

# 태양에너지 발전에 관한 연구\* The Electric Generation by Solar Energy

김 근 희\*\* · 양 준 목\*\* · 전 성 식\*\*\*

The electric generation system by solar energy was built which is composed of 10 m<sup>2</sup> reflector, parabolic mirror and the absorbers. The absorber(I) is a single iron pipe and the absorber(II) contains seven small iron pipes. The ratio of the area of the reflectors to that of the absorber is around 99.4-440.

The absorber(II) is more efficient in power than(I) by 5.6 percent. The steam power efficiency of the absorber(II) is 25 percent in this experiments and 20 percent efficiency would be expected for 80,000 Kilowatts.

## I. 서 론

현 세계는 에너지 위기에 처해 있으며 언젠가는 석유와 같은 화석 에너지의 의존에서 벗어나 새로운 에너지를 개발 사용할 시점에 이르렀다. 이런 점에 비추어 무한정, 무공해의 태양에너지는 상당히 작광을 받을 수 있는 에너지 원으로 선진 각국에서 활발히 연구되어 가고 있으며<sup>1~10)</sup> 국내에서도 몇몇 연구기관에서 연구되어지고 있다. 우리도 이미 이에 대한 연구를 발표한 바 있다.<sup>11)</sup>

이번의 연구에서는 대용량의 태양 에너지 발전시설의 기초 자료를 얻기위한 실험을 하였으며 효율의 정밀한 측정을 비롯하여 증기압, 증기 온도, 흡수체의 크기, 수위계, 급수 「power」 등 다방면에 걸친 실험을 행하였다. 특히 효율 측정에서 태양에너지로 부터 얻을 수 있는 추정 전기 에너지의 효율이 8,000 KW의 규모에서 18.2~19.5% 정도이었으며, 이는 국내 최초로 얻는 추정 data인 동시에 매우 희망적인 결과라 생각된다. 특히 이번의 실험은 국내의 기술, 국내의 자재만으로 설계 제작되었다는 점에서 그 의의가 매우 큰 동시에 큰 시설로서의 실험

이 가능케되었고, 경제성이 입증될 경우 곧 바로 국내의 기술과 자재로 실용화시킬 수 있음이 명확하다.

본 연구에서의 실험은 흡수체 자체를 화력발전의 보일러와 같은 역할을 하도록 설계하였으며, 이렇게 하므로써 열저장에 따른 손실 및 건설비용을 절감시킬 수 있다고 생각한다. 다만 햇빛이 비치지 않는 시간에는 화력을 보충하여 주어야 한다는 어려움은 따르기 마련이다.

## II. 본 론

### 1. 이 론

#### 1) Steam power의 정확한 측정

본 연구에서 가장 문제되었던 것중의 하나가 thermal power의 정확한 측정 방법이었다. 즉 소규모의 실험에서 어떻게 하여야만 대규모의 시설을 위한 정확한 자료를 얻을 것인가의 문제이다.

흡수체의 표면에서 흡수되는 복사열과 방사되는 열, 열전도에 의한 에너지 손실, 흡수체의 형태 및 두께등 thermal power 측정에 영향을 주는 요인들이 너무 많아 그의 정확한 측정에

\* 본 연구는 1980년도 산학협동재단의 연구비 지원에 의해 이루어진 것임.

\*\* 정회원 한양대학교

\*\*\* 정회원 고려대학교

는 많은 어려움이 뒤따르기 마련이다. 그 때문에 이 연구에서는 이러한 요인들에 관련 없이 thermal power를 측정할 수 있는 비교 실험방법을 고안하여 실험하였는데 그 내용은 다음과 같다. 태양에너지에 의한 발전시설은 Fig. 1 과 같이 그 계통도를 그릴 수 있다.

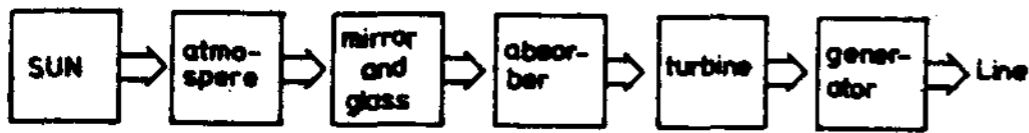


Fig. 1. Block diagram of the system.

이것의 효율을 생각하여 표시하면 Fig. 2 와 같다. 여기에서 우리가 측정하고자하는 power 는 Steam power로써 이 값만 정확히 측정하면 증기 터빈과 발전기의 효율은 기존의 대규모 시설 또는 메이커의 제작 데이터로 부터 예측할 수 있다. 12)

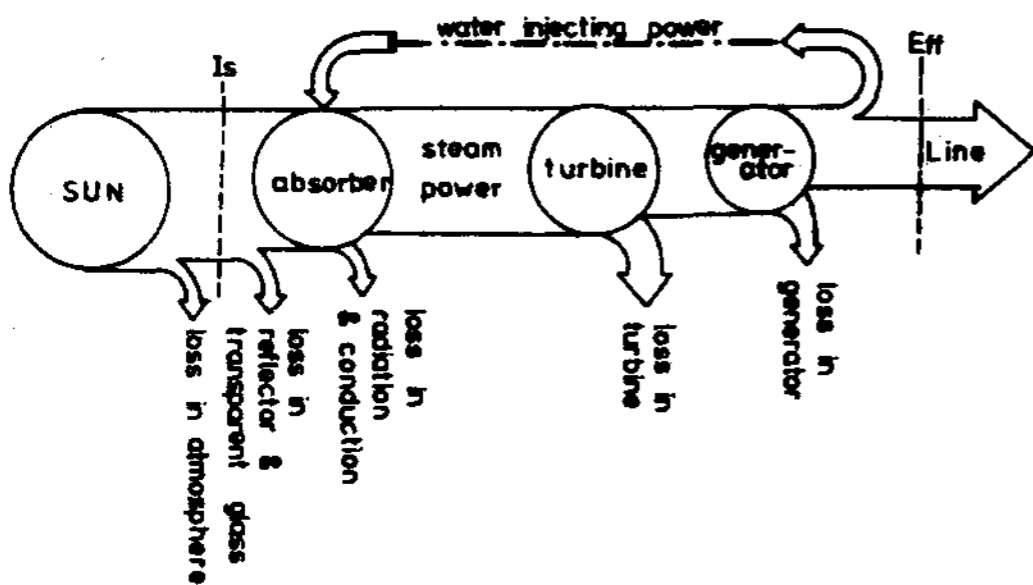


Fig. 2. Block diagram of the system for the efficiency.

한편 화력발전의 경우 효율을 겸한 계통도를 그리면 Fig. 3 과 같다. Fig. 3에서의 Steam power는 터빈을 돌려주며, 이 터빈에 의해 발전기가 발전하게 된다.

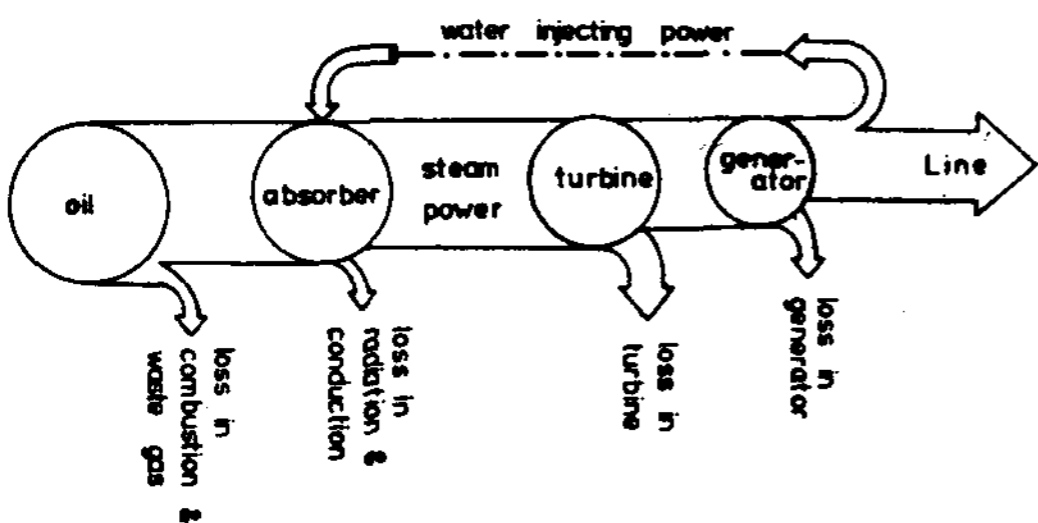


Fig. 3. Block diagram for the electric generation.

이는 태양에너지에 의한 발전시설 ( Fig. 2. 참조 ) 과 비교할때 완전히 같은 역할을 하는 steam power이며, 그 앞의 에너지 손실은 측정하지 않아도 본 실험에서 필요로 하는 측정 목적에는 지장이 없음을 알수 있다. 이러한 원리에 따라 Fig. 4와 같은 계통도를 구상했으며, heat power으로써는 외부 전력 (input electric power) 을 사용하였다.

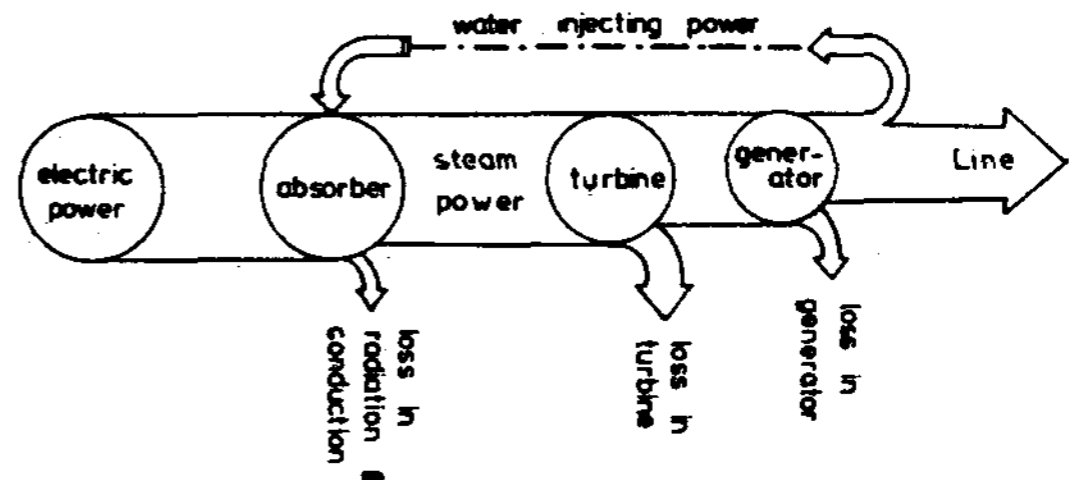


Fig. 4. Block diagram of the system for the steam power measurements.

여기서 우리는 태양열에 의한 Steam power 와 외부 전력에 의한 Steam power를 정확히 비교하고자 발전기와 터빈을 제작하였으며 그들의 효율은 비록 작았지만 비교 실험을 위한 장치로서는 훌륭한 역할을 하여 주었다. 이런 목적으로 제작된 터빈과 발전기를 똑같은 조건하에서 외부전력에 의한 발전기의 출력과 태양열에 의한 발전기의 출력을 비교하므로써 흡수체에 의하여 얻어지는 태양열 에너지의 Steam power를 정확히 비교 계산해 낼수 있다.

