

太陽光發電技術을 이용한 落島電化事業

공학박사 송진수

한국동력자원연구소 태양광연구실장

1. 서론

지난 20년간 지속되어 온 고도의 경제 성장과 산업발전은 국민소득 증대와 생활수준 향상에 크게 기여하였지만, 이에 수반되는 에너지 수요의 급증과 공해 발생은 또다른 문제점으로 심각하게 대두되고 있다. 따라서 에너지의 대부분을 수입에 의존하고 있는 국내실정으로는 석유자원의 지역적 편중성과 전략화 추세에 의한 공급의 불안정에 대비하고 미래의 에너지 원을 확보하기 위하여 대체 에너지의 개발이 절실히 요구되고 있다. 이러한 대체 에너지 중에서도 태양 에너지를 이용한 태양광 발전은 무한정한 태양광으로부터 직접 전기를 얻을 수 있는 첨단기술이므로 다른 발전방식에 비해

- 연료를 사용하지 않으므로 대기오염과 환경공해가 없으며

- 기계적 가동부분이 없어 진동과 소음이 없고

- 수명이 20년 이상 길며

- 시스템 용량에 제한성이 없을 뿐만 아니라

추가설치가 용이하며

- 운전·유지관리 및 보수가 거의 불필요한 장점을 지닌다.

그러나 아직까지는 설치시의 초기 투자비가 높고 발전단가가 비싼 단점이 있으므로 지상에서의 일반전원보다는 우주선 전원, 산간 또는 도서지역의 전원 및 휴대용 전원 등 응용분야가 한정되어 있다.

특히 우리나라의 경우에는 육지에서의 전화율이 99% 이상인데 반해 약 3,200개의 도서지역 중 510여개에 달하는 유인도서의 전력공급 형태는, 육지에서 가까운 약 230개의 섬은 한전 계통선에서 직접 전기를 공급하며 나머지 280여개의 도서지역은 디젤 자가발전에 의해 제한 송전을 하거나 전혀 전기를 공급받지 못하고 있는 실정이다.¹⁾

그러나 미전화 도서지역의 전원개발을 위해 보급되어 온 디젤 발전기의 경우 유류 수송, 유지관리 및 보수, 공해 및 소음 발생, 발전기의 내구연한 등 많은 문제점을 내포하고 있으며, 또한

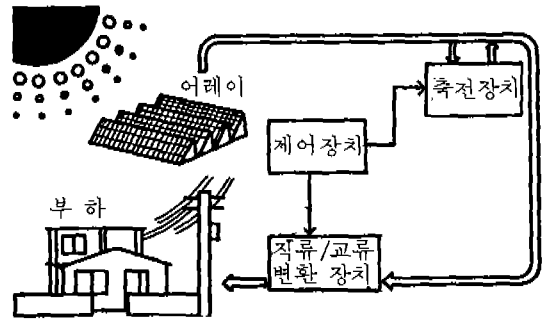
최근 계획되고 있는 해저 케이블에 의한 계통선 송전설비와 철탁설치의 경우에도 막대한 투자 및 기술상의 문제점이 예상되고 있다. 따라서 낙도 지역 주민의 쾌적한 환경 조성 및 생활수준 향상을 위해서는 태양광 발전 시스템을 이용한 24시간 송전 체제가 가장 바람직한 전원으로서 인식되고 있으며, '89년부터 동력자원부 주관하에 산·학·연이 공동 참여하여 태양광 범국가적 연구사업에²⁾ 의한 태양전지와 주변장치의 국산화를 추진하고 있으므로 '92년부터는 기존발전방식과 경쟁적·기술적으로 경쟁 가능한 태양광 발전 시스템이 보급될 전망이다.³⁾

2. 태양광 발전기술

태양광 발전이란 광기전력효과(Photovoltaic Effect)를 이용하여 태양광을 직접 전기 에너지로 변환시키는 첨단기술이다. 즉 태양빛이 가지고 있는 에너지를 흡수하여 반도체내의 전자와 정공이 만들어지고, 반도체내에 형성된 집합에 의해 분리되어 움직이므로써 기전력이 발생된다. 이러한 반도체 변환소자를 태양전지라고 하며, 태양전지는 전기적 전도성이 서로 다른 접합구조와 전극 및 반사방지막으로 형성되어 있다.

