

太陽熱發電을 위한 高温太陽爐

金 龍 洙*

1. 序 言

太陽熱發電은 稀薄한 太陽에너지를 集熱해서 蓄熱裝置에 貯藏한 後 터빈發電機에 供給하여 電氣에너지를 發生하는 시스템으로서 世界各國에서 太陽熱發電의 研究開發을 國家 프로젝트로 着手한 것은 1973年頃 이었다.

한편 太陽熱發電의 研究開發에 대한 背景을 보면 첫째로는 既存發電플랜트에 類似하여 既存技術을 最大限으로 活用할 수 있으며, 둘째로는 最近 材料의 技術의 進出과 플랜트制御技術의 進出에 의해서 太陽熱發電플랜트를 構成할 수 있고 또한 300~500℃의 熱에너지를 쉽게 集熱할 수 있다는 것이다.

日本에서는 82年 여름에 香川縣仁尾町에 出力 1MW의 타워集光方式과 曲面集光方式의 太陽熱發電파이롯플랜트로서 定格出力의 發電에 成功하여 現在 運轉研究가 進行되고있는데 目的을 보면 시스템과 各 構成機器의 性能確認, 시스템의 最適運轉法, 保全方法의 檢討와 耐久性의 檢討 및 將來 大形實用化플랜트에 必要한 데이터의 取得과 解析 등이라고 한다.

또한 世界各國에서 進行하고 있는 太陽熱

發電파이롯플랜트의 研究는 IEA의 0.5 MW 分散形플랜트를 除外하면 타워集光式을 使用하고 있으며 定格容量은 0.5 MW~10 MW정도로 넓은데 集光方式은 어느것이나 텔리오스렛(平面鏡)의 追跡精度를 向上하기 위하여 2軸制御를 行하고 있으며 또한 熱吸收器의 光束密度를 높이기 위한 設計도 되어 있다 熱媒體로는 熔融鹽(HITEC)과 金屬나트륨 등을 利用하는 플랜트도 있다.

本稿에서는 數秒以內에 2,000~3,500℃의 高温에 到達할 수 있으며 또한 加熱霧圍氣의 制御가 容易하고 電磁場등의 影響을 받지않는 太陽爐의 集光特性, 構造 및 太陽追跡系에 대하여 記述하고자 한다.

2. 太陽爐의 集光特性

太陽爐의 形式은 太陽輻射를 集中시키는 回轉拋物面鏡의 設置方式과 補助光學系의 使用與否도 令類할 수 있는데 그림 1은 光學系를 나타낸다.

* 正員會, 京畿工業開放大 機械科教授

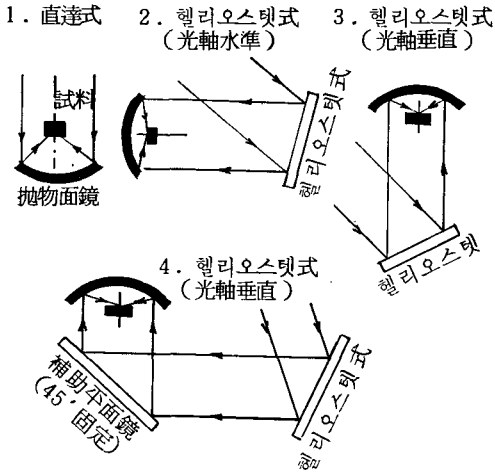


그림 1. 태양爐의 광學系

태양爐는 直射光을 利用하기 때문에 恒常軌道를 追跡할 必要가 있으며 口徑이 1~3 m 以內의 小形 太陽爐는 目的에 따라서 任意의 形式을 取할 수 있다. 또한 反射鏡自體도 1 枚의 거울로 構成되는 경우가 많으나 補助平面鏡은 分割해서 세그먼트의 組合形式을 取하고 있다.

그런데 1~3 m의 國徑을 갖는 小形爐는 1955 年以來 各國에서 研究目的으로 建設하여 約 160 基에 達했으며 國徑 10 m 以上의 太陽爐는 알제리에 直接式이 그리고 프랑스 Odeillo 의 몬두이에 光軸水平形이 65 年에 稼動되었다.

現在 使用되고 있는 것은 日本東北大學科學計劃研究所에 1 基, 뉴멕시코洲의 Las Cruces 의 美陸軍미사일試驗發射場에 1 基, 프랑스 Odeillo 의 프랑스陸軍用 太陽爐가 1 基 그리고 同一한 프랑스 CNRS 의 太陽에너지研究所의 1,000 KW爐 1 基 등을 들 수 있다.

그러나 國徑 10 m 以上의 大形爐에서는 拋物面反射鏡이나 補助平面鏡도 機械的 強度나 剛性 및 風壓등의 外亂에 對應하기 때문에 세그먼트의 組合方式을 取하고 있다. 한편 光學系의 反射回數가 增加함에 따라서 損失로 많

아지므로 直接式이 理想的이나 實際로 使用하는 경우 焦點이 反射鏡의 上部空間에 位置하므로 照射試料의 支持나 取扱이 不便하다고 한다.