2) 흡수체의 형태 및 구조

흡수체는 2가지를 제작하여 실험하였는데 그 하나는 흡수체(I)로 외경이 76 mm인 철관을 사용하였고, 다른 하나는 흡수체(II)로 외경 22 mm인 6개 철관과 외경 28 mm인 철관을 사용했는데 그 이유는 다음과 같다.

첫째, 흡수체 내의 증기 압력을 P라 하고, 이에 요구되는 두께 t는 단면적을 S라 할때  $S = \pi r^2$ 이므로,

$$t = K_1 S^{\frac{1}{2}} P \dots\dots\dots (1)$$

또한 열전도의 면에서도 흡수체의 표면을 통하여 전달되는 thermal power를  $\Delta H$ 라 하고, 흡수체 내부와 외부 벽의 온도차를  $\Delta T$ 라 하면,

$$\Delta H = K_2 r \Delta T / t \dots\dots\dots (2)$$

로 표시되며, 흡수체의 단위 단면적당 받는 thermal power를  $\Delta H/S$ 라 할때,

$$\Delta H/S = K_3 \frac{r \Delta T}{t_s} \dots\dots\dots (3)$$

로 표시되어 진다.

(3)식에 (1)을 대입하여,

$$\Delta H/S = K_4 \frac{\Delta T}{S} \cdot \frac{1}{P} = K_5 \frac{\Delta T}{r^2} \frac{1}{P} \dots\dots(4)$$

(4)식에서 두 종류의 흡수체 사이에  $\Delta T$ 의 값 차이가 적다고 하면 같은 압력 P에 대하여  $\Delta H/S$  값은 흡수체의 지름이 작을수록 높아짐은 틀림없어 그에 따라 열효율은 높아진다.

둘째, 예열시간도 흡수체가 가늘수록 짧아짐은 틀림없으므로 그에 대한 열에너지의 손실도 최대한으로 줄일 수 있다. 그러나 흡수체의 지름이 가늘수록 수위계를 장치하기는 대단히 어려워지기 마련이다. 따라서, 수위 측정의 새로운 방법이 고안되어야만 했고 본 연구에서는 thermocouple을 이용하여 흡수체내의 수온을 측정하는 동시에 수위계 역할도 할 수 있게 하였다. 즉 열전대의 접점이 물에 잠겨있는 때는 수온과 같아 포화온도를 표시하게 되나, 물밖으로 노출되면, 흡수체의 내부 벽온도와 같게 되어 열전대의 온도가 상승하기 마련이다. 이런 현상은 흡수체내의 수위 측정에 이용될 수 있다. 이들 흡수체의 외부는 열흡수의 증대를 위하여 packerizing처리를 하였고 그 외부는 대류, 전도에 의한 열손실을 막기 위하여 진공으로 하였다.

3) 효율 측정

본 연구에서 대용량의 태양에너지 발전 시설을 만들 경우 터어빈과 발전기는 기존제품으로 그의 효율이 이미 알려졌다.<sup>12)</sup> 따라서 유의해야 할 문제는 대기를 통과한 후 지상에 도달한 태양 에너지를 얼마 만큼 Steam power로 바꾸느냐 하는 것이며 그의 측정 장치 및 방법이 얼마 만큼 대규모 시설의 경우와 유사하고 그 측정치가 대규모 시설에 접근하느냐가 문제인 것이다. 이를 위하여 비교 실험방법을 고안하였으며 이는 대규모 시설에 잘 맞을 것으로 추정된다.

지상에 도달한 태양 에너지 밀도  $I_s$ 에 대한 단위면적당 Steam power  $P_s$ 의 백분률을  $\eta_s$ 라 하면

$$\eta_s = \frac{\text{Steam power}/S^2 (P_s)}{\text{Solar intensity } (I_s)} \times 100[\%] \dots(5)$$

이며, 터어빈의 효율을  $\eta_T$ , 발전기의 효율을  $\eta_G$ 라 하면, 본 연구에서 구하고자하는 총합효율 (Fig.2에서  $I_s$ 과  $E_{ff}$  사이)  $\eta$ 는

$$\eta = \eta_s \cdot \eta_T \cdot \eta_G \times 10^{-4}[\%] \dots\dots\dots(6)$$

로 표시되어질 수 있다. 그러나, 이곳에서 water injecting power와 열복사 및 열전도에 의한 손실은 반드시 감안되어야 할 것으로 생각되나 실험결과 그 값은 무시하여도 좋음을 알수 있었다. 상기의 설명은 대규모의 시설에 대한 것이며 우리들이 제작실험한 터어빈과 발전기의 효율은 상기의 값과 다를 것이므로 그를 각각  $Y_T, Y_G$ 로 표시하면 본실험에서 실제로 얻은 총합효율은

$$Y = Y_s \cdot Y_T \cdot Y_G \times 10^{-4}[\%] \dots\dots\dots (7)$$

로 표시되어진다. 여기서  $Y_s$ 는 본 실험에서 실제 얻은 Solar power와 Steam power의 비에 대한 퍼센트이다. 이 값은 우리가 사용한 실험장치 및 그때의 수증기 온도, 압력, 수위계 등 모든 면에서 실제 대규모의 경우에 상응되는 조건으로 실험하였기 때문에  $\eta_s$ 와 같다고 할 수 있으며 이를 기초로 하여 모든 실험을 전개하였다. 한편  $Y_s$  값을 얻기 위하여 Fig.4와 같이 보일러 내에 전열기를 설치하고 외부전력 (input electric power)  $P_e$ 를 공급하였다. 이때 발생하는 thermal power는 Fig.4에서 열복사 및 열전도에 의한 손실  $P_{loss}$ 를 측정하여 줌으로써 간단히 알아낼 수 있다.

즉,

$$P_s = P_e - P_{loss} \dots\dots\dots (8)$$

이고,  $P_e$ 의 값은 외부 전력공급이므로, 이것에 의한 본 실험장치의 발전기 출력을 측정하여 놓

으면 태양열에 의한 본 발전기 출력과 비교하여 그에 해당되는  $P_e$ 의 값을 얻을 수 있어 태양열에 의한  $P_s$ 를 구할수 있다. 따라서  $I_s$ 만 측정하여 주면 (5)식으로 부터 곧  $\eta_s$ 를 구할수 있고  $\eta_T, \eta_G$ 를 알면  $\eta$ 를 구하게 된다. 여기서  $P_{loss}$ 의 값은 열복사와 열전도에 의한것 뿐이므로 흡수체 및 증기 이송관이 같은 크기의 것이면, 모두 같게된다. 따라서 Fig. 2~4.의  $P_{loss}$  값은 모두 같으며 이값의 크기는 증기의 방출이 없도록 막아 놓고 이때 소모되는 열에너지를 외부전력 공급량으로 측정하면 된다.

4) 안전의 문제

본 실험에서 또는 실제 대규모의 시설에서 고압의 증기압을 요구하기 때문에 안전의 문제를 고려하여 흡수체의 두께  $t$ 를 결정하였다.

즉,

$$t = \frac{PD_0}{2\sigma\xi + 2Kp} + a \dots\dots\dots (9)$$

여기서,

$$P = 50 \text{ Kg중/cm}^2$$

$$\sigma = 3 \text{ Kg중/mm}^2 \text{ (예상온도 } 500^\circ\text{C에서)}$$

$$K = 0.4 \text{ (예상온도 } 500^\circ\text{C에서)}$$

$$a = 1 \text{ mm}$$

$$D_0 = 76 \text{ mm} \text{ 「흡수체(I)의 경우」}$$

$$= 22 \text{ mm} \text{ 「흡수체(II)의 경우」}$$

$$\xi = 1 \text{ 「흡수체(I)의 경우」}$$

$$= \frac{1}{2} \text{ 「흡수체(II)의 경우」}$$

로 하여 예산한 결과 흡수체(I)에 대하여  $t=6 \text{ mm}$  흡수체(II)에 대하여  $t=2.7 \text{ mm}$ 이다. 사용재질은 배관용 탄소 강관을 사용하였는데 안전을 고려하여  $\sigma=3 \text{ Kg중/cm}^2$ 로 하였으며 실험결과에는 영향이 없을 것으로 예상된다.

1. 실험

1) 설계 및 제작

가) 흡수체의 제작

흡수체는 앞에서 언급한 바와 같이 2가지를 제작하여 각각 실험하였는데 그 외부는 parkerizing 처리를 하였고 외경 88 mm 두께 2 mm의 glass envelope 속에 넣어 진공으로 하였다.

이때 parkerizing은 열의 흡수도를 증가시키기 위해, 진공은 열의 전도에 의한 손실을 방지하기 위한 목적으로 사용되었다. 흡수체 (I)은 앞에서 계산한 바와 같이 외경 76 mm 두께 6 mm 길이 1320 mm로써 그 대략적인 열개는 Fig. 5와 같다. 햇빛이 닿는 곳은 970 mm이며 물의 최저 수위는 650 mm로 잡았는데 한번의 물주입량은 흡수체(I)의 경우 1,440 CC로 하였으므로 수위 상승은 448 mm가 되어야 하나 주입 동안에 물의 증발로 수위 감소  $h$ 가 일어난다. 이때  $h$ 의 값은 실험 결과 평균 92 mm이었고, 따라서 최고 수위는 평균 1,006 mm이었다.

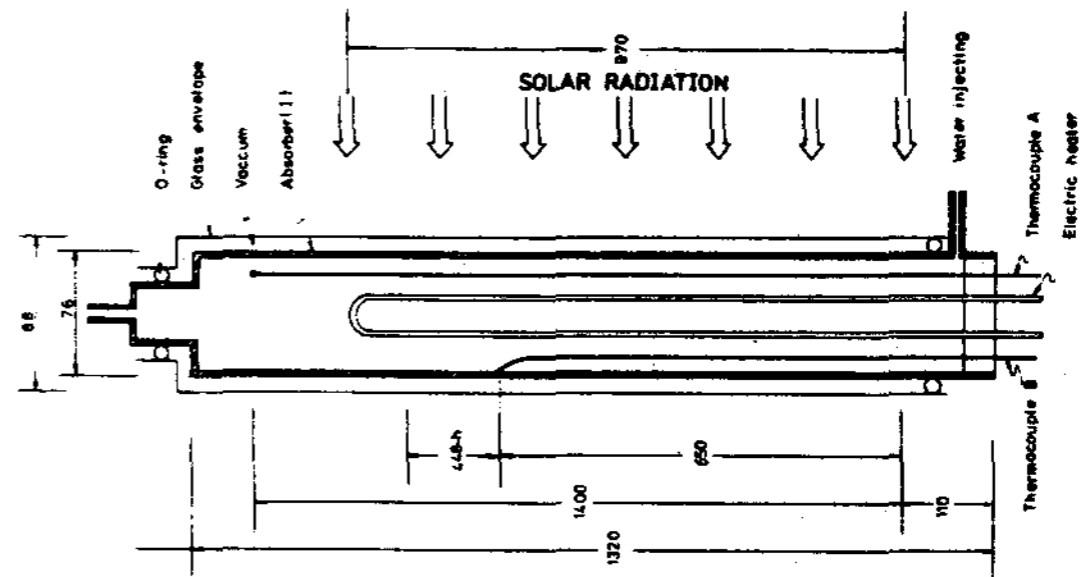


Fig.5 Absorber (I)

이 흡수체 속에 thermocouple A와 B를 넣었는데 B는 수위제로써의 작용도 하도록 흡수체의 내벽에 밀착시켰다. A는 상부 과열 증기의 온도를 측정토록 벽으로 부터 띄웠다. 또한 비교 실험을 위하여 흡수체(I)내에는 약 4 KW, 200 Volt의 전열기를 설치하였다. 흡수체 (II) 역시 앞에서 계산한 값을 기초로  $t=2.7 \text{ mm}$ 의 경 28 mm인 관 1개를 사용하여 Fig.6과 같이 제작하였다. 기타의 사항은 흡수체(I)과 같도록 되어 있다.