그러나 태양전지는 설치될 장소의 가혹한 기상조건과 기계적 충격에 견딜 수 있어야 하므로 필요한 단위 태양전지를 연결하여 내후성, 내구성 재료의 견고한 용기내에 봉입시킨 Module로 제품화되고 있다. 이러한 Module을 시스템의 용량에 따라 직렬, 병렬로 연결시킨 태양전지판을 Solar Array라 한다.

태양전지에 사용되는 반도체 재료는 결정질(단결정 또는 다결정) 실리콘이 대표적이며, 현재 시판되고 있는 태양전지의 대부분을 차지하고 있다. 그러나 결정질 실리콘은 고가일 뿐만 아니라 직경에 따른 일정 이상의 두께를 가져야 하



〈그림 1〉 태양광 발전 시스템의 구성

므로 최근에는 비정질 실리콘 또는 화합물 반도체인 CuInSe₂, CdTe 등 값싼 재료와 제조공정의 박막태양전지에 관한 연구가 활발히 추진되고 있다.⁴⁾⁵⁾

또한 태양전지에 의한 태양광 발전은 햇빛이 비치는 시간에만 직류발전이 가능하므로 비가 오거나 밤에도 전기를 공급하기 위해서는 발전된 전기를 저장하여 사용할 수 있는 축전지가 필요하며, 직류전기를 교류전기로 변환시키는 인버터 장치와 과충방전방지 및 시스템을 효율적으로 운영하기 위한 제어장치가 필요하다. 그림 1은 이러한 태양전지와 주변장치로 구성된 일반적인 태양광 발전 시스템을 나타낸 것이다.

3. 태양광 발전 시스템의 설계⁶⁾

낙도 전원용의 태양광 발전 시스템을 설치하기 위해서는 육지에서 멀리 떨어진 입지조건에 따른 설치공사와 운전 및 유지관리의 제약 때문에, 현지조사의 분석결과를 토대로 세부항목별 검토사항과 이론식을 이용하여 설계되어야 한다.

3.1 입지 및 기상조건

대상지역의 입지 및 기상조건은 태양광발전 시

스택의 설치장소를 선정하기 위한 중요한 변수이므로 신중하게 조사 평가하여야 한다.

첫째, 입지조건은 마을이 있는 곳을 최우선으로 선택해야 한다. 왜냐하면 송배전시 선로손실을 최소화 하여야 하며 태양광 발전 시스템 운영이 용이하기 때문이다. 둘째, 태양전지를 남향으로 설치할 수 있도록 설치면적이 충분하여야 한다. 셋째, 기상자료에 대한 종합적인 자료를 확보해야 한다. 왜냐하면 출력은 일사량에 따라 결정되므로 장기간의 정확한 일사량 통계자료를 확보해야 하며, 축전지 용량결정 및 태양전지의 지지대 설계시 필요한, 장마 또는 안개에 의한 부조일수 및 최대풍속에 관한 기상자료의 분석이 필요하다.

3·2 부하량 산출

태양광 발전 시스템의 설치장소가 선정되고 기상통계자료의 분석이 완료되면 대상지역에 필요한 부하량을 산출하여야 한다. 부하량을 결정하는 가장 적절한 방법은 현지의 모든 전력부하를 실제로 조사하여 일별 사용시간을 구한 후에 연간 월별 총 전력 사용량을 산출하여야 한다.

그러나 대부분 도시지역의 월별 전력 사용량은 제한송전 때문에 부하 종류가 한정되어 있으므로 연속 송전체제로 바뀔 때 따라 가상 전력부하를 추가하여 월별부하량을 예측하여야 한다. 즉 태양광 발전 시스템 설치 후에 예상되는 전력 수요 증가를 검토한 후에 월별 전력 사용량에 가산해야 한다. 또한 전력 사용량 뿐만 아니라 부하의 종류에 따른 특성을 고려하여 부하의 시간대별 Pattern을 반드시 예측하여야 한다.

