

하화도 25 Kwp급 태양광 발전 시스템 설치에 관한 연구

이 만근^o 정 명웅 송 진수
한국동력자원연구소

A Study on the Construction of Hahwa - Island
25 Kwp Photovoltaic Power Generation Systems

Lee, Man Geun Jung, Myung Woong Song, Jin Soo
Korea Institute of Energy and Resources

ABSTRACT

The results of the first demonstrative project of photovoltaic power generation system for the remote islands (Hahwa-do, Jeon-nam Province) were reported. The optimum design of a 25 Kwp PV system and a 5 Kwp diesel backup system were discussed.

1. 서 론

국내의 유·무인 도서 총수는 3,200여개로 이중 유인도서가 520여개로 전체의 16% 정도이고 나머지 84%가 무인도서이다. 이중 220여개의 유인도서만이 한국전력공사의 계통선 전력을 공급받고 있으며 나머지 300여개의 유인도서는 미전화 도서이거나 자가디젤발전기에 의하여 제한 송전을 받고 있는 실정이다. (1)(2)

이와 같은 미전화 또는 제한송전 도서는 낙후된 문화시설은 물론 주거 생활에도 많은 제약과 받고 있는 실정이다. 정부는 도서주민의 획기적인 복지향상을 위하여 1987년도초 낙도개발촉진법을 제정하여 국가주요시책의 하나로 미전화 도서의 전화사업을 추진코저 노력하고 있다.

그러나 미전화 도서지역의 전원으로 보급되어온 디젤발전기의 경우 유류수송·유지관리 및 보수 소용 시스템 수명등의 많은 문제점을 내포하고 있으며 최근에는 해저 케이블에 의한 계통선 송전설비를 검토하고 있으나 막대한 초기투자비와 기술적인 문제점이 예상되고 있다.

태양광 발전 시스템은 초기 투자비가 많은 반면에 무한정 무공해의 태양에너지를 이용하기 때문에 연료의 공급 없이도 태양전지의 수명인 20년 이상을 사용가능할 뿐 아니라 온전 유지관리 및 보수가 용이한 이점이 있으며 소용과 공해가 없는 발전형태이므로 유인도서의 전력설비로서

타당하다고 여겨진다. (3)

한국동력자원연구소의 태양광연구실은 가장 중요한 대체에너지원으로 각광을 받고있는 태양에너지를 전기에너지로 직접 변환시키는 발전소자인 태양전지 개발과 아울러 태양광 발전시스템에 필요한 주변기기 개발과 이용기술에 관한 연구사업을 수행하여 왔으며, 이와같은 연구결과를 토대로 국내 최초의 유인도서 시범사업으로 24시간 연속송전체계의 태양광 발전시스템을 전남 여천군 화정면 하화리에 설계 설치하였다. (4)

본 논문은 하화도 25 Kwp 급 태양광 발전시스템 설치를 위한 설계 시공 시운전중 설계를 위주로 다음사항을 요약한 것이다.

- 도서용 전원으로써 태양광 발전 시스템의 디젤 발전 시스템의 비교 검토
- 설치 지역의 기상조건과 부특성을 고려한 시스템 구성 및 세부설계
- 정밀 성능시험에 의한 부품의 선정 및 주변기기 제작

2. 도서용 전원으로써 태양광 발전 시스템의 타당성 검토

도서지역에 태양광 발전 시스템을 이용한 전화사업의 타당성을 검토하면 다음과 같다. (3)(5)

- (1) 국내의 도서지역 전화사업의 일환으로 태양광발전 시스템을 도입하는 경우 디젤발전방식과 비교하여 경제성이 있다.
- (2) 태양광발전에 필요한 모든 시스템이 대부분 국내에서 생산이 가능하다.
- (3) 국내 대기업의 반도체 설비를 이용하면 별다른 설비투자 없이도 국내생산이 가능하다.
- (4) 태양전지 생산은 제작상의 어려움이 없으며 기본적인 반도체 생산공정으로 가능하다.
- (5) 태양전지의 가격이 신소재 개발로 차츰 하락하는

추세에 있으므로 앞으로 초기투자비가 감소될 예정이다.