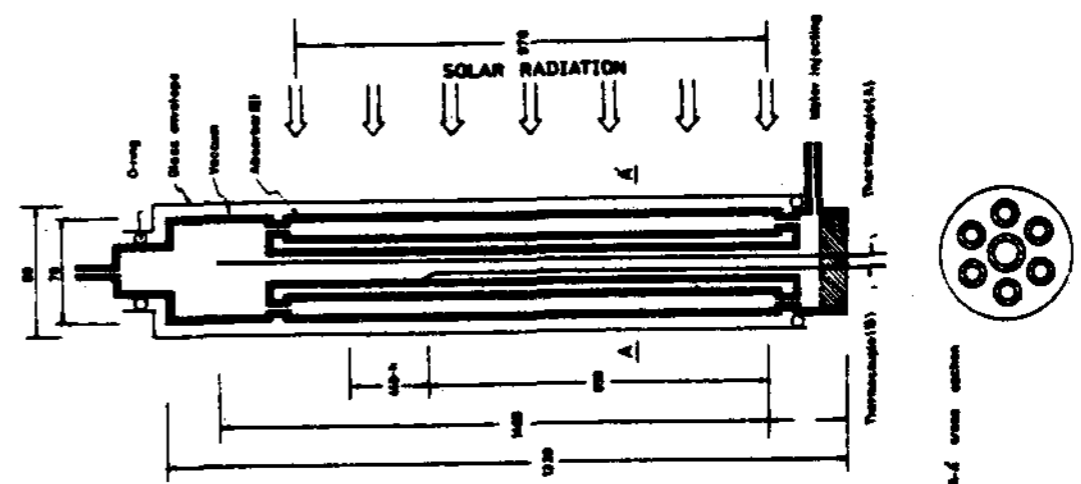


Fig.6 Absorber (II)

그러나 이곳에는 전열기를 설치할 수 없어 설치하지 않았다. 따라서 태양에너지에 의한 Steam power의 측정은 흡수체(I)의 결과와 비교 측정을 하여 주어야만 하겠다.

ㄴ) 터빈의 제작

본 실험중에 가장 어려움을 주었던 것중의 하나가 바로 터빈의 제작이었다. 소형 터빈일수록 그 효율이 급격히 낮아진다는 점과, nozzle의 목이 가늘어야 된다는 점등이 제작의 문제이었다. 여러번의 실험 결과 목의 직경이 0.5 mm이어야만 본 실험에 적합함을 알아 냈으며 모든 실험이 증기압 10~42 Kg중/cm<sup>2</sup>사이에서 연속적으로 실시되어질 수 있었다. 터빈의 외경은 190 mm로 하였으며 회전속도는 간접적인 측정법에 의해 실험중 최대 약 5,000 r.p.m. 정도이었다. 발전기는 D.C.발전기를 사용하였으며 D.C. 30 Volts, 0.14 ampere의 field를 걸어 사용하였고, 터빈과 발전기의 연결은 flexible Coupling으로 하였다.

2) 실험 방법

ㄱ) 비교 실험에 의한 Steam power의 측정

흡수체(I)의 전열기에 외부 전력을 2.2 KW로부터 3.4 KW까지 변화시켜 터빈을 회전시키고 이때 발전기로 부터 발전되는 전압과 전류를 multichannel recorder에 흡수체내의 온도와 함께 자동 기록하였다. 여기서 수위는 thermocouple B를 관찰하여 최저 수위 이하로 떨어져 온도의 급상승이 일어나는 시각에 1,440CC 씩 주입하여 주었다. 증기압은 물을 넣기 전과 후에 바로 기록하여 평균치를 증기압으로 정하였다. 같은 방법으로 흡수체(I)과 (II)에 태양에너지를 각각 비추어 발전기의 전압, 전류, 흡수체내의 온도등을 자동기록하고 증기압과 태양에너지 밀도를 각각 측정 기록 하였다. 다만, 흡수체(II)에서는 1회의 물 주입량을 720CC로 하였다.

ㄴ) 보정실험

발전기에서 발전되는 전압과 전류를 자동적으로 multichannel recorder에 기록되도록 하

였는데 이때의 파형이 sine wave가 아니므로 「전류 X 전압」의 값이 실제의 전력과 일치된다고 할 수 없다. 따라서 sine wave인 A.C 전력과 비교하여 측정하면 정확한 측정이 가능하다. 발전기의 부하로써 전구를 사용하여 이 전구에 photometer를 부착하고 그 광도를 A.C. 전력과 발전기의 전력 사이에 비교의 수단으로 사용하여 정확한 발전기의 출력을 측정할 수 있었고 자료해석을 위한 power scale을 얻을 수 있었다.

ㄷ) 열복사 및 열전도에 의한 손실

앞서 설명한 바와 같이 간단한 실험으로써 증기의 방출이 없게하고 압력을 20~50 Kg중/cm<sup>2</sup>까지 10 Kg중/cm<sup>2</sup> 간격으로 각각 40분 정도씩 일정하도록 외부 전력을 조절하여 그때의 값을 읽어준다. 이 값은 곧 열복사 및 열전도에 의한 손실 P<sub>loss</sub>와 같은 것이다.

3) 자료의 해석 및 결과

ㄱ) 보정 실험

Fig.7은 발전기의 출력이 0.4~1 watt,

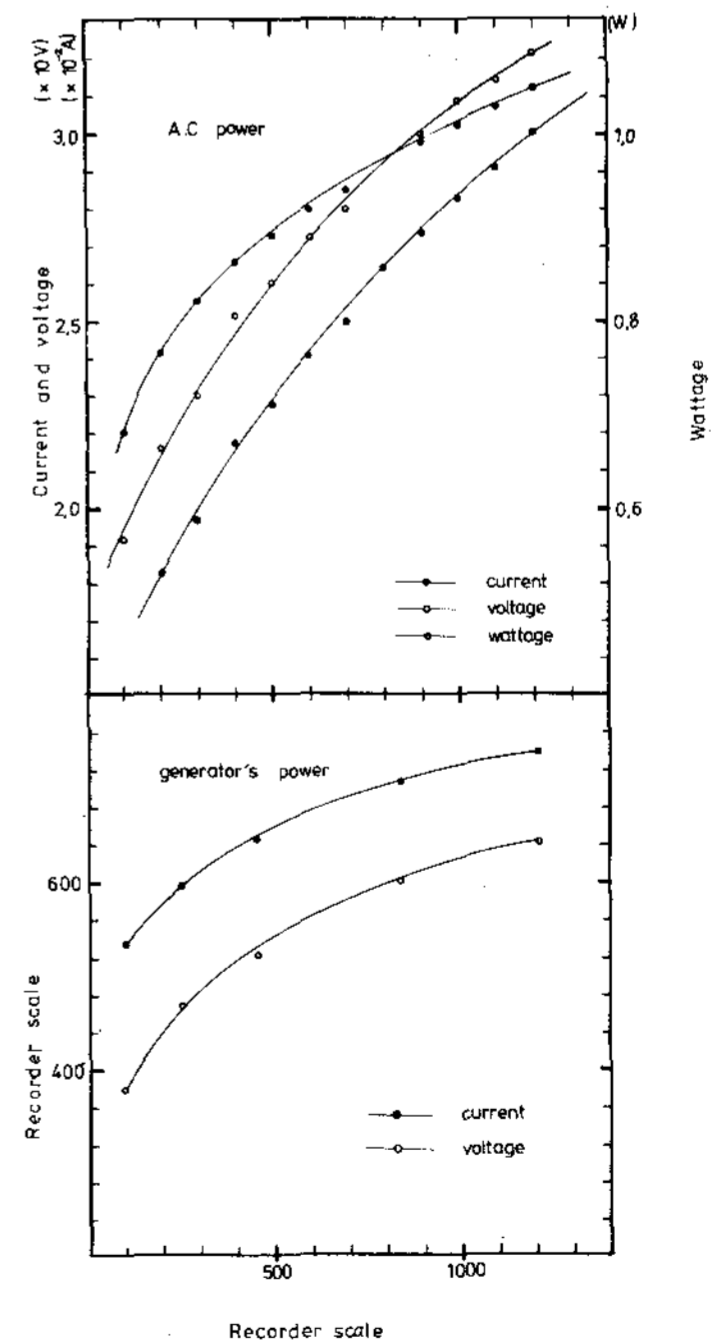


Fig.7. Relation between A.C. power and generator's power scale.

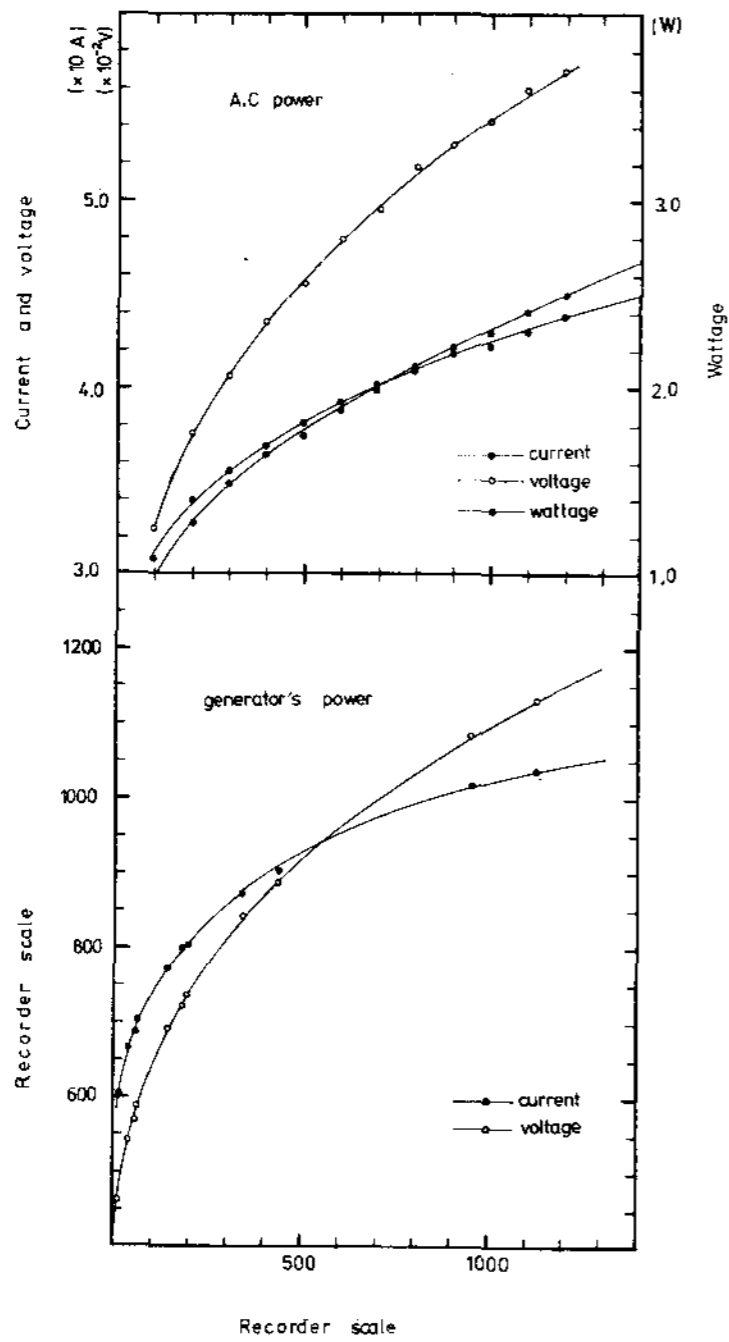


Fig.8 Relation between A.C.power and generator's power scale.