3·3 태양전지 및 축전지 용량 산출

태양전지와 축전지 용량은 설치장소의 월별 경사면 일사량, 전력사용량 및 부하 Pattern 등을 감안하여 다음과 같이 결정한다.

태양전지의 용량 (KWP)

$$\frac{\text{평균일일 부하 사용량 (kWh/일)}}{\text{경사면 일사량 (kWh/m}^2\cdot\text{일)}} \times \text{시스템 효율 AM 1.5}^*$$

$$\text{축전지 용량} = \frac{\text{평균일일 부하 사용량}}{\text{시스템 효율}} \times (1 + \text{부조일수})$$

이와 같이 산출된 태양전지와 축전지 용량은 태양전지 어레이의 경사각과 월별 전력사용량에 따라 약간의 차이가 있으므로 편차를 고려하여 실제용량은 연간 최대 일사량을 얻을 수 있는 경사각과 가상 전력수요를 감안하여 결정한다.

3·4 인버터와 제어장치

태양전지 및 축전지의 용량이 산출되면 직류 전원을 교류전원으로 변환시켜 주는 인버터의 용량을 산출하여야 한다.

인버터의 용량은 시간대별 부하 Pattern으로 부터 순간최대부하량을 산출하여 인버터의 전체 용량을 결정하게 된다. 최대 부하량과 최소 부하량에 심한 격차가 있을 경우에는 일반적으로 저부하에서 변환효율이 현저히 떨어지는 인버터의 특성을 고려하여 전체 용량을 병렬 운전하는 것이 바람직하다.

즉, 상용부하시의 인버터와 최대부하시의 인버터를 각각 설치하여 부하의 변동에 따라 인버터의 작동을 자동 교체함으로써 시스템의 이용 효율을 향상시킬 수 있는 방법을 강구하여야 한다.

한편 제어장치는 태양전지에서 발생된 전력을 축전지에 충전시켜 주는 기능을 하는 장치로서 축전지와 태양전지 사이에 연결되어 태양전지에서 발생된 전력을 축전지에 충전할 수 있는 안

* AM 1.5는 쾌청한 날 태양이 수직상에 있을 때의 지표면 일사량으로서 1kW/m²을 의미함.

정된 전력으로 조정하여 전달하고 동시에 축전지에서 태양전지로 역전류가 흐르는 것을 방지하게 된다.

또한 축전지의 과충전 및 과방전방지와, 태양전지 출력전압 특성에 따라 최대효율을 얻을 수 있는 운전전압의 설정 및 유지관리를 위한 시스템의 전반적인 제어기능을 갖추어야 한다.

4. 낙도 전원용 태양광 발전 시스템

4.1 25W KP 하화도 태양광 발전 시스템의 설치

태양광 발전기술, 즉 태양광 발전 시스템을 구성하는 태양전지, 축전지, Inverter 및 제어장치의 개발과 시스템의 이용기술에 관한 연구를 수행하여 온 동력자원연구소 태양광 연구실에서는 그동안 축적된 기술을 태양광 발전에 의해 낙도지역에 실용화하기 위하여 전기를 공급할 수 있는 태양광 발전 시스템을 설치키로 하였다.

하화도는 여수에서 약 22km 떨어져 있으며, 농업과 김양식을 주업으로 48가구, 234명이 살고 있는 조그마한 섬이다.

