

# 太陽에너지의 集束

金 根 熙

<漢陽大學校 物理學科 敎수>

## I. 서 론

지금까지 쓰이고 있는 에너지 원은 여러가지가 있으나 그중에서도 대부분을 차지하고 있는 화석연료는 고갈직전에 있고, 근 20여년에 걸쳐서 개발되어온 핵에너지는 심각한 공해문제를 야기시키고 있기 때문에 기타의 에너지 원 개발이 절실하게 되었다.

에너지 원의 풍부성과 무공해 면에서 태양에너지는 가장 유리한 조건을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 에너지 밀도가 약  $1\text{KW}/\text{m}^2$ 인 태양에너지를 발전에 환용할 수 있도록 태양에너지 집속에 관한 연구를 하기로 한다.

태양에너지를 집속하기 위하여 25개의 해바라기에 들어온 많은 태양에너지를, 한개의 포물반사체에 주입시켜서, 원통형 흡수체에 집속한다.

이 System에서 가장 중요한 부분의 하나인 반사체에 관한 많은 연구가 있다. Holland의 rectilinear trough 반사체는 태양에너지가 반사체 아래에 수직으로 들어온 입사선은 반사체에서 단 한번만 반사하게 되므로 효율이 좋지않고, Tabor는 Stationary Mirrar Collectors를 썼고, mannanu와 Bannerot는 V형 반사체의 집속을 계산한 바가 있다.

Rabe는 trough reflector와 다른형의 반사체를 비교한 바도 있었다. 그리고 Winston의 Compound parabolic Concentrator는 어느 특정의 입사

선은 흡수체의 한점에 대단히 많은 에너지를 집중하게 되나 흡수체의 전면에는 이르지 못하는 폐단점이 있다. 그리고 Seraphin은 Clindrical glass Freonel lens를 써서 직경 4cm의 흡수체에 에너지를 집중하는 연구를 했다.

그러나 위의 연구들에서는 집중 효율이 낮거나 제작의 어려움이 있는 점등이 있다. 그러므로 본실험실에서는 반포물형 반사체를 쓰기로 한다.

이 반사체에 의하여 흡수체에 태양에너지가 집속될 때에 흡수체는 될 수 있는대로 많은 에너지를 흡수하고, 흑체복사에 따른 에너지 손실을 막을 수 있는 흡수면을 만드는 것은 중요한 문제중의 하나이다. 이와 같은 특성을 지닌 선택흡수면에 관한 연구도 많이 시도되었다. 이 중에는 화학다층막 Coating방법, 화학적 또는 열처리에 따라서 흡수체에 어느 표면층을 만드는 방법, 금속 또는 반사체의 미립자를 만드는 방법과 기타 여러가지 방법이 있다.

본 실험에서는 흡수체 표면을 Knuerling 처리하여 흡수면적을 넓게하였다.

## II. 실험 장치

### (1) 해바라기

개개의 거울이 태양을 쫓아 움직인다는 뜻에서 거울을 장치한 태양추적 장치를 해바라기라

명명하겠으며, 본 실험에서 쓰인 해바라기 수는 25개 이고 전면적은 10m<sup>2</sup>이다. 이에 대한 규모는 대략 Fig. 1.과 같으며, 폭 837cm, 높이 143cm가 되고, 작동원리는 다음과 같다.

(a) 작동원리

Fig. 3에서  $\triangle ABC$ 는 2등변 삼각형이므로 AC의 연장선이 항상 반사체를 통과하게 하고, 회전축 AD가 지구의 자전축과 평행하도록 셋팅하

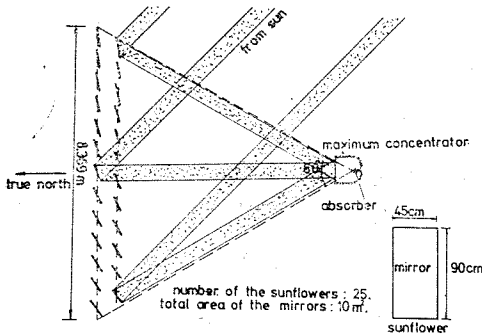


Fig. 1. The dimension of the system.