(6) 디젤발전시에 제한송전되는 단점을 보완하여 태양광발전을 이용시에는 24시간 연속송전이 가능하다.

(7) 태양전지 모듈의 수명이 정상 가동시에 최소 20년 이므로 수명기간동안 연료비와 연료수송상의 난점이 해소되고 디젤발전방식에 비하여 설비 운영이 비교적 간단하다.

(8) 도서 또는 지역별 소규모 (50 KW_p 급 이내) 발전으로 독립식 단위발전이 가능하다.

(9) 태양전지가 국내에서 생산되면 대외 지역의 수출도 가능하다.

(10) 국내의 관련기업의 발전을 기대할 수 있다.

그리고 도서용 태양광 발전 시스템과 디젤발전 시스템간의 특성을 비교검토하면 (표 1)과 같다.

(표 1) 태양광발전과 디젤발전방식의 장단점 비교

	태 양 광 발 전	디 젤 발 전
장 점	<ul style="list-style-type: none"> 신뢰성이 높고 사용이 편리 유가영향 없음 24시간 송전 가능 연료사용없음(연료비 및 수송비 불필요) 수명이 오래감 (최소 20년) 무공해 에너지원 	<ul style="list-style-type: none"> 초기투자비 적음
단 점	<ul style="list-style-type: none"> 초기투자비 과다 속전설비 및 유지확보 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 고장이 잦고 유지관리 불편 연료비 및 수송비 부담 공해발생 및 제한송전 수명이 짧음(7년경도) 유가상승 영향

3. 하화도 태양광발전시스템의 기본설계 및 실시설계

3. 1 기본설계

3. 1. 1 도서선정 및 하화도 실태조사

가. 도서 선정조건 (5)

○ 국내 도서중에 현재 한전 계통선이 공급되지 않는 도서로서 육지로 부터 격리되어 있어서, 추후에도 한전 계통선 공급이 어려운 도서로 선정한다.

○ 국내 도서를 대표할 수 있는 조건으로 가구당 소득이 도서민의 평균소득에 가까우며, 도서가 밀집된 지역에서 선정한다.

○ 태양광발전시스템을 적용할 수 있는 지형적인 입지 조건을 갖춘 도서, 즉 태양전지 어레이가 설치될 수 있도록 충분한 설치면적과 아울러 설치 방향이 남향이거나 이에 준하는 도서로 선정한다.

○ 재원이 허락하는 범위안에서 최대한 여려가구에 혜택을 줄 수 있는 적정규모의 도서를 선정한다.

○ 태양광발전시스템 설치시에 송배전선 설치에 따른

경비절감을 위하여 기존의 송배전선 설비를 그대로 이용할 수 있는 도서, 즉 현재 또는 각거에 디젤발전기를 사용하여 제한송전을 실시한 도서를 선정한다.

○ 태양광발전시스템의 효율극대화과 송배전에 따른 전력손실을 줄이기 위하여 도서민의 주거환경이 밀집된 도서를 선정한다.

나. 하화도 실태조사

1) 입지조건 및 주거현황

○ 관찰관서 : 전라남도 여천군청

○ 행정구역 : 전라남도 여천군 화정면 하화도

○ 위 치 : 북위 34° 28'
동경 127° 49'

해안선 연장 6.4 km

○ 기상조건 : 여름 평균 온도 23.6°C

겨울 평균 온도 2.7°C

연중 평균 강우량 1367.7mm

○ 인구 및 가구현황 (1986년말 현재)

총인구 : 234명(남113명, 여121명)

총가구 : 48가구(농업:8, 여업:1, 농어겸업:35 공무원:3, 상농겸업 1)