태양광 발전 시스템의 설계이전에 입지조건과 기상조건 그리고 부하현황을 조사하였다. 입지조건은 경우 대부분의 섬지역과 마찬가지로 하화도에도 충분한 평지를 확보하기 곤란하여 해풍에 의한 염수피해가 적은 구릉의 경사면 유휴지를 그대로 활용할 수 있는 계단식 설치방법을 선택하기로 하였으며, 기상조건은 목포 측후소의 최근 5년간 자료를 적용하기로 하였다. 기상자료 분석은 10년 이상의 장기간 통계자료가 필요하며 특히 설치대상의 특정지역에 국한된 측정자료가 요구되나 국내 16개 측후소 이외에는 통계자료가 미비되었을 뿐만 아니라 하화도 인접지역인 여수 측후소의 경우에도 일사량 측정자료가 불충분하여 목포지역의 수평면 일사량으로부터 경사면 일사량을 산출하였다. 그 결과 연중 총일사량을 가장 많이 얻을 수 있는 30°

〈 표 1 〉 하화도의 부하현황

부하명	규격 및 용량 (W)	현 재 보유량	증 가 추정량	사용전압 (볼트)	사용전류 (Amp)	일사용시간 (시 간)
T V	55	51	60	110	25.5	4 ~ 6
냉 장 고	50	7	50	110	3.2	24
전기 밥솥	600	6	50	110	32.7	40분
커피포트	700	26	30	110	165.4	10분
전기다리미	600	15	30	110	81.8	20분
선 풍 기	55	42	50	110	21	4
모 터 펌프	700	4	10	110	25.5	30분
"	230	2	20	110	4.2	1
환 동 기	300	1	1	110	2.3	7분
영 사 기	500	1	1	110	4.5	5분
전 동	20	200	200	110	36.4	5 ~ 7
앰 프	250	2	5	110	9.1	5분
기 타	550	10	20	110	50	3

의 경사각으로 태양전지판을 설치키로 하였다.

또한 부하종류와 부하형태를 정밀조사하고, 현재 10kW 디젤 발전기를 사용하여 일몰 후 4~6시간 제한송전하는 전기공급방식을 24시간 송전체제로 변환하기 위한 부하량의 증가를 감안하여 산출된 결과는 표 1과 같다.

이러한 통계자료의 분석결과를 토대로 태양전지의 용량은 25KWp로 결정하였으며, 태양전지의 종류는 서로 다른 특성의 태양전지판을 상호 비교 분석하기 위한 목적으로 미국의 ARCO사,

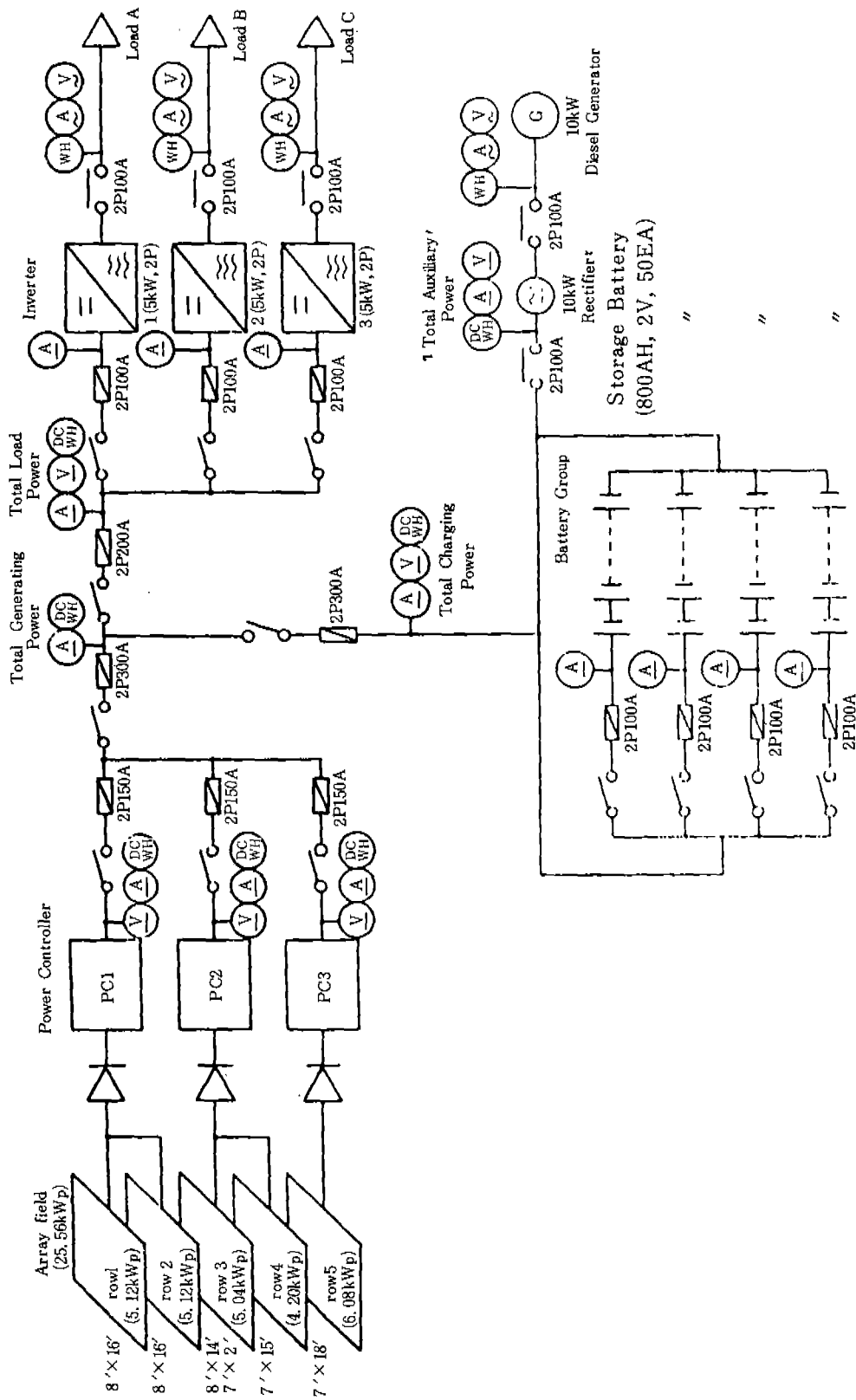
프랑스의 PHOTOWATT사, 일본의 HOXAN사 제품을 병용하였다.