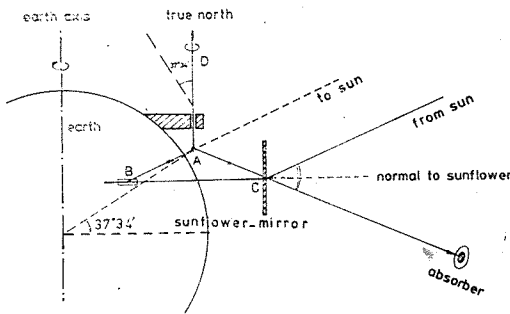


Fig. 3. The principle of the sunflower.

여 둔다면, 지구가 자전축을 중심으로 회전할때 회전축 AD를 그와 반대방향으로, 같은 각속도의 크기로 회전시키면 태양으로 부터 입사되는 광선은 거울면에서 반사되어 항상 반사체를 향하게 된다.

(b) 구조

해바라기의 구조는 Fig. 4와 같고 회전축 AD는 하루의 태양위치 변화를 추적하기 위한것으로 각속도의 크기는 1rev./day이다. 그리고 부품 F는 회전축 AD를 오르내림으로써 계절에 따른 태양고도의 변화를 추적할 수 있게 되어있다. 또한 DE는 각각의 해바라기를 연동시키기 위한 레버이다. 물론 삼각형 ABC는 이등변 삼

각형으로써 AC의 연장선이 항상 반사체를 향하도록 셋팅되어 있고 B점은 축 BC를 따라 미끄러지도록 되어있어 태양으로 부터의 광선이 항상 반사체에 도달하게 된다.

(c) 셋팅

원리에서 설명한 바와 같이 회전축 AD의 방향이 지구의 자전축과 평행이어야 하므로 실험장소(한양대학교 제 1공학관 옥상)의 정확한 위치를 알아야 하는데 이는 다음과 같다.

동경 127° 2' 45''

북위 37° 33' 15''.

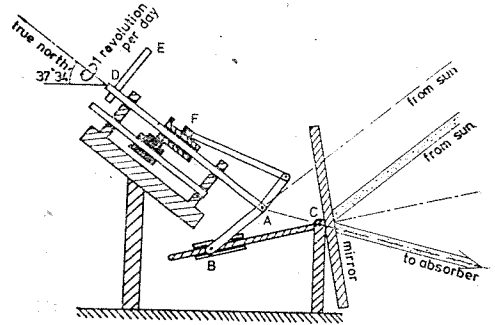


Fig. 4. The mechanism of the sunflower.

위의 값에 따라 회전축 AD의 수평으로 부터의 각을 37° 33' 15''으로 Setting하였으며, 정북을 찾는데에는 태양 추적 방향을 택하였다. 태양의 위치가 동경 127° 2' 45''가 되는 시각을 찾고 태양을 Transit로 추적하여 정북의 위치를 결정하였다. 이렇게 함으로써 회전축 AD가 지구의 자전축과 완전히 평행하도록 Setting 할 수 있다.

(2) 연동장치

연동장치는 Fig. 6과 같으며 모터를 사용하여 구동력을 얻고 감속기에 의하여 회전속도를 줄이고 Screw에 의해 선형운동으로 바꾼후 Steel wire에 의한 동력전달로 회전축(Fig. 4. AD)에 부착되어 있는 pulley를 회전시켜 주게 되어있다. 회전축 각속도의 미세조정은 영구자석에 의한 방식을 택하였다. 그리고 각 해바라기의 연동은 Fig. 6에서 알 수 있는 바와 같이 link bar

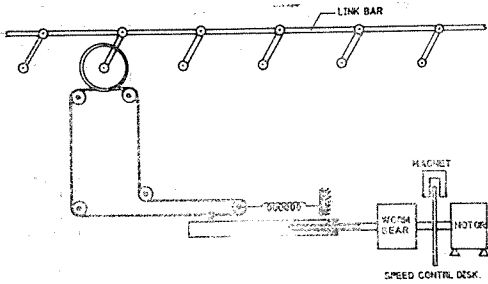


Fig. 6. Schematic diagram of linkage System.

