【그림 7-7】 젤 납축전지의 구성요소

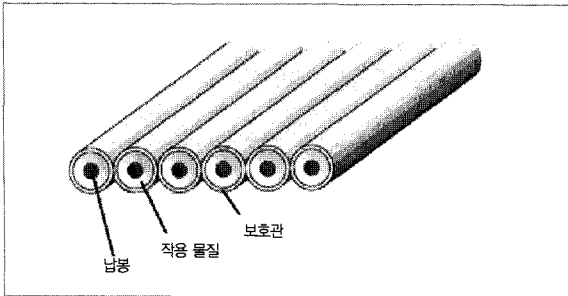
젤 축전지들은 과도한 충전에 매우 민감하기 때문에 이런 종류의 축전지는 그 특성에 맞는 충방전 제어기가 필요함에 유의해야 한다. 축전지를 건조하게 하는 과충전으로 가스 발생이 일어나지 않도록 충전 차단 전압을 엄격하게 고수하여야 한다. 밀봉된 설계 때문에, 산 농도를 측정함으로써 충전 상태를 확인하는 것이 불가능하다. 충전 상태에 대한 대략적 정보를 얻는 유일한 방법은 축전지 전압을 측정하는 것이다.

그림 7.7의 젤 축전지의 특성 곡선은 젤 축전지가 방전 심도 50%로 1000 사이클 동안 유효함을 보여준다. 그러므로 충방전 수는 액체 전해질을 가진 축전지의 사이클 수의 두 배 이상이다. 30 퍼센트 방전 심도에서 실제로 대표적인 것처럼 충분한 치수 사용은 젤 축전지가 2000 사이클을 갖도록 하지만 액체 전해질을 가진 축전지는 700 사이클을 갖도록 한다. 젤 축전지의 사용 수명은 더 길지만, 그것은 액체 전해질을 가진 납 축전지보다 더 비싸다. 이 축전지들의 적용 분야는 몇 년 동안의 사용 수명을 가진 고효율 부하에서 사용된다.

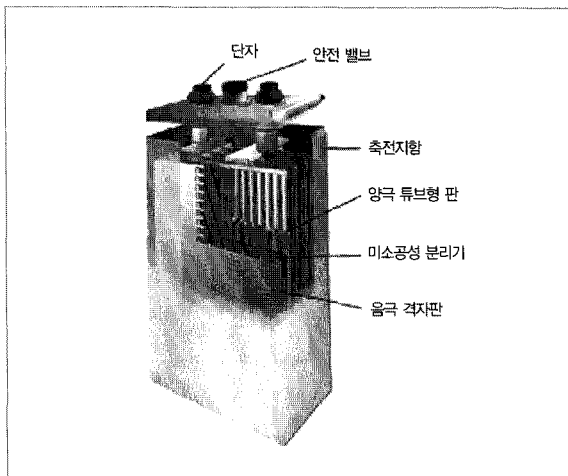
고정된 튜브형 판 축전지(OPZS와 OPZV 종류)

더 큰 크기의 큰 고정되어 있는 전력 공급 설치에서 15년에서 20년에 걸친 내구성이 좋은 장기간에 걸친 사용과 연중 사용

(예를 들어, 독립형 운용에서 공급된 빌딩에서)을 위해서는, 충방전 사이클이 많은 튜브형 판 축전지의 사용이 권장된다. 두 배에서 세 배의 구입 비용뿐 아니라 더 큰 무게와 부피 그리고 설치 장소 때문에 더 많은 비용(그것들은 특별 축전지실에 설치되어야 하고 지지 구조가 필요하다)이 관련된다. 튜브형 판 축전지는 특별 분리기를 갖고 있는 밀봉된 OPz-S 종류(독일 Ortsfeste Panzerplatte Spezial-Stationary Tubular Plate Special) 혹은 젤 전해질을 가진 밀봉된 OPzV 축전지(Ortsfeste Panzerplatte Verschlussen-Stationary Tubular Plate Sealed)로 입수할 수 있다. 그것들은 비상 전력 시스템에서 표준이며 태양광 산업을 위해 특별히 개발된 것은 아니다. 이들 제품들은 잘 발달되었고 수십 년 동안 있었으며 독립형 태양광 애플리케이션에 훌륭한 선택이다.



【그림 7-8】 튜브형 판의 단면 GmbH



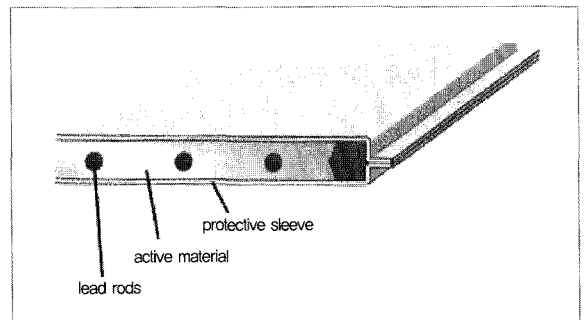
【그림 7-9】 양극 튜브형 판과 음극 격자판을 가진 OPzV 축전지의 구성요소들

고정된 튜브형 판 축전지는 음극 설계에서 태양 전지와 시동 전지와 다른데, 그것은 튜브형 판으로 형성되어 있다. 이들 판

에서, 봉은 침투성의 튜브로 둘러 쌓여 있고 그것을 통해 전극이 통과할 수 있다. 보호관('튜브')이 작용 물질을 안쪽 공간에 기계적으로 고정시키고 침전도 제한한다(작용 물질의 가는 입자들이 축전지함 바닥에 떨어질 때). 튜브형 판은 특히 안정적이고 축전지가 높은 충방전 사이클을 갖도록 보장한다. OPzS와 OPzV 축전지(그림 7.8과 7.9)의 충방전 횟수는 다른 종류의 축전지들보다 상당히 더 높다. 50 퍼센트 방전 심도에서 그것들은 약 3500 사이클의 수명을 가지며 공칭 용량의 45 퍼센트만 방전이 되면 5000 사이클에 도달한다. OPzS 축전지들은 반년에서 3년마다 한번씩 유지보수가 필요하다. OPzV 축전지들은 유지보수가 필요하지 않다.

납작한 양극판을 가진 블록 축전지(OGI 블록)

액체 전해질을 가진 OGI(독일어 Ortsfeste Gitterplatten에서 나옴- '고정 격자판') 블록 축전지도 고정 축전지의 한 종류이다. 이 경우 양극은 격자판과 튜브형 판 사이의 절충인 납작한 판이다. 봉은 개별적으로 쌓여있지 않으나 공동의 보호관으로 둘러싸여 있다. 이것은 납작한 판이 튜브형 판보다 더 쉽고 더 값싸게 제조될 수 있도록 한다. 그럼에도 그것들은 격자판보다는 수명이 더 길다. 블록 축전지의 음극도 격자판이다.



【그림 7-10】 납작한 판의 단면

블록 축전지는 높은 전류 신뢰성과 높은 충방전 사이클을 특징으로 한다. 그것들은 75 퍼센트 방전 심도에서 1300 사이클에 이르고 30 퍼센트 방전 심도에서 4500 주기에 이른다('Vb' 범위, Varta 볼거). 하우징 안에 산이 많이 있기 때문에, 유지보수가 3년에서 5년마다 요구된다. 이 축전지 종류는 아주 적은 전류라도 재충전에 유용하고 약 95 퍼센트에서 98 퍼센트의 매우 훌륭한 충전 효율성을 성취할 수 있기 때문에 흔히 PV 시스템에서 사용된다. ❖

다음호에 계속 ◆◆