축전지의 용량은 약 3일 동안의 연속부조일에도 전력을 공급할 수 있는 400kWh(2V, 800Ah 연속전지)이며, 3일 이상의 연속된 장마 또는 비상시에 대비하여 정류기를 통하여 충전시킬 수 있는 10kW 디젤발전기의 Back-up 시스템을 보완하였다.

이 외에 직류를 교류로 변환시키는 인버터(5kVA×3)와 전력제어장치(16kVA) 및 직·교류

〈표 2〉 25KWp 시스템의 측정결과('90. 12. 1~'90. 12. 21)

일자	수평면 일사량 (kWh/m ² ·day)	경사면 일사량 (kWh/m ² ·day)	발전전력 (kWh)	부하전력 (kWh)	보조전력 (kWh)
1	2.38	3.60	63.04	79.18	35.42
2	2.65	4.29	85.93	65.68	0
3	2.61	4.12	70.28	47.31	24.56
4	3.06	5.34	82.43	50.76	23.03
5	2.87	5.02	75.68	48.96	0
6	2.87	5.11	92.19	70.91	0
7	2.79	5.33	93.82	71.79	0
8	2.89	5.29	91.17	71.39	0
9	2.55	4.33	68.05	76.90	25.11
10	2.51	4.22	70.18	77.19	26.62
11	2.15	3.33	66.85	71.54	0
12	2.90	5.08	90.12	48.71	5.52
13	1.55	1.91	31.51	50.64	24.19
14	1.34	1.56	30.63	72.66	29.76
15	1.75	2.58	48.67	54.37	11.77
16	2.90	5.04	95.48	66.24	2.97
17	1.00	1.07	16.26	47.12	21.72
18	2.68	4.54	80.41	52.75	18.02
19	3.00	5.50	93.70	53.16	0
20	1.34	1.82	32.27	53.98	0
21	2.67	4.55	83.10	68.06	0
합계	50.46	83.63	1466.77	1299.3	248.69



(그림 2) 하화도 25KWp 태양광 발전 시스템

분전반을 설계하였으며, 태양전지판이 설치될 지지대는 초속 50m의 강풍에 견딜 수 있는 구조적 강도와 해풍에 부식되지 않는 화학적 내구성을 고려하여 견고하게 설계하였다. 그림 2는 25 KWp 태양광 발전 시스템의 구성에 관한 개략도이다.