Fig.8은 1~3 watt 사이에서 실험된 것이며 graph의 위쪽은 A.C.전력, 전류, 전압 곡선을 그리고 아래쪽은 발전기에 의한 전력, 전류, 전압곡선을 photometer에 의한 좌표에 따라 표시한 것이다. Fig.7~8의 그림의 종축 좌표는 횡축 좌표와 같은 Scale로 표시하였다.

Fig.9는 이들 두 그림으로 부터 얻은 값을 data해석을 위한 눈금으로 바꾸기 위한 그림이다.

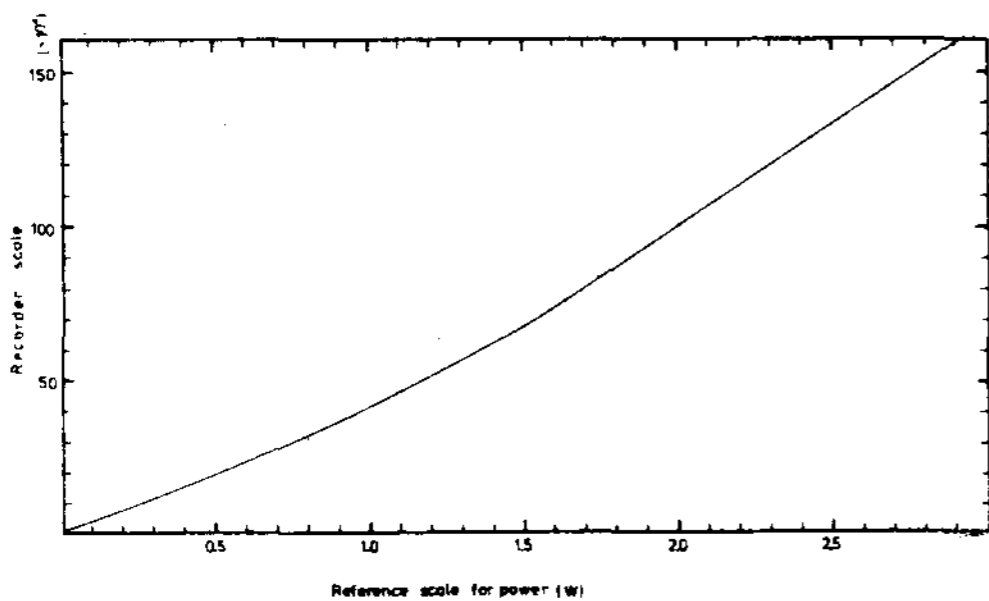


Fig.9 Reference scale for power.

이 그림은 해석의 편의를 위하여 전압 곡선에 관한 것만을 사용하여 작성했으며 횡축은 watt

종축은 「recorder scale」의 제곱으로 표시하였다.

ㄴ) 흡수체에 가한 외부전력의 해석

흡수체에 가한 외부 전력의 변화에 따른 발전기의 출력 실험 data를 Fig.9를 이용 해석하여 종축좌표를 작성하였고 그에 해당하는 외부 전력의 값을 횡축으로 하여, Fig.10을 작성하였다. 이 그림에는 물 주입에 의한 발전기의 출력 증가를 고려하지 않고 작성하였으므로 그 증가분이 포함되어 있다. 그러나, 그 값이 평균 최대 3.8 watt 정도이고 이는 외부 전력 또는 태양에너지에 의한 thermal power에 비하여 0.11% 정도로 작아 무시할 수 있다.

ㄷ) 태양에너지에 의한 흡수체의 Steam Power.

Fig.11은 Fig.9에 의하여 실험 data를 분석해 그 결과를 나타낸 것이다.

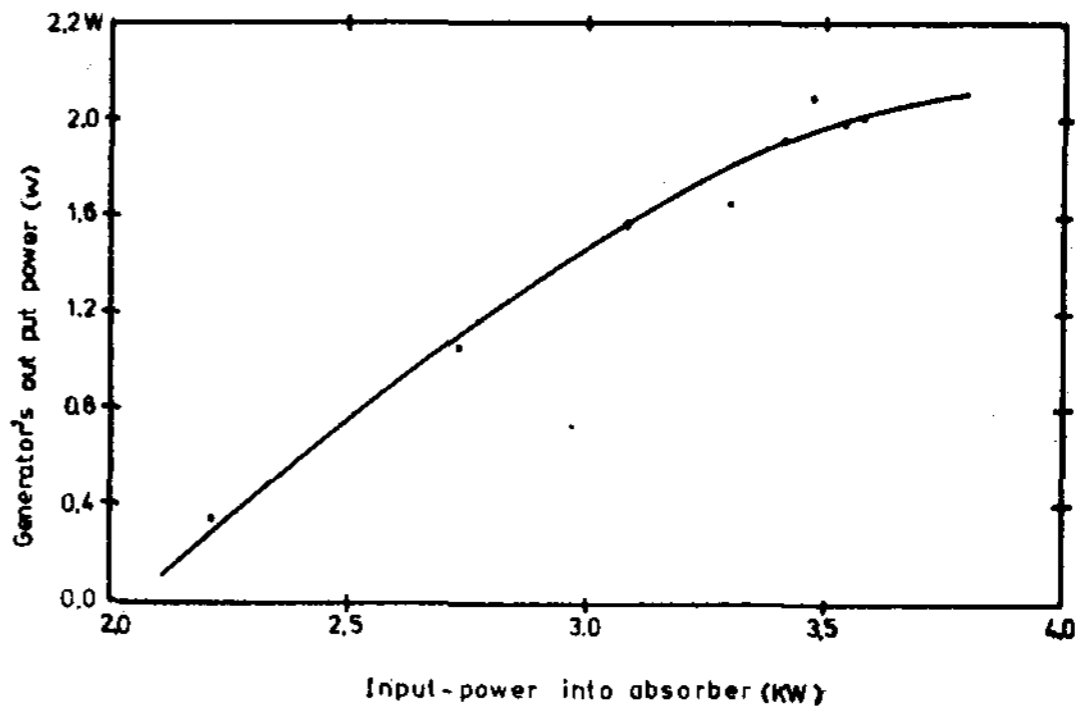


Fig.10 Generator's output power V.S. input power into absorber.

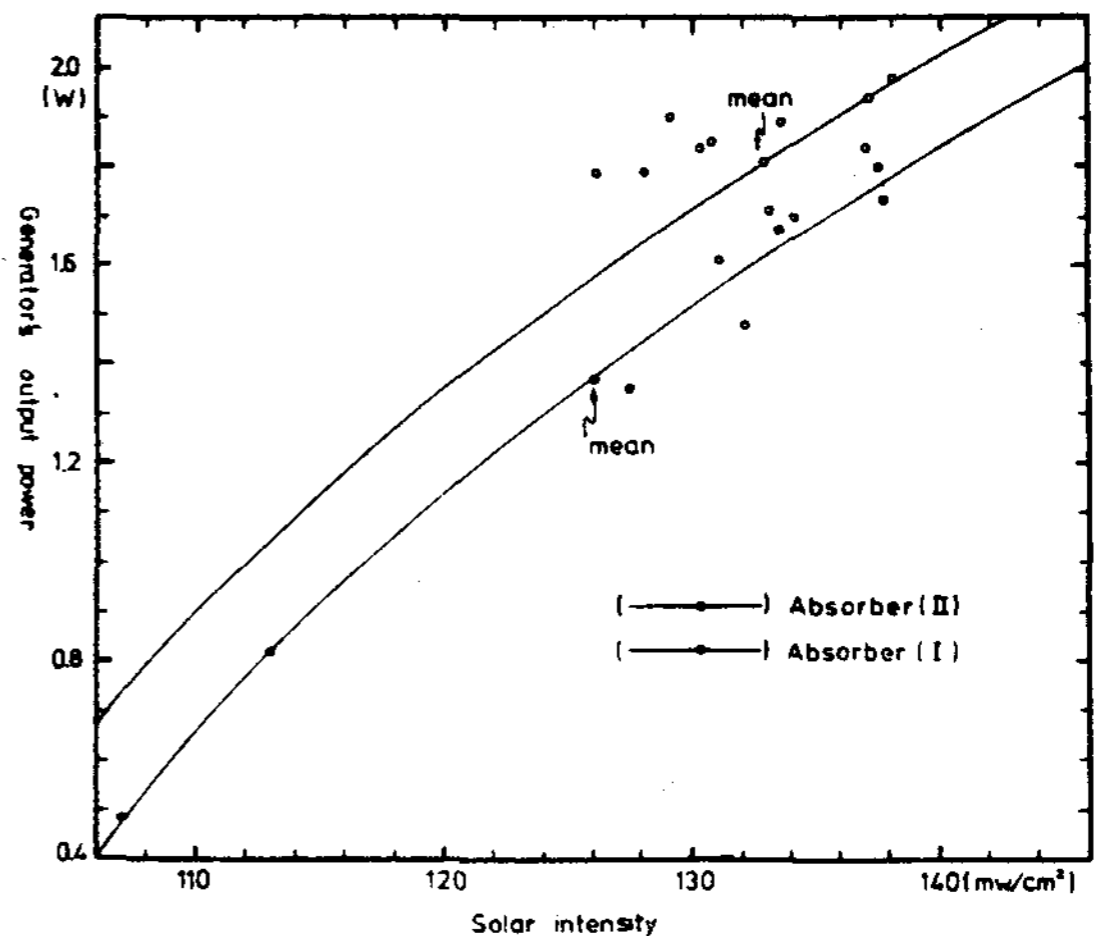


Fig.11 Generator's output power V.S. solar intensity power.

이 그림의 횡축은 태양에너지 밀도  $I_s$ , 종축은 태양에너지에 의한 본 실험발전기의 실제 출력을 표시한다.

Fig.12는 Fig.11의 값을 Fig.10에 의하여 태양에너지 밀도  $I_s$ 에 대한 단위면적당 Steam power  $P_s$ 의 비율인 퍼센트  $\eta_s$ 를 구하여 종축에 표시한 것이다. 이 그림에서 흡수체(II)에 해당하는 곡선의 왼쪽 부분은 흡수체(I)의 곡선을 왼쪽 부분은 흡수체(I)의 곡선을 참조하여 추정으로 그린 결과이다.

한편 두 실험치의 효율을 비교할때 흡수체(II)의 효율이 흡수체(I)의 효율보다 약 5.6% 높아 앞에서 언급한 바와 같이 흡수체를 가는 것으로 설계함이 좋음을 알수 있다. 이 그림에서도 물 주입에 의한 power의 증가를 무시하고 작성하였다.