2) 주요 전화시설 및 이용현황

○ 전화기 : 내부전화 6대
외부전화 6대

○ 주요 전기부하 현황

부 하 명	규 격	수 량
TV	55 W (16인치 기준)	51
냉 장 고	50 W (150 ℓ기준)	7
전기 밥솥	600W (5인분 기준)	6
커피포트	700W (0.5ℓ 기준)	26
전기다리미	600W	15
선 풍 기	55W	42
모 타 펌프	1.5 HP	4
	0.5 HP	2
환 등 기	300W	1
영 사 기	500W	1
전 등	20W (형광등 기준)	200
앰 프	250W	2

3. 1. 2 기상조건 및 어레이 경사각 결정

가. 기상조건

하화도 지역의 년평균 온도는 겨울 2.7°C, 여름 23.6°C 토써 태양전지의 동작온도 범의인 -40°C ~ 90°C 사이값에 포함되고 동시에 안정된 온도에서 동작하게 된다. 그리고 적은 온도차는 태양전지의 동작에 좋은 영향을 미친다.

일사량은 태양전지 발전량에 직접적인 영향을 주는 기상 조건으로써 국내의 16개 측후소에서 측정되고 있으나, 하화도의 경우는 체인 가까운 여수 측후소의 자료를 이용하여야 하나, 불행이 여수 측후소에는 일사량을 측정하지 않고

있다. 그러므로 인접한 목표지역 축추소의 수평면 일사량을 이용하기로 한다. 목표지역의 수평면 일사량을 이용하여 경사면 일사량을 계산하면 (표 2)와 같다. (6)(7)(8)

THE INSOLATION ON THE TILTED SURFACE IN MOCKPO
(KCAL/M*H)

(표 2) 목표지역 경사면의 일사량 분포

DEG	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	SUM
0	2176	2795	3675	4149	4630	4498	3820	4405	3528	3078	2089	1752	40682
3	2305	2910	3747	4188	4630	4480	3812	4430	3695	3189	2296	1856	41453
6	2430	3021	3853	4220	4623	4456	3799	4447	3755	3297	2390	1958	42154
9	2550	3126	3931	4244	4609	4426	3781	4458	3819	3398	2400	2056	42783
12	2666	3225	4002	4262	4588	4389	3759	4468	3855	3494	2495	2150	43338
15	2776	3317	4066	4271	4560	4347	3729	4455	3895	3580	2585	2240	43817
18	2881	3404	4121	4273	4524	4298	3695	4443	3937	3661	2671	2326	44218
21	2979	3483	4168	4268	4481	4243	3656	4422	3952	3735	2751	2407	44540
24	3072	3555	4208	4255	4431	4182	3611	4395	3970	3801	2825	2483	44762
27	3158	3621	4239	4234	4375	4115	3561	4359	3988	3860	2894	2554	44943
30	3238	3678	4262	4206	4311	4042	3506	4316	3982	3911	2957	2620	45024
33	3310	3729	4278	4171	4241	3963	3447	4265	3977	3954	3014	2681	45072
36	3376	3772	4282	4128	4164	3879	3382	4209	3955	3988	3065	2735	44939
39	3434	3807	4280	4078	4081	3790	3313	4144	3945	4015	3109	2785	44775
42	3485	3834	4269	4020	3992	3696	3240	4073	3918	4033	3147	2828	44529
45	3529	3853	4250	3956	3897	3598	3163	3995	3883	4044	3178	2865	44204
48	3565	3864	4222	3885	3796	3495	3081	3910	3841	4046	3203	2896	43799
51	3593	3867	4186	3808	3691	3398	2996	3819	3792	4039	3221	2921	43317
54	3613	3863	4142	3724	3580	3277	2908	3725	3736	4024	3232	2940	42798
57	3625	3850	4099	3635	3465	3163	2817	3620	3674	4001	3236	2953	42124
60	3630	3829	4030	3539	3346	3046	2723	3519	3604	3970	3234	2959	41418
63	3626	3801	3962	3438	3223	2927	2626	3400	3529	3931	3224	2959	40641
66	3615	3764	3887	3332	3097	2806	2527	3283	3447	3884	3220	2952	39796
69	3596	3720	3804	3221	2968	2683	2427	3161	3359	3829	3186	2939	39387
72	3569	3668	3715	3105	2837	2560	2325	3036	3265	3766	3156	2820	37915
75	3434	3609	3618	2985	2704	2436	2223	2907	3165	3696	3120	2895	36885
78	3491	3542	3515	2861	2570	2312	2120	2776	3061	3618	3077	2862	35800
81	3341	3468	3405	2734	2435	2190	2017	2642	2951	3536	3028	2725	34666
84	3384	3388	3290	2604	2301	2070	1916	2506	2837	3441	2973	2782	33485
87	3319	3300	3168	2472	2168	1954	1816	2369	2719	3343	2912	2732	32256
90	3247	3206	3042	2338	2038	1843	1719	2231	2596	3238	2844	2677	31013