4.2 시스템의 운전 및 결과분석⁷⁾

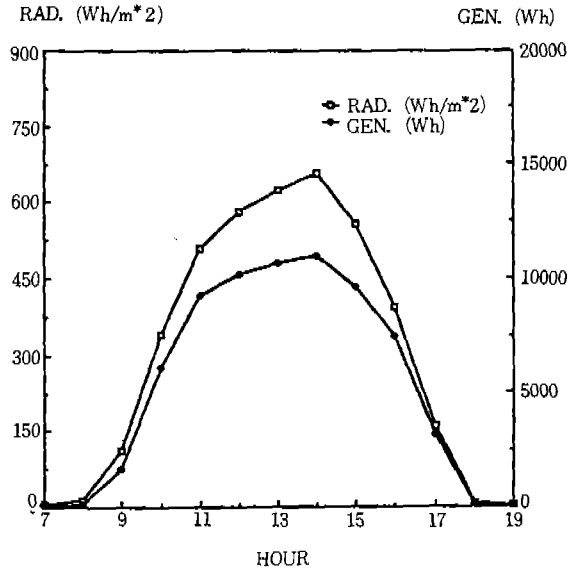
1987년 12월에 20KWp 용량의 태양광 발전 시스템을 설치한 후 하화도 주민들에게는 24시간 전기가 공급되고 있으며, 부하 증가를 예상하여 1987년 10월 5 KWp 증설공사를 마치고 현재 정상가동뿐만 아니라 운전결과에 대한 분석작업이 진행중이다. 표 2는 측정기간중의 운전현황을 나타낸 것으로서, 실제의 일사량, 발전량 및 부하량의 상관성을 규명하여 시스템의 이용효율을 분석하고 최적 설계기법과 운전방안을 도출하기 위한 연구과정이다.

태양광 발전 시스템의 발전량은 태양전지가 설치된 위치의 경사면 일사량, 계절별, 시간별 또는 안개, 구름 등의 기상조건에 민감한 영향을 받으며, 특히 태양전지의 표면온도가 상승하면 태양전지의 변환효율은 감소한다.

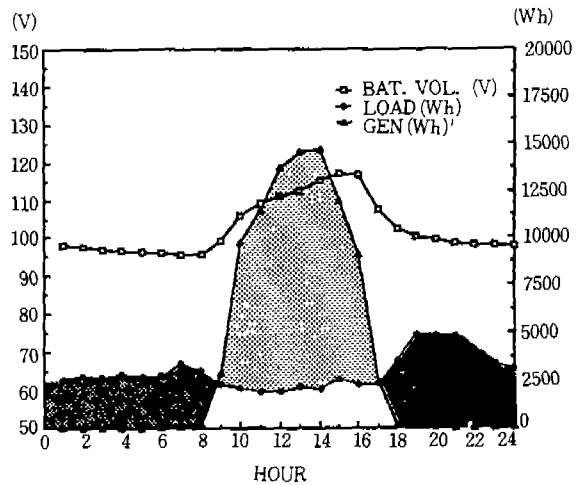
표 2에서 나타난 바와 같이 일사조건이 나쁜 겨울철에도 태양광 발전 시스템의 발전량으로 부하량을 충족시킬 수 있음을 알 수 있다. 다만 축전지의 과방전을 방지하고 수명을 연장하기 위한 균등충전, 단충전 때문에 Back-up 시스템의 보조발전이 필요하나 이러한 Back-up 시스템의 운전율은 점점 단축시킬 계획이다.

또한 발전량이 부하에 공급되는 과정에서의 축전지 충방전 효율, 인버터 효율에 따른 손실이 발생하며 송배전시의 선로 손실도 발생한다. 이러한 손실요인은 고효율 주변장치의 개발과 아울러 시스템의 최적 설계와 운전기법에 의해 개선될 수 있다.