ㄷ) 예상 전력과 효율의 추정

Fig.13은 Fig.12의 결과를 기존 중형복수 터빈에 적용하여 얻었다.

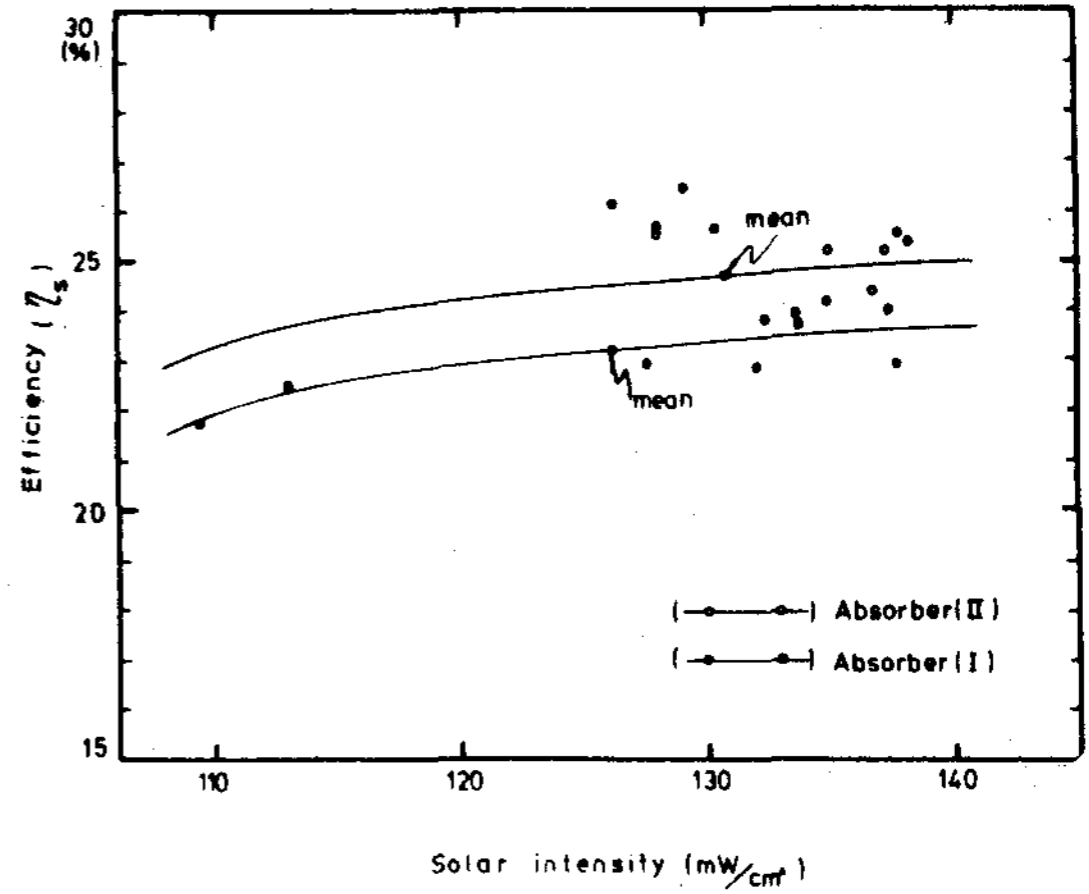
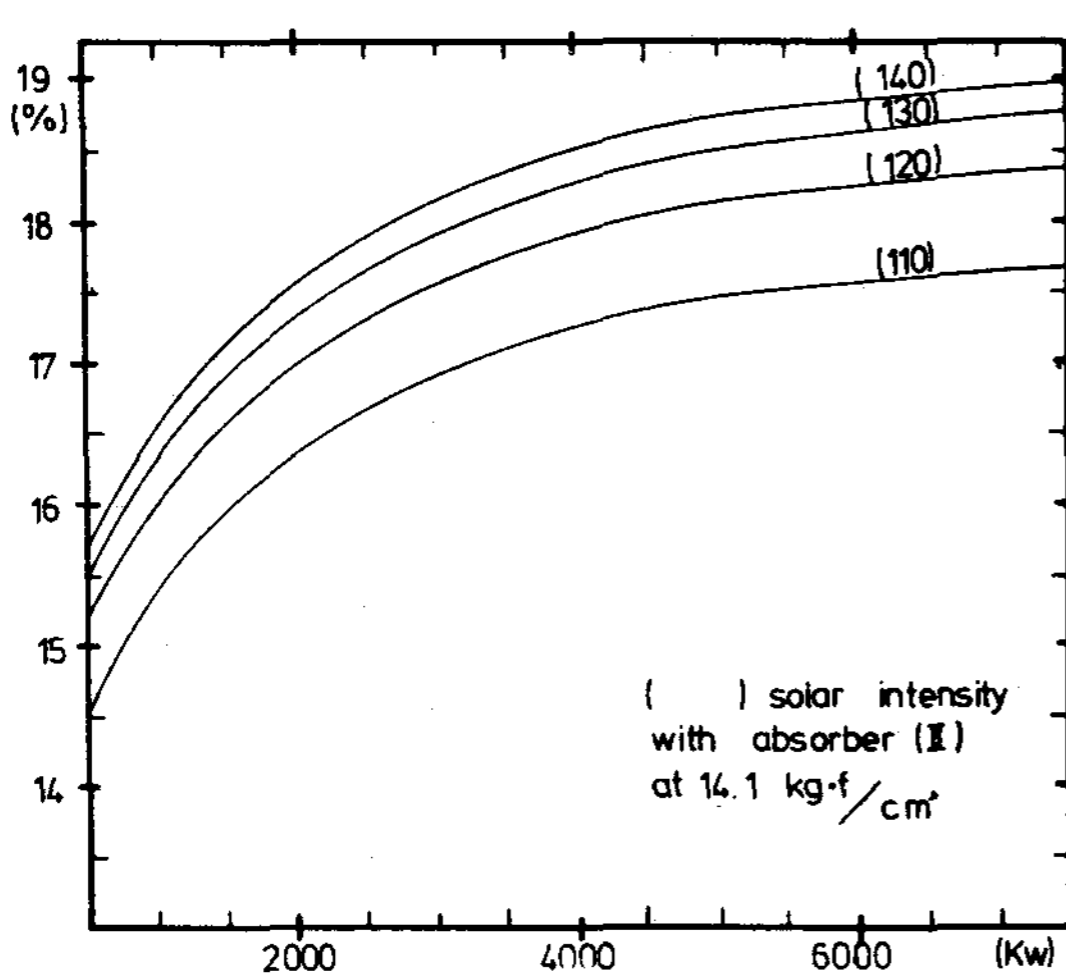
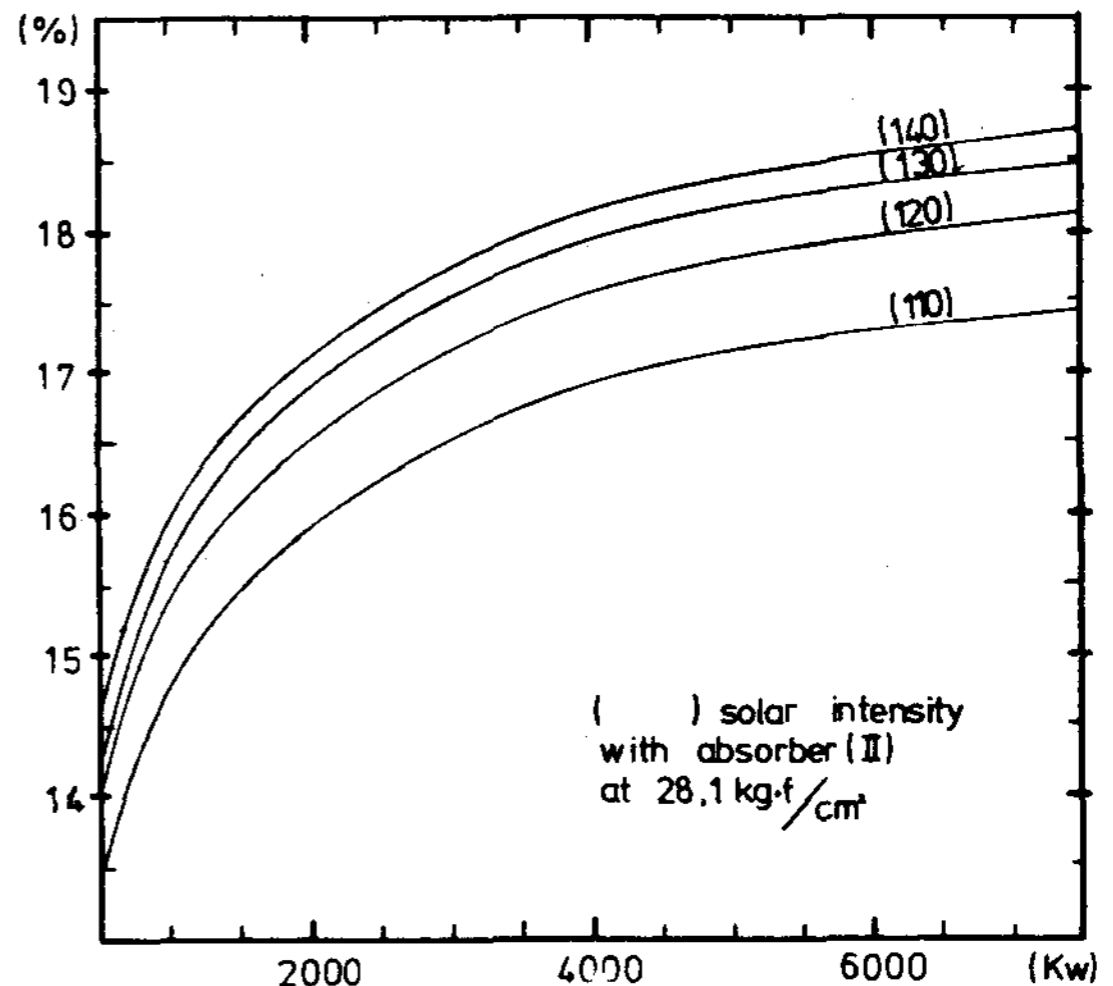