MAX

INS 3630 3867 4282 4273 4630 4498 3820 4460 3982 4046 3236 2959

나. 어택이 경사각 결정

목표지역의 일사량자료인 (표 2)를 이용하여 학화도에 설치될 어택이의 경사각을 결정하게 된다. 이때 어택이의 경사각은 계절별로 최대 일사량을 얻을 수 있도록 결정되어야 하며, 봄, 여름, 가을, 겨울에 각각 어택이의 경사각을 조절할 수 있도록 반고정형 어택이 지지대를 설치한다.

(표 3)은 어택이 경사각을 계절별로 조절할 수 있도록 최적 경사각을 추출한 것이다. (9)

(표 3) 계절별 최적어택이 경사각

계절	원	봄	가을	여름	겨울
계절	원	3, 4, 9, 10	30° - 33°	0 - 3°	57° - 60°
비고			기준 30°	기준 0°	기준 60°

3. 1. 3 태양전지 용량산출

학화도에 필요한 태양전지의 용량산출은 현재 사용중인 학화도의 전력부하규격을 조사하여 월별 일평균 부하 사용시간과 월별 전기 사용량을 계산한 뒤에 태양전지 용량은 결정하기도 한다.

가. 부하 분석

(표 4)은 앞서 조사된 학화도의 주요 전기부하 현황을 이용하여 일평균 부하사용시간 및 규격에 따른 실태를 나타냈으며, (표 5)는 월별 전기사용량을 산출한 것이다. 여기서 전등 부하는 도서전체에 20W급 형광등을 사용하게 함으로써 전력절감을 꾀하게 된다. 즉 가구당 20W형광등을 4개씩 설치하여 운영하게 된다. 그리고 일상부하 외에도 예비부하를 설정하며 전력공급의 원활성을 꾀하였다.

(표 4) 학화도 부하 및 전기적 규격

부하명	규격 및 용량	수량	사용전압 (Volt)	사용전류 (Amp)	일사용시간 (시간)	비고
TV	55 W	51	110	25.5	4~6	Color 18" 기준
냉장고	50 W	7	110	3.2	24	150ℓ 기준
전기밥솥	800 W	6	110	32.7	40분	5인분 기준
커피포트	700 W	26	110	165.4	10분	0.5ℓ 기준
전기다리미	600 W	15	110	81.8	20분	사용빈도 0.3
선풍기	55 W	42	110	21	4	여류 3시간
모터펌프A	700 W	4	110	25.5	30분	
"	230 W	2	110	4.2	1	
환풍기	300 W	1	110	2.3	7분	학교 석질자료
형사기	500 W	1	110	4.5	5분	"
전등	20 W	200	110	36.4	5~7	사용빈도 0.5
엘프	250 W	2	110	9.1	5분	
기타	550 W	10	110	50	3	예비부하 포함