그림 3은 실제로 측정된 시간대별 경사면 일사량과 발전량의 상관성으로서, 발전량은 일사량에 거의 비례하며 일사조건이 가장 좋은 오후



〈그림 3〉 경사면 일사량과 발전량



〈그림 4〉 발전량·부하량 및 축전지전압 변동특성

1시~2시에 최대 발전량을 나타내고 있다.

그리고 그림 4는 발전량, 부하량 및 축전지전압 변동특성을 나타낸 것으로서, 일사조건 동안의 발전량과 부하량의 차이인 잉여전력은 축전지에 저장하여 태양이 비치지 않는 야간에 사용되고 있음을 알 수 있다. 또한 하루 동안의 부하변동은 저녁시간대에 최대치를 이루며 주민들이 생업에 종사하는 낮시간에는 최저부하를 나타내고 있다.

4.3 향후 보급계획

하화도의 25KWp 태양광 발전 시스템은 정상가동과 아울러 '91년말까지 실증실험을 계속할 계획이다. 이와 병행하여 연구실에서 개발된 고효율을 향상시키기 위한 개조작업도 진행중이다. 이러한 연구결과를 토대로 최적 설계기법과 최적 운전 및 유지관리 방안을 도출하여 낙도 전원용 태양광 발전 시스템의 표준차를 시도할 계획이다.

하화도 이외에 '91년 3월부터 제주 마라도에 30KWp 태양광 발전 시스템을 건설하기 위해 설계작업이 착수되었으며, 이 시스템은 '91년 11월 완공예정이다. 또한 동력자원부에서 주관하는 태양광 범국가적 연구사업의 일환으로 100KWp급 태양광 발전 시스템이 '92년중에 설치될 계획이며, 200KWp급 태양광 발전 시스템의 설치계획

도 추진중이다.

특히 미전화지역 74개섬(381호)과 디젤 자가발전지역(2581호)을 포함 206개 섬의 50호 미만 낙도지역에 대한 전화사업이 태양광 발전으로 추진될 경우, 대체 에너지의 실용화 뿐만 아니라 낙도주민의 생활수준 향상과 쾌적한 환경조성에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 결 론

태양광 발전기술은 정부의 적극적인 지원과 연구기관의 꾸준한 기술 개발로 국내에서도 실용화가 가능한 수준에 도달하였다. 특히 낙도전원용 태양광 발전 시스템의 경우 가장 적합한 발전 방식으로 인식되고 있으며, 기존의 디젤 발전에 비해 기술적, 환경적 장점 뿐만 아니라 경제성 면에서도 경쟁 가능할 것으로 판단되고 있다.

이러한 낙도전원용 태양광 발전 시스템을 본격적으로 실용화하기 위해서는 저가 태양전지의 국내 상품화, 고효율 인버터 제어장치 및 연축전지의 개발 그리고 시스템의 표준화 및 운전, 유지관리의 자동화 등 이용기술 개발이 병행되어야 한다. 이를 위해서는 정부의 보다 적극적인 행정 및 재정지원과 산·학·연의 긴밀한 협조체제 및 참여가 요망된다.

〈참고문헌〉

1. '농어촌전화사업추진현황', 동력자원부, 1988
2. Jinsoo Song: International PVSEC-5, Kyoto, Japan, 26-30Nov. '90
'National Photovoltaic Project in Korea(Invited)'
3. Jinsoo Song: 14th WEC Conference, Montreal, Canada, 18-22 Sep. '89
'Application & Field Experience with Photovoltaic Systems for Rural Electrification'
4. 송진수: 대한전기협회지, '89. 4
5. '비정질 실리콘 태양전지'
5. 임호빈·최병호: 전기학회지 39권 10호, '90
'화합물반도체 태양전지의 연구개발동향'
6. 송진수외: 동력자원연구소 연구보고서, KE-87(B-14), '87 '낙도태양광 발전사업'
7. 송진수외: 동력자원연구소 연구보고서, KRC-90G-T12, '90 '낙도전원용 태양광 발전 시스템의 표준화연구(II)'