한편 太陽爐에 의한 最高到達溫度는 入力에 너지에 따라서 直線의으로 比例하지 않으나 反射率 80%의 平面鏡과 拋物面鏡을 組合하면 反射率은 64%가 된다고 한다.

그림 2는 回轉拋物面反射鏡의 斷面圖로서 太陽放射는 嚴密히 平行은 아니고 約 32°의 立體用을 갖으므로 太陽爐의 光學系에 入射하는 太陽에너지의 取扱에는 注意를 要한다.

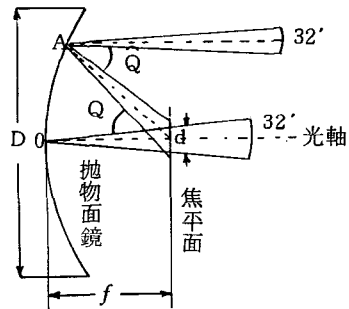


그림 2. 回轉拋物面反射鏡의 斷面圖

지금 理想的인 回轉拋物面의 焦點距離를 f , 太陽像의 直徑을 d 라고 하면

$$d = 2 \tan 16^\circ, \quad f = 0.0093 f$$

가 된다.

또한 太陽像의 面積은 光學系 焦點距離의 파라메터가 되는데 反射鏡國徑의 크기와는 一義的으로 決定되지않고 더욱이 反射鏡의 國徑을 크게하면 焦點距離도 이에 따라서 太陽像의 直徑도 增大된다. 그리고 反射鏡의 國徑을 D 라고 하면 D/f 는 口徑比 η 로 定義되며 反射光과 光軸의 角을 Q 라고 하면

$$\eta = D/f = \{ 4(1 - \cos Q) / (1 + \cos Q) \}^{1/2}$$

의 關係가 成立된다.

3. 太陽爐의 構造

光學系를 構成하는 要素는 回轉拋物面과 텔 리오스켓平面鏡으로 되어 있으며 表 1은 最近 活發히 進行되고 있는 太陽爐를 나타낸다.

表 1. 太陽爐의 諸元 (헬리오스켓光軸水水平形)

	名 工 試	東北大科計研	프 랑 스 Odillo	美 陸 軍 Las Cruces
反射鏡口徑 (m)	1.5	10.0	45.0	9.1×9.1
焦點距離 (m)	0.64	3.2	18.0	10.7
口徑比	2.3	3.1	2.2	1.0
太陽像의 直徑 (mm)	6.0	33.0	170.0	124.0
反射率 (%)	75	90	-	87
最大放射束密度 (cal/cm ² s)	500	-	-	100
備 考	3,500℃	< 3,400℃	< 3,200℃	球面鏡의 組合

그런데 口徑 2~3 m 以下의 小型 太陽爐인 경우 拋物面은 1 枚의 유리反射鏡으로 構成되어 있는 것이 많으며 10 m 以上의 口徑을 갖는 大形 太陽爐는 세그먼트로 分割해서 組立한 後 調整하는 方式을 取하고 있다.

한편 日本東北大學의 科學計劃研究所에서 保有하고 있는 10 m 級의 太陽爐를 보면 反射鏡의 幾何學의 精度는 매우 높으나 經濟的으로는 高價라는 것이 指適되고 있다. 以外의 大形爐는 東北大學과 같이 세그먼트가 回轉拋物面體의 一部를 形成하는 研磨手法을 取하지 않고 平面鏡을 使用한 近似曲面의 形狀을 取하고 있다.

예를들면 프랑스의 1,000 KW 爐는 500 × 500 × 5 mm의 유리板을 4 個의 코너로 支持해서 中央部의 4 點을 引張하도록 파라보라 曲面을 形成하고 있는데 平面強化유리 5 枚 × 10 枚가 1 組로 1 枚의 패널을 構成하고 있어 總 9,500 枚라고 한다.

그러나 美陸軍에서 所有하고 있는 太陽爐는 熱衝擊試驗이나 除去試驗등에 使用되도록 均一한 溫度場의 것을 目標로 하고 있으나 最高 到達溫度는 約 2,000 ℃로서 其他 爐에 比하면 매우 낮은 것이라고 한다.

한편 反射鏡의 反射膜은 알루미늄 또는 銀

을 裏面 또는 表面에 蒸着鍍金한 것이 많으며 이들의 理射率은 裏面銀鏡으로서 70~75%, 그리고 表面鏡 (알루미늄蒸着)은 80~85% 정도인데 이들의 數字는 세렌光電池와 日射計를 使用해서 測定한 값이다.