(표 5) 월별 일평균 전기 사용량

단위: wh/day

구분 \ 월일	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	계	평균
TV	16,830	16,830	14,020	14,020	11,220	11,220	11,220	11,220	14,020	14,020	16,830	16,830	168,200	14,000
냉장고	5,000	5,000	7,000	7,000	8,400	8,400	8,400	8,400	7,000	7,000	5,600	5,600	84,000	7,000
전기밥솥	3,000	3,000	2,400	2,400	1,800	1,800	1,800	1,800	2,400	2,400	3,000	3,000	28,800	3,000
커피포트	6,000	6,000	4,550	4,550	3,100	3,100	3,100	3,100	4,550	4,550	6,000	6,000	54,600	4,550
전기다리미	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	36,000	3,000
선풍기	-	-	-	-	-	9,240	13,860	13,860	9,240	-	-	-	46,000	3,850
모터펌프A	900	900	1,400	1,400	1,000	1,800	1,800	1,800	1,400	1,400	900	900	16,800	1,400
모터펌프B	150	150	230	230	310	310	310	310	230	230	150	150	2,760	230
환풍기	-	-	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	400	33
형사기	80	80	-	-	-	-	-	80	80	80	-	-	480	40
전등	14,000	14,000	12,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	12,000	12,000	14,000	14,000	144,000	12,000
엘프	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	480	40
기타	16,500	16,500	16,500	16,500	16,500	16,500	16,500	16,500	16,500	16,500	16,500	16,500	198,000	16,500
합계	66,100	66,100	61,190	61,190	56,220	56,220	56,220	56,220	61,190	61,190	66,070	66,100	780,400	65,000

나. 태양전지 용량산출

태양전지 용량은 (표 5)의 월별 일평균 부하용량에 따라서 결정하게 된다. 이때 식(1)에 의하여 태양전지 용량을 결정하면 (표 6)와 같이된다. (10)

$$\text{태양전지 용량(KWp)} = \frac{\text{평균 일일 부하사용량(KWh/일)}}{\frac{\text{경사면 일사량(KWh/m}^2 \cdot \text{day)}}{1 \text{ sun (KW/m}^2)}} \times \text{시스템 효율}$$

(표 6) 태양전지 및 축전지 용량 산출

SYSTEM IDENTIFICATION : HA WHA DO

MONTH	ENERGY CONSUMPTION (KWH)	GENERATION NEEDED (KWH)	TILTED ANGLE (DEG)	DAILY INSOL (KWH/M ²)	ARRAY SIZE (KW)	SUN-LESS DAYS	STORAGE NEEDED (KWH)
JAN	66.10	110.17	60	4.222	26.09	3	440.67
FEB	66.10	110.17	60	4.453	24.74	3	440.67
MAR	61.19	101.98	30	4.567	20.57	3	407.93
APR	61.19	101.98	30	4.892	20.85	3	407.93
MAY	56.22	93.70	0	5.385	17.40	3	374.80
JUN	65.46	109.10	0	5.231	20.86	3	436.40
JUL	70.16	116.93	0	4.443	26.32	3	467.73
AUG	70.11	116.85	0	5.123	22.81	3	467.40
SEP	70.51	117.52	30	4.681	25.38	3	470.07
OCT	61.19	101.98	30	4.549	22.42	3	407.93
NOV	66.07	110.12	60	3.761	29.28	3	440.47
DEC	66.10	110.17	60	3.442	32.01	3	440.67
AVE	65.03	108.19		4.591	24.06		433.56

(표 6)에서 볼 수 있듯이 하화도의 태양전지에 의한 발전 소요량은 시스템의 효율 75%와 보안을 15%를 고려하여 산출한다. 즉 전력소요량은 발전소요량의 60%에 해당한다. 그리고 발전소요량과 어레이의 경사면 일사량에 따라서 태양전지 어레이 용량은 평균치 24.06 KWp 에 가까운 25 KWp 로서 결정된다.