에 의해 이루어 지게 되어있다.

(3) 반사체

(a) 이론

본 실험에서 쓰인 집광반사체는 최대의 집광 효과를 낼 수 있는 곡면을 택하였으며 반사 단면도는 Fig. 7과 같다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 AB곡면은 Convolute이고 BC곡면은 parabolic곡면으로 되어 있어 광축 AE와 30° 이내의 각으로 입사되는 모든 평행 광선은 absorber의 표면에 균등하게 집중되어 진다. 이 반사체의 이론은 다음과 같다 반사면의 임의점 P로부터 흡수체의 표면에 접선을 그어 그 접점 Q로부터 P점까지의 길이를 ρ라하고 직각좌표의 원점(흡수체 중심)을 중심으로 A에서 Q까지의 각을 θ라 하면 곡면 BC사이의 P점 체적 방정식은

$$\rho(\theta) = \int_0^\theta [r^2 + (\frac{dv}{d\theta})^2]^{1/2} d\theta$$

for  $|\theta| \leq \theta_a + \pi/2$  .....(1-a)

와 같다. 여기서 r은 원통형 흡수체의 반경이고 θ<sub>a</sub>는 광축 AE와 DE 또는 DC'선분 사이의 각을 표시한다. 이식의 일반해는 r=a라 놓으면,

$$\rho = a \frac{\theta + \theta_a + (\pi/2) - \cos(\theta - \theta_a)}{1 + \sin(\theta - \theta_a)}$$

for  $\theta_a + \pi/2 \leq |\theta| \leq \frac{3\pi}{2} - \theta_a$  .....(1-b)

이다. 이식은 parabolic curve를 나타낸다.

AB사이의 체적 방정식은

$$\rho = a\theta$$

for  $|\theta| \leq \theta_a + \pi/2$  .....(2-a)

로 표시되며, 이것은 Convolute Curve를 의미한

다. 식(1-b)와 (2-a)로 주위지는 반사체의 면을 제작하기 위하여 이식들을 직각좌표로 변환하면

$$x = -\rho \cos\theta + a \sin\theta$$

$$y = -\rho \sin\theta - a \cos\theta$$

와 같이된다. 이의 수치해석은 Computer에 의해 이루어 졌다.

(b) 제작

반사체의 외형은 대략 Fig. 8과 같으며, 아마 추어의 면적은 해바라기 거울 한개의 면적과 같이 42.7×97.0cm<sup>2</sup>로 하였다. 이에 따라 반사체의 길이는 49.14cm가 되며 흡수체의 반지름은 a=3.8cm가 된다.

이와 같이 큰 반사경을 제작한다는 것은 첫째 재료의 면에서, 내식, 내열, 가공면의 조도, 및 주물의 가능성, 둘째, 기계적 가공면에서, 공작 기계의 능력, 및 정밀도, 셋째 Coating면에서 Vacuum Chamber의 크기 등이 고려되어야 하므로 반사체의 제작에 큰 문제점이 있었다. 따라서 Fig. 9와 같은 부품 28개를 주조하여 가공후에 Al Coating하여 조립하였다. 주물의 재료는 Al-Si합금을 사용하였고, 전체의 무게는 약 90 kg이다.

Al Coating면의 반사율은 Fig. 10(A)와 같이 파장에 대한 값이 거의 같고 평균 93.9% 정도이다.