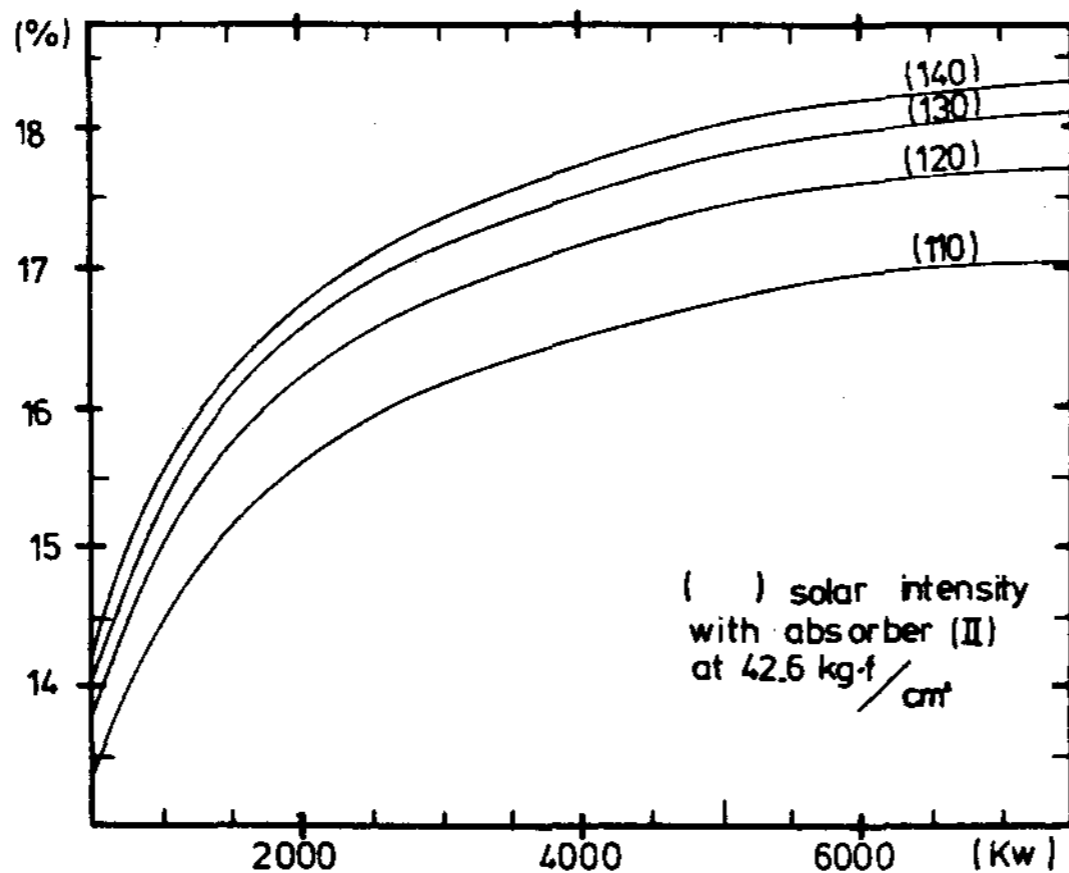
Fig.12 Efficiency of steam power V.S. solar intensity.



(1)



(2)



(3)

Fig.13 Efficiency ( $\eta$ ) V.S. electric power.



이 그림은 터빈의 회전속도 3,600 r.p.m 인 경우를 그린 것이며, 1,800 r.p.m의 경우도 가능하나, 7의 비슷한 결과이므로 생략하였다. 또한 Fig.13-1은 증기압이 14.1 Kg중/cm<sup>2</sup>, Fig.13-3은 42.6 Kg중/cm<sup>2</sup>일때의 효율인데 횡축은 발전기의 출력이고 종축은 효율(η:solar intensity에 대한 발전기의 출력비)을 표시한다.

같은 방법으로 Fig.12를 기존의 대형충동 터빈에 적용하여 Fig.14와 같은 결과를 얻었으며 Fig.14-1은 증기압이 14.1 Kg중/cm<sup>2</sup>, Fig.14-2는 21.1 Kg중/cm<sup>2</sup>, Fig.14-3은 28.1 Kg중/cm<sup>2</sup>, Fig.14-4는 42.2 Kg중/cm<sup>2</sup>인 때

이다. 그런데 Fig.13과 14에서 복사 및 전도에 의한 흡수체의 손실을 고려하지 않았으므로 다음 절에서 이에 대한 보정을 하기로 한다.  
 □) 흡수체의 전열량

흡수체의 규모는 다음과 같이 해석할 수 있다. 보일러에 있어서 고체로부터 액체로의 전열 문제는 핵비등과 막비등으로 구분할 수 있는데 보일러의 단위 표면적당 전도되는 thermal power q는 다음과 같이 쓸수 있다.

$$q = \alpha (t_w - t_o) \dots\dots\dots (10)$$

여기서 t<sub>w</sub>는 보일러 내부 벽의 온도 t<sub>o</sub>는 물의 온도이며, α는 열전도도 (Heat co-

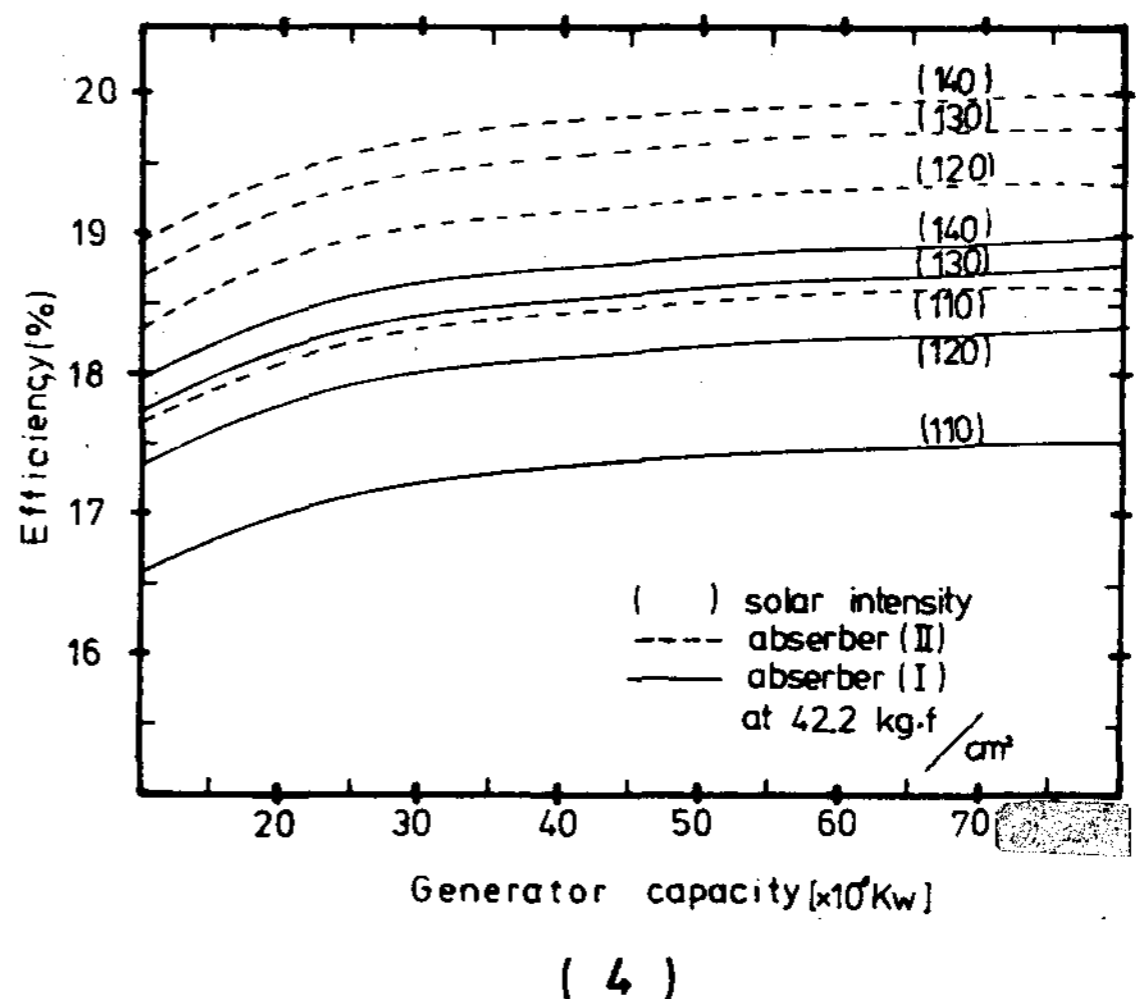
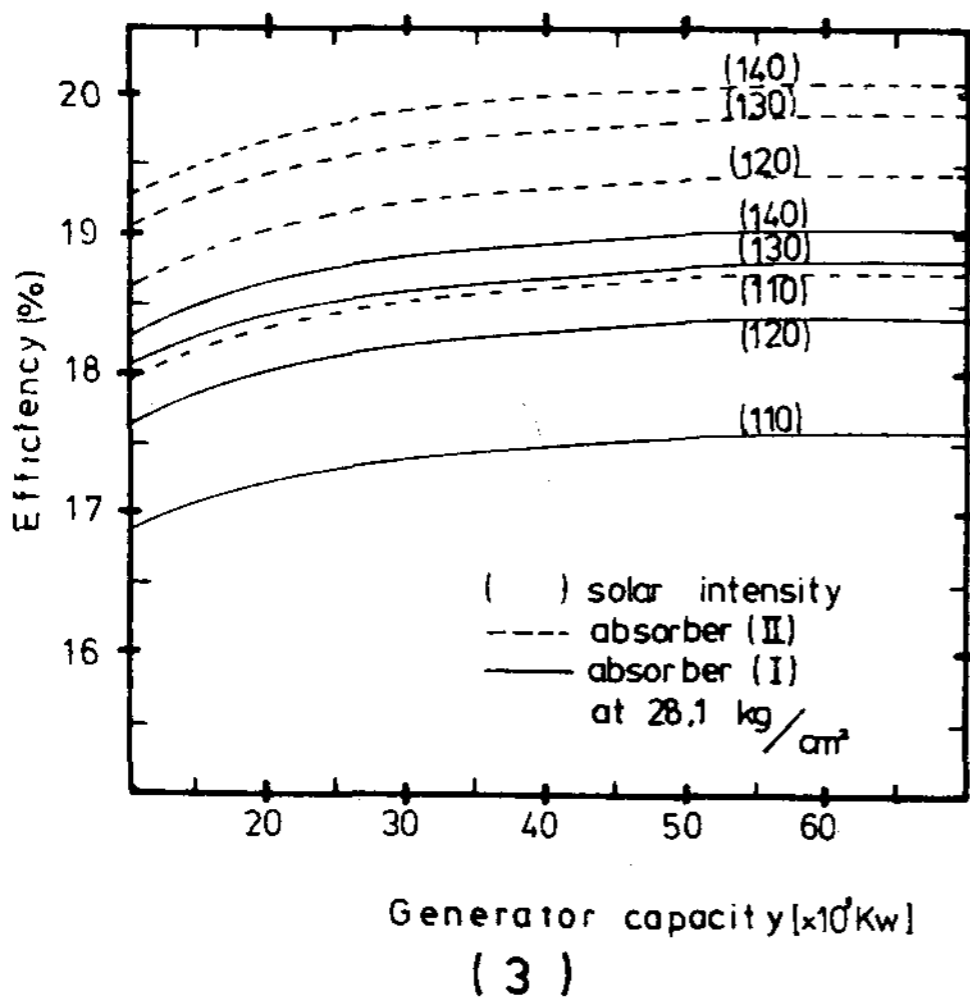
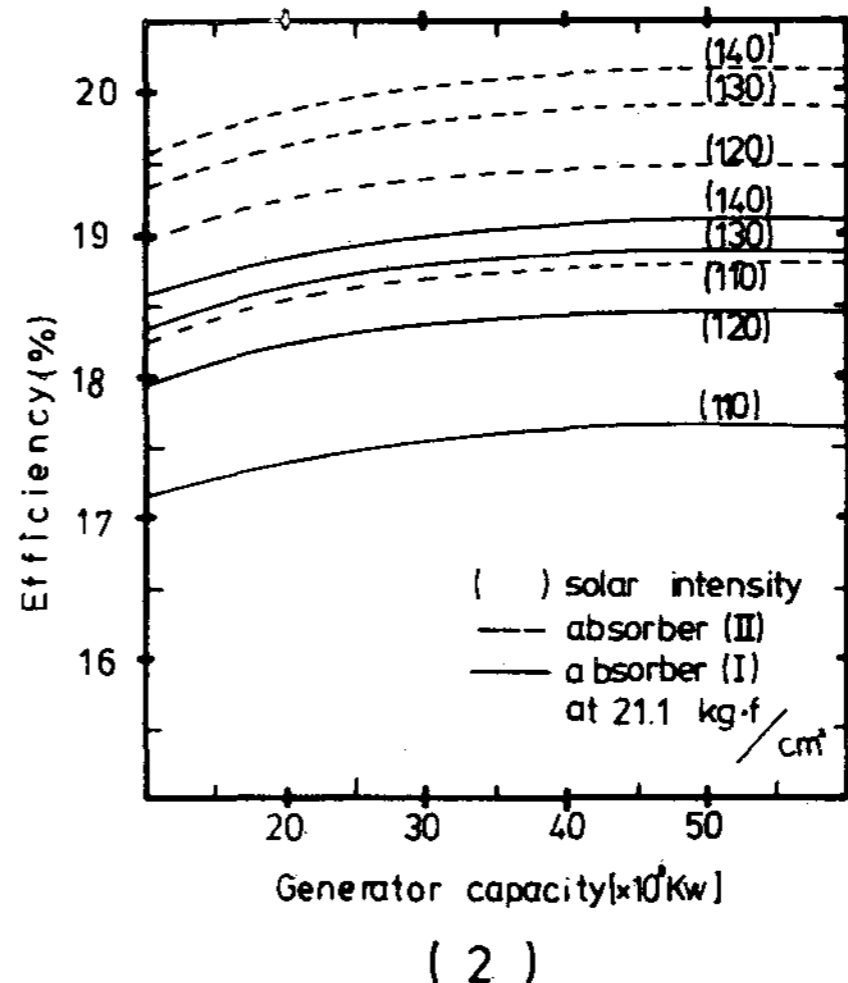
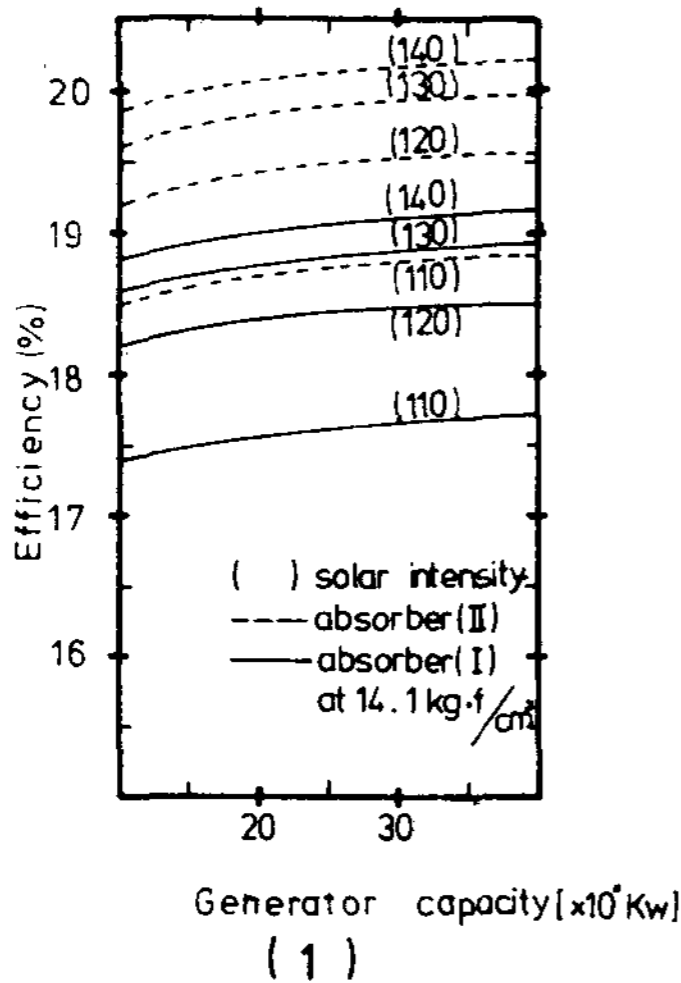