즉 태양전지 용량이 25KWp 이면 일평균 발전소요량인 65.03 KWh 를 만족하게 된다.

태양전지 용량의 최종결정은 태양전지 모듈의 선택과 시스템의 구성 및 어레이 배열 방식에 따라서 결정되며 이것은 (표 7)과 같이 나타나게 된다. 이때 사용된 모듈의 최대출력은 40 Wp 를 기준으로 하였다.

(표 7) 하화도 태양전지 배열방식 및 용량결정

*** ARRAY SPEC ***

UNIT POWER = 40 Wp
 PARALLEL NO. = 77
 SERIAL NO. = 8
 TOTAL NUMBER = 616
 TOTAL POWER = 24.640 KWp

다: 축전지 용량 산출
 하화도 축전지 용량 산출은 식(2)에 의하여 산출한 값

은 (표 6)에서 볼 수 있듯이 태양전지의 발전소요량은 부조일에 하루를 더한 3일을 곱한값으로 산출된다.

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

(식(2))

(표 8)은 축전지 평균소요량 300Kwh 값에 근접하도록 축전지 용량을 결정한 것으로서 고정형 연속전지를 직렬로 50개를 한조로 4조병렬 연결방식을 선택하였으며, 고정형 연속전지 한개는 공칭전압 2VDC , 축전용량 800AH 로 결정하였다. 이때 축전지의 전체용량은 320KVA 이다.

(표 8) 하화도 축전지 배열방식 및 용량결정

*** BATTERY SPEC ***

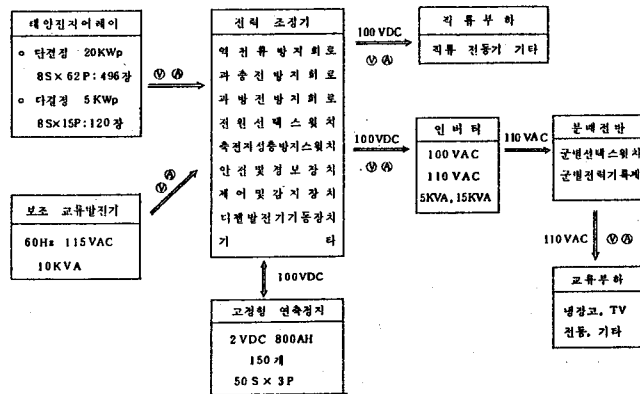
SERIAL NUMBER = 50
 SERIAL VOLTAGE = 100 V
 PARALLEL CAPACITY = 3200 AH

3. 1. 4 시스템 기본구성

태양광 발전 시스템의 기본구성은 발전효율을 결정하는 가장 중요한 인자로서, 발전소자인 태양전지는 최대 발전을 할 수 있도록 하며, 부하는 최소부하 형태로 운영될 수 있도록 구성하는 것이 바람직하다.

발전축인 태양전지는 어레이의 내구성과 축전지의 안정성이 보장되는 범위 안에서 최대발전량을 얻을 수 있도록 설계하며, 특히 부하측에 불필요한 전력소모를 방지하기 위하여 인버터의 구성을 5 KW 와 15 KW 로 분리하여, 부하의 크기에 따라서 5 KW 와 15KW 인버터가 각각 운영할 수 있도록 설계하였다.

기본 시스템 구성은 (그림 1)과 같으며, 자세한 구성도는 실시설계에서 검토하기도 한다.