(4) 흡수체

흡수체 지름의 이론치는 2a=72mm 이어야 되

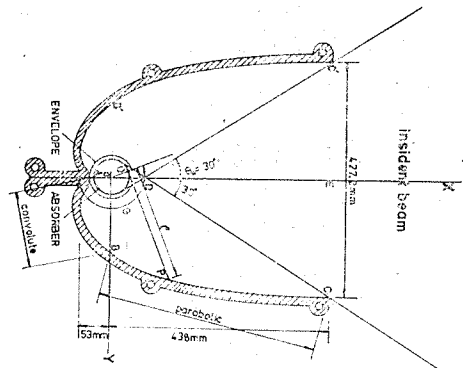


Fig. 7. The reflector.

겠으나 반사면의 정밀도를 고려할 때 약 5% 정도 불것을 택하는 것이 효율적이므로, 기존제품의 규격을 감안하여  $2a=76.2\text{mm}$ 인 고압관을 사용하였다. 이것은 증기압  $10\text{kg f/cm}^2$ 를 얻기 위해 사용하였으며 흡수체의 밖에는 전도 및 대류에 의한 에너지 손실을 막기 위해 흡수체에 envelope를 씌우고 유리관 내의 진공도를  $10^{-3}$  torr로 정도로 유지하였다.

흡수체, 유리관, 급수장치, 수위계, 압력계, 및 온도계 등의 회로도는 Fig. 10과 같다. envelope의 외경은  $87.8\text{mm}$ , 두께는  $2.25\text{mm}$ 이고

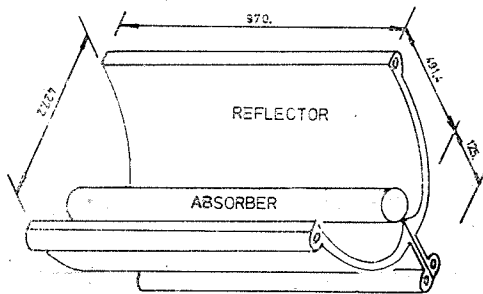


Fig. 8. The reflector with the absorber.

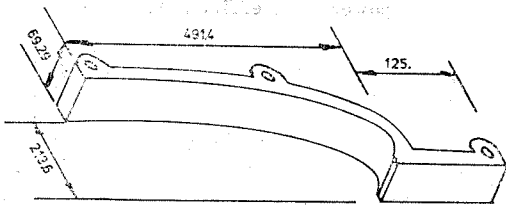


Fig. 9. The piece of the reflector.

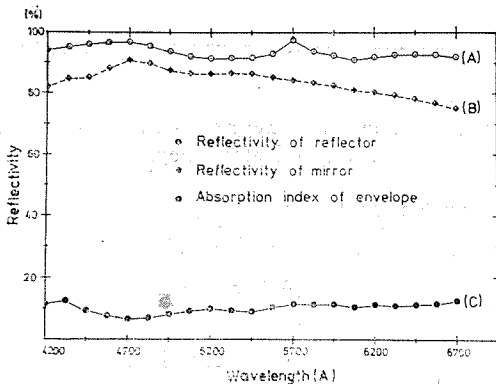


Fig. 10. Absorption Coefficient of glass.

흡수율은 Fig. 10(c)와 같이 거의 일정한 값을 지니며 평균치는 9.0%이다. 흡수체의 표면 온도를  $T_{out}$ , 내부면의 온도를  $T_{in}$  이라고 하면, 이때의 온도 차는

$$T_{out} - T_{in} = \frac{H \cdot \ln(V_{out}/V_{in})}{2\pi LK} \dots (4)$$

이다. 여기서,

$H$ : 단위시간당 흡수열량

$L$ : absorber의 길이(97cm)

$V_{out}$ : 흡수체의 외경(76.3mm)

$V_{in}$ : 흡수체의 내경(67.9mm)

$K$ : 열전도도( $0.202\text{cal}/^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}\cdot\text{sec}$  for Fe at  $100\sim 727^{\circ}\text{C}$ ) 따라서,  $T_{out} - T_{in} = H \cdot 0.2267 \text{ sec/Joule}\cdot^{\circ}\text{C}$ 이다. 또한, 입사된 태양에너지가 해바라기의 반사면 및 (평균 반사율 83.7% : Fig. 10(B)참조) envelope를 거쳐 흡수체면까지 도달된 이후의 받는 에너지 양은 평균적으로 전체의 71.4% 정도로 추정된다.