Fig.14 Efficiency (η) V.S. electric power.



ductivity) 핵비등의 경우 안전을 고려하여  $0.95 \times 10^5 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 를 초과하지 않아야 하며 이때의 온도차  $t_w - t_o$ 는  $1.4^\circ\text{C}$  정도이다. 따라서  $q$ 의 값은

$$q \approx 154 \text{ KW/m}^2 \dots\dots\dots (11)$$

정도로 추정된다. 막비등의 경우  $t_w - t_o = 10^\circ\text{C}$  정도로 택하고 압력  $14 \text{ Kg중/cm}^2$ 로 택하면

$$q = 34.8 \text{ KW/m}^2$$

를 얻을 수 있다. 결국  $q$ 의 값을 최소  $34.8 \text{ KW/m}^2$ 로 부터 최대  $154 \text{ KW/m}^2$ 로 대략 추정할 수 있다.

나) 흡수체의 열 손실

Fig.2~4에 표시된 바와 같이 흡수체의 열 손실은 열복사 및 열전도에 의한 것이 대부분이다. 이 값을 구하기 위하여 흡수체로 부터의 수증기 방출을 없게하고 교류전력을 전열기에 가하여 그값을 구하였다. 실험 결과는 Fig. 15와 같으며, 이때 흡수체(I)의 표면적이  $0.23 \text{ m}^2$ 이었다. 한편, 열복사 및 열전도에 의한 손실을 같은 증기압에서 표면적에 비례한다고 볼 수 있으므로 실험값을 단위 표면적당 손실로 환산하면, Fig.15의 오른쪽 종축과 같아 증기압이  $40 \text{ Kg중/cm}^2$ 이다.

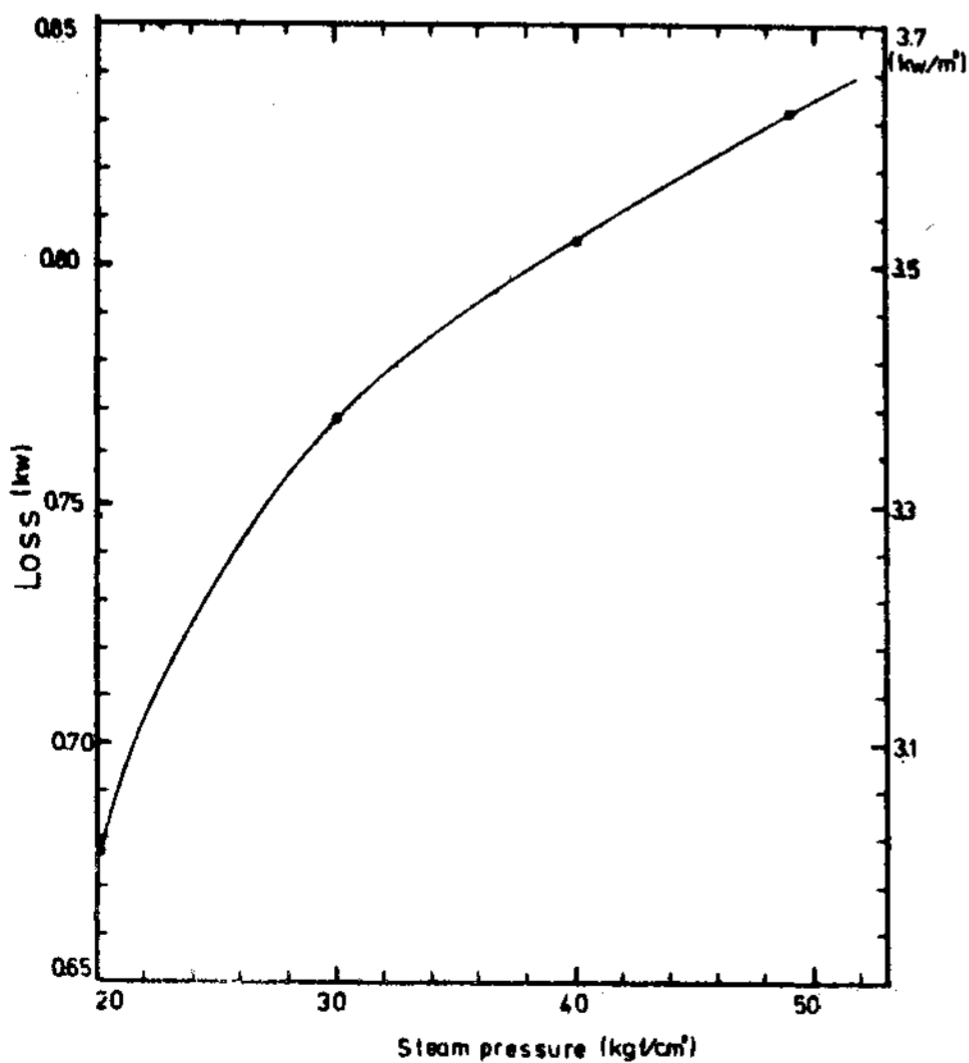


Fig.15 Radiation and conduction loss of absorber.

한편 앞절의 결과에 따르면  $q$ 의 값이  $34.8 \sim 154 \text{ KW/m}^2$ 이므로, 손실을 제외한 값을  $q_n$ 이라하면,

$$q_n = 31.3 \sim 150.5 \text{ KW/m}^2 \dots\dots\dots (13)$$

이다. 흡수체의 효율을  $\eta_{ab}$ 라 표시하고

$$\eta_{ab} = q/q_n \times 100 [\%] \dots\dots\dots (14)$$

라 정의하면 그값은

$$\eta_{ab} = 89.9 \sim 97.7 \% \dots\dots\dots (19)$$

가 된다. 이 값은 증기압  $40 \text{ Kg중/cm}^2$  일때를 기준으로 한값이며 작은 수는 막비등, 큰수는 핵비등에 해당한다.

따라서, (6)식은 다음과 같이 보정되어 진다.

$$\eta = \eta_s \cdot \eta_{ab} \cdot \eta_T \cdot \eta_G \times 10^{-6} [\%] \dots\dots (16)$$

위와같은 점을 고려할때 Fig.13과 Fig.14에서 흡수체의 열 손실을 보정하여 주어야만 하겠으나 모든 시설이  $140 \text{ mw/m}^2$  (Solar intensity의 최대치)와  $40 \text{ Kg중/cm}^2$  (본실험 최대치인 동시에 대규모 예상최대 증기압)을 기준으로 하여야 하므로 이를 다음에서 다루기로 하고, 나머지에 대하여는 생략한다.

나) 시설용량과 규모의 추정

여기에서 시설 용량과 규모를 개략적으로 추정할 수 있다. 우선 해바라기에 부착하는 거울의 면적을 추정할 수 있는데 이는 비교적 간단하여, 거울의 총면적을  $S_m$ 이라 하면,

$$S_m = \frac{\text{generator's capacity}}{\eta \times \text{solar intensity}} \dots\dots (17)$$

에 의해 구할 수 있다. 여기서 물론  $\eta$ 값은 (16)에 의한 값이어야 하며, Solar intensity는 최대의 값  $140 \text{ mw/cm}^2$ , 증기압은 최대치  $40 \text{ Kg중/cm}^2$ 를 기준으로 하였다. 그 결과는 Fig.16과 같으며 absorber (III)에 대한 것이다.