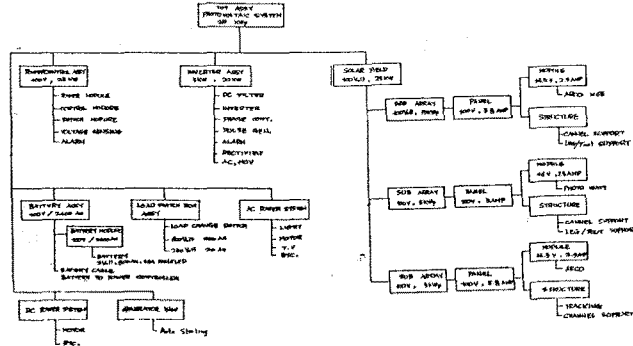


(그림 1) 기본구성도

3. 2 실시설계

3. 2. 1 종합시스템 구성도

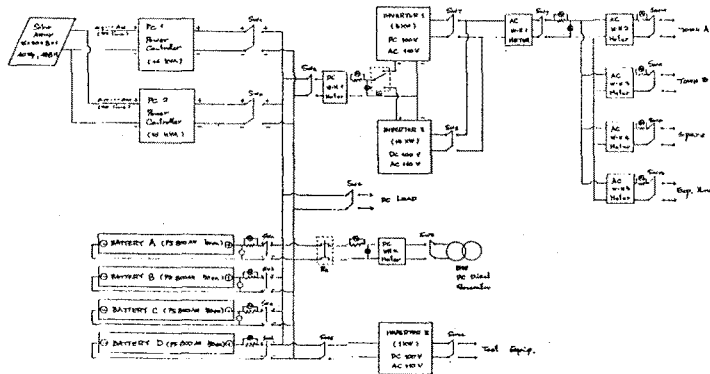
하화도 태양광 발전 시스템의 종합 구성도는 (그림 2)와 같다.



(그림 2) 종합시스템 구성도

3. 2. 2 종합시스템 상세도

하화도 태양광 발전시스템의 종합상세도는 (그림 3)과 같다.



(그림 3) 종합시스템 상세도

4. 결 론

하화도 태양광 발전시스템은 설계 설치공사로 구분하여 수행하였으며 주요연구 내용과 결과는 다음과 같다.

- 국내의 유인도서는 전력급급을 위하여 태양광 발전 시스템을 시범설치하기 위하여 설치지역을 선정하고 기상자료와 설치지역의 지형적 여건을 정밀분석하고 생활실태와 전력소비량을 감안하여 최적 설계 하였다.
- 시스템의 기본구성은 주변기기의 특성을 고려하여 최대 효율을 얻도록 설계하였다. 즉 여름이 지치대를 계절별로 조정할 수 있도록 하였으며 인버터는 부하량에 따라서 5 KW 와 15 KW 가 자동 전환형태로 변환되도록 설계하였다.
- 축전지의 수명향상과 상호보안을 위하여 고정형 2V 800AH 축전지 200개를 50개씩 직렬로 4초 병렬 운영토록 하였다.

참 고 문 헌

- (1) "농어촌 전화 사업추진 현황", 동력자원부. 1987
- (2) "전력 운영 참고자료", 동력자원부. 1986
- (3) 이기선 외 "유인도태용 태양광 발전 시스템 타당성 검토", 한국동력자원연구소, KE-PV-82-01. 1982

- (4) 최영희 외, "흑산도 등대의 1개소 태양광 발전장치 실시설계2, 한국동력자원연구소, 1987
- (5) 송진수 외, "낙도 태양광 발전사업" 한국동력자원연구소, KE-87(B)-14. 1987
- (6) 이남호 외, "한국의 일사량자원 현황분석", 한국동력자원연구소, KE-83-18. 1983
- (7) 이남호 외, "한국의 일사량자원 현황분석(II)", 한국동력자원연구소, KE-84-21
- (8) Liu, B.Y.H. and Fordan, R.C.; "Daily Insolation on surface of tilted toward the Equator", Trans, Ashare". 1962
- (9) G.R. Ross, Fr. "Flat-plate photovoltaic Array Design Optimization" 14th IEEE, PVSC, Conf.p. 1128. 1980

- (10) Thom Hop kins and Bill Baily, "Solar photovoltaic Power System Design" Motorola, 1977