### (5) Thermal Power의 측정

흡수체 내의 수위는 수위계에 의해 관찰하고 증발에 의해 일정 수위 이하로 떨어지면 injector를 이용하여 물을 공급하되 공급되는 물의 양을 부착되어 있는 Cylinder 수위계에 의해 측정하고, 공급하는 시간을 기록한다. 물과 수증기의 온도는 Thermocouple에 의해 자동기록 되었고 수증기의 압력은 gauge로 읽고 태양에너지 밀도는 powermeter로 측정하였다.

Thermal power의 계산은 단위시간당 주입유량과 수증기의 온도 또는 압력에 의해 계산되었다.

Fig. 12는 자기 4월 11일, 16일, 17일, 및 18일에 측정된 Solar energy density와 Thermal power의 시간에 따른 평균치를 나타냈다. 또한 하루의 평균치는 Fig. 13에 나타내 보였다.

제 14도에는 하루의 시간변화에 따른 (A) Solar energy density, (B) 얻어진 Thermal power, (C) 수증기 온도 및 (D) 수증기 온도를 나타냈다. 여기서 (E)는 공급된 물의 온도를 의미하며 이를 점선으로 나타냈고, 물의 공급량은 막대 모양으로 도시하였다. 보는 바와 같이 급격한

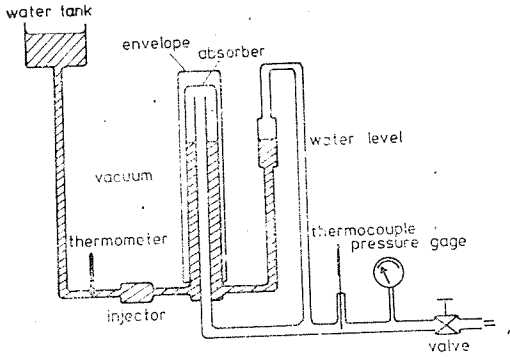


Fig. 11. The Circuit of the absorber.

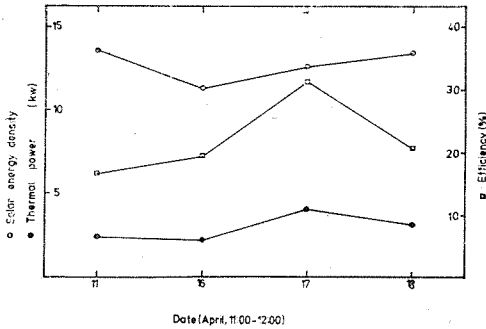


Fig. 12-(a). The Solar energy density, Thermal power, and efficiency.

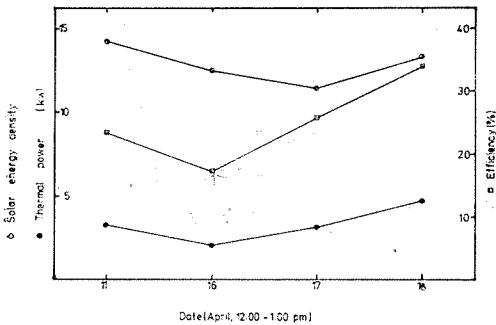


Fig. 12-(b). The Solar energy density, Thermal power, and efficiency.

수증기의 압력과 온도의 변화에도 불구하고 비교적 완전한 출력을 얻을 수 있는 것은 열용량이 큰 흡수체를 사용했기 때문이다.