Fig.16-1은 Fig.13에 의하여 작성되었으므로 중형 터어빈에 관한 것이며 Fig.16-2는 대형 터어빈에 관한 것이다. Fig.16의 상부에

는 해바라기 거울의 총면적을 표시하였고 아래 쪽에는 흡수체의 면적을 표시하였다. 한편 이러한 규모의 시설을 설치했을 경우 solar intensity가 감소하면 그때의 발전량도 감소할것이므로, Solar intensity가  $110 \text{ mw/cm}^2$  인때를

$$\text{generator's Capacity} \times \frac{110 \text{mw/cm}^2}{140 \text{mw/cm}^2} \times \frac{23.3\%}{25\%} \dots\dots\dots (18)$$

에 의해 계산하여 그 발전 가능량을 그림에 표시하였다. 같은 방법으로, 흡수체의 면적  $S_{ab}$  를

$$S_{ab} = \frac{\text{Solar intensity} \times \eta_s \times S_m}{q} \dots (19)$$

에 의해 계산하였으며, 막비등의 경우  $q = 34.8 \text{ KW/m}^2$  를 택하였고, 핵비등은  $q = 154 \text{ KW/m}^2$  를 택하였다. 따라서 흡수체의 표면적은 그림의 사선 부분내의 어느 점이 되겠으나 가능한 한 핵비등의 쪽으로 제작되는 것이 그 시설 규모가 작아져 경제적이 될것으로 예상된다. 참고적으로 Fig.16에 의하면 해바라기 거울의 면적과 흡수체의 면적비가 막비등의 경우 99.5배 핵비등의 경우 440배 정도이며 효율면에서도 핵비등의 경우가 우수할 것으로 예상된다.

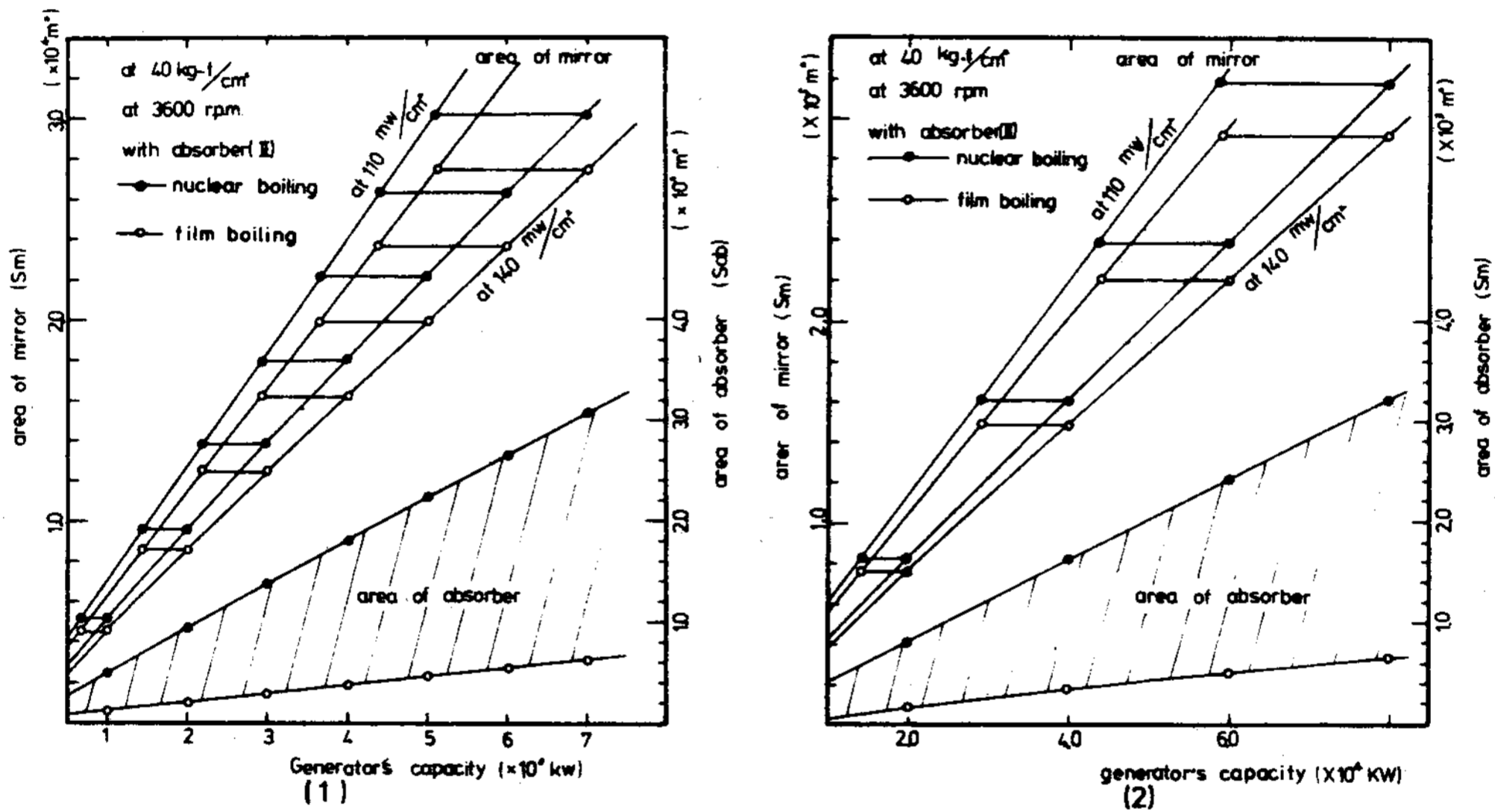


Fig.16 Scale of solar energy electric generation system.

### III. 결 론

태양열 에너지에 의한 발전의 연구는 하나의 종합 응용과학으로써 대규모의 시설과 다방면에 걸친 응용이 요구되므로 그의 연구에 많은 노력과 시간이 소요되었다. 이러한 어려움 속에서도 본 연구는 순조로이 연구되어져 다음과 같은 결론을 요약할 수 있었다.

1. 본 실험에서 제작한 해바라기의 거울면적은  $10 \text{ m}^2$ 이었으며, 이 면적의 태양에너지로 부터 얻을 수 있었던 최대의 발전출력은 태양에너

지 밀도  $140 \text{ mw/cm}^2$ 에서 흡수체(II)를 사용했을 경우 3 watt 정도의 출력을 얻어 그 값은 적지만 국내 최초의 연속적인 발전이라는 점에서 그 의미가 크다고 생각되며 완전히 국내의 기술과 재료만으로 이루어졌기 때문에 보다큰 시설로의 확장 실험이 용이하며 그의 경제성이 입증될 경우 곧, 바로 대용량 건설이 가능하다고 본다.

2. 본 실험에서 얻은 자료중 가장 중요한 것은 태양에너지를 Steam power로 바꿀 경우 23

~25%의 효율( $\eta_s$ )을 얻을 수 있었다는 점에 있으며 Solar intensity가 110이하로 떨어질 경우, 효율이 급격히 저하하는 점으로 미루워 대규모의 시설이라 하더라도 발전은 할 수 없을 것이라 예상되어진다. 여기서 생각하여야 할 점은 흡수체의 크기에 따라 흡수체 자체의 열손실이 결정되어진다는 것이며 그 크기는 2.3~10% 정도가 되며 이 값을 감안할 경우 증기 터빈에 기여할 수 있는 Steam power는 최대 22.5~22.4% 최소 20.7~22.5% 정도의 범위로 얻을 수 있다. 이런 점을 고려할 때 흡수체의 소형화 연구가 시급한 문제이며 이로써 시설비의 절감이 두드러질 것으로 예상된다. 또한 흡수체의 굵기를 가늘게 함이 보다 유리하다는 것을 실험으로 알 수 있었으며 약 5.6%의 효율 증가를 얻을 수 있었다. 그러나 그 굵기를 어느 정도로 하는 것이 경제적이고 효율적인가 하는 것은 더 연구되어야 할 것이다.

3. 위와 같은 결과에 따라 흡수체의 열손실을 생각치 않았을 때의 Solar intensity에 대한 발전 효율을 Fig.13 또는 Fig.14와 같이 얻을 수 있었으며 시설 용량 80,000 KW에서 18.6~20%의 효율을 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 흡수체의 열손실을 감안할 때는 앞에서와 마찬가지로 2.3~10% 정도의 감소가 예상되어져 최소 16.7~18% 최대 18.2~19.5%의 효율을 얻을 것이 예상된다. 이것을 기초로 하여 예상할 수 있는 시설 규모를 Fig.15와 같이 추정할 수 있으며 흡수체의 크기에 따라 해바라기 거울면의 면적도 달라진다는 사실을 알 수 있다. 참고적으로 시설 용량 80,000 KW에서 거울면의 면적은  $3.2 \sim 2.9 \times 10^5 m^2$  흡수체의 표면적은  $3.2 \sim 0.64 \times 10^3 m^2$  정도로 예상할 수 있다.

4. 본 실험에서 사용한 흡수체는 외경 76mm인 흡수체(I)과 외경 22mm인 파이프 6개와 외경 28mm인 파이프 1개를 사용한 흡수체(II)만을 사용한 결과이기 때문에 흡수체의 표면적과 효율에 관해서는 이점을 고려해 두어야 하겠으며, 흡수체의 형태와 크기, 효율은 앞으로의 연

구 과제라 생각된다. 아울러 태양에너지 밀도에 대한 증·기동력의 비율( $\eta_s$ )이 최대 25%인 점을 미루워 해바라기 평면경의 반사율 개선과 envelope의 투과율 개선, 흡수체 및 envelope의 selective coating에 관한 연구로 효율의 개선문제가 앞으로의 과제이다.

5. 시설 용량을 80,000 KW 이상으로 할 경우 효율은 더욱 증가되어짐을 추정할 수 있다. 9)

### 참고문헌

- 1) H. Taber, Sol. Energy 10, 111(1966).
- 2) K. G. T. Hollands, Sol. Energy 13, 149 (1971)
- 3) B. O. Seraphin, Appl. Opt. 12, No.2, 349 (1973).
- 4) R. Winston, Sol. Energy. 16, 84(1974).
- 5) T. J. Mc Mabon and S. N. Jasperson, Appl. Opt. 13, 2750 (1974)
- 6) J. R. Howell and Others, J. Energy 1, 329(1977).
- 7) K. D. Mannano and R. B. Bannevot, in Proceedings, ERDA Flat-plate Solar Collector Conference, Orlando, Fla, (Feb. 1977).
- 8) D. M. Mottox, R. R. Sowell, J. Voc. Tech., 11, 793 (1974)
- 9) D. M. Moxttox, G. J. Kominiak, J. Voc. Soc. Tech. 12, 182 (1975)
- 10) Ari Rabl, Appl. Opt. 15, No.7, 1871 (1976).
- 11) Kun Hee Kim, Chang Woong Woo, Joon Mook Yang, Sung Syck Jun and Sung Eul Choi, New Physics, Kor. Phy. Soc., 19, No.2, 123(1979).
- 12) 西川兼康, 日本機械字會誌, 第64卷, 第504號, 43(1961).