### III. 결과 및 결론

Fig. 13에서 알 수 있는 바와 같이 Solar

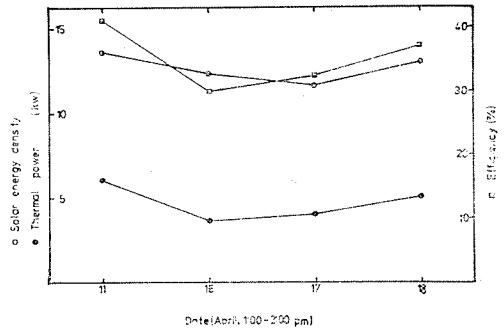


Fig. 12-(c). The Solar energy density, Thermal power, and efficiency.

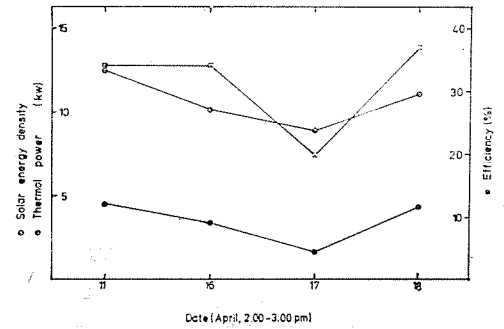


Fig. 12-(d). The Solar energy density, Thermal power, and efficiency.

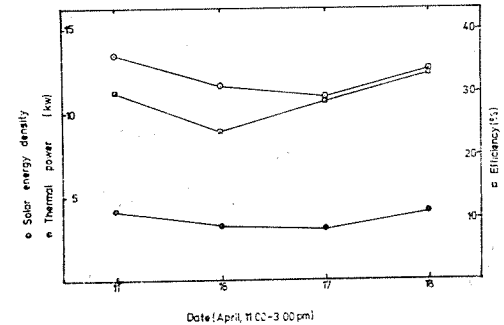


Fig. 13. The solar energy density, Thermal power, and efficiency.

energy density의 증가에 따라 얻을 수 있는 열 효율도 증가함을 알 수 있었고, 본 실험에서 얻은 평균 Thermal power는 3.6Kw이었으며, 평균 열효율은 29.2% 이었다.

또한 일일 평균 최대 Thermal power와 일일 평균 최대 열효율은 각각 4.3Kw, 33.6%를 얻었다. 그리고 측정된 최대 Thermal power는

Kw이고, 이때 효율은 38%이었다.

본 실험에서 얻을 수 있는 수증기의 압력은  $50\text{kg f/cm}^2$  이었으며 안전성을 고려하여 수증기의 압력은 평균 약  $10\text{kg f/cm}^2$ 인 상태에서 Thermol power를 측정하였다.

그리고 압력이  $10\text{kgf/cm}^2$ 인 상태에서 수증기의 온도는  $197^\circ\text{C}$  정도이나 흡수체 기벽의 온도는  $197^\circ\text{C}$  이상이 된다.

본 실험을 통해 알 수 있는 몇가지를 들어 보면 다음과 같다.

(1) 해바라기 하나 하나의 작동이 독립적이고 같은 형태이기 때문에 대량 생산할 수 있으므로 그의 수를 증가하면 방대한 양의 태양에너지를

반사체에 주입시켜서 흡수체에 막대한 에너지를 집속할 수 있다.

(2) 반포물형 반사체에 의한 에너지 집속 효율이 좋으므로 해바라기 면의 기계적인 정밀도를 상당히 완화할 수 있다.

(3) glass envelope와 흡수체 면에 선택흡수 (Selective Coating)면을 만드는 기술적인 문제를 고려하면, 본 실험의 방법이 제작의 용이한 점과 내구성에서 장점이라고 생각된다.

다음 실험에서는 본 실험을 기초로 하여  $50\text{kg f/cm}^2$  정도의 압력을 얻어 태양에너지 발전을 하고자 한다.

마음마다 科學심고

손끝마다 技術심자