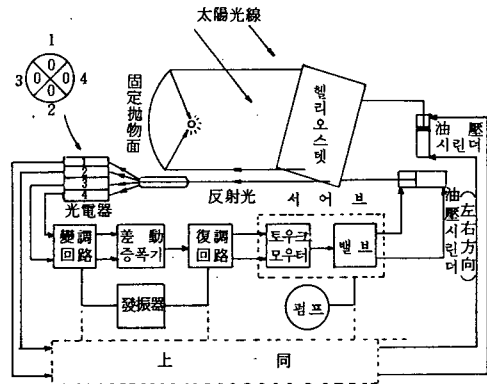


그림 3. 太陽爐의 自動追跡시스템

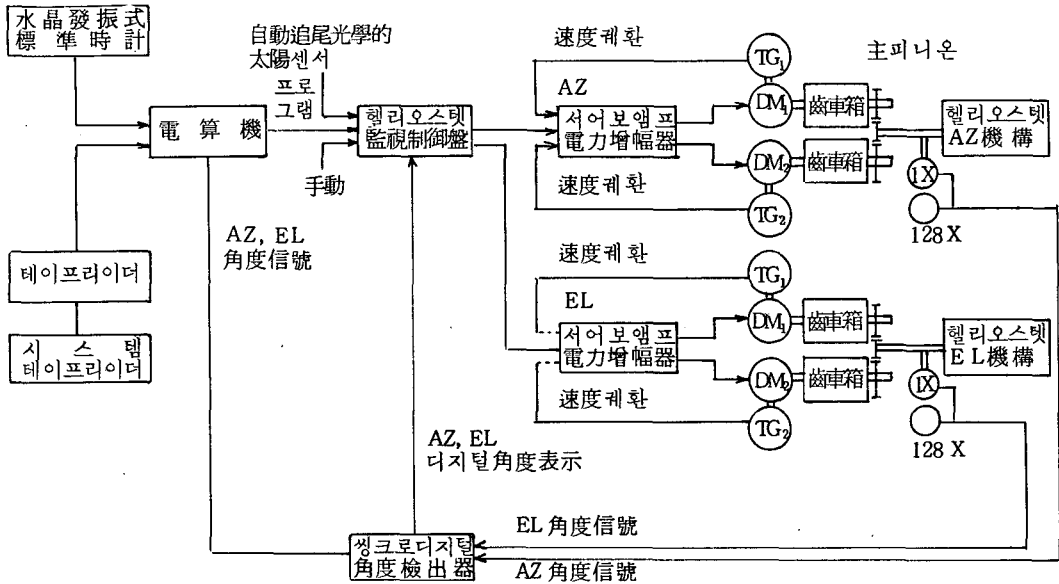
4. 太陽追跡系

直射光을 利用하는 경우 日周運動에 의한 太陽의 移動 즉 太陽高度의 變化에 의한 高度의 變化나 季節에 의한 軌道變化를 追跡해서 反射鏡에 의한 反射光을 太陽爐의 1 點에 指向시켜야 한다.

한편 日本名工試研究報告에 의하면 第 1 號 太陽爐는 直射形 補助平面鏡을 使用하지 않는 形式을 取하고 있으며 同期電動機의 回轉을 減速시켜서 時刻의 變化를 追跡하고 季節變化는 別度의 手動기어로 行하고 있다.

以上과 같은 形式의 太陽追跡은 거의 太陽爐에 使用되고 있으나 日本名工試驗研究所의 2 號爐를 보면 外亂에 의한 靜的 追跡誤差는 約 ± 0.5 以內, 追跡裝置의 最大應答速度는 10~20 / S 또한 過渡的인 誤差는 平均風速 5 m / S 정도로 最大 約 ± 1 그리고 過渡振動은 0.5~1 S 로 減衰되었다. 그러나 現在 建設中인 第 3 號爐는 電算機에 의한 프

로그래밍追尾와 光學的追跡 및 手動式을 組合 한 方式을 取하고 있다.



DM : 直流電動機,
 TG : 타코제네레이터, 1× : (軸速 1倍) 싱크로發信器, 128× : (128倍速) 싱크로發信器

그림 4. 헬리오스넛制御裝置의 블록圖

5. 太陽爐의 應用

小形 太陽爐를 利用하여 開發된 利用分野는 高温物性과 高温反應에 대한 研究가 中心이 되고 있으며 太陽爐는 研究室에 있어서 高温發生의 手段이 되고 있다.

最近 高融點金屬酸化物的 凝固點과 分光放射率의 測定은 프랑스의 Laboratories des Ultra-Refractaires 에서 10年間 行하였으며 Ln_2O_3 을 비롯해서 數十種의 氧化物에 이터가 發表되었다.

또한 IUPAC 高温委員會의 主權로서 1966年以來 2,000℃ 以上の 高温領域에 있어서 2次 高温設定에 대한 國際協同研究에도 參加하여 이미 Al_2O_3 , Y_2O_3 에 대한 作業도 完了하였다.

그런데 熱分解方法으로서 日本名工試驗研究

所에서는 $ZrO_2 - CaO$, $ZrO_2 - MgO$, $ZrO_2 - Y_2O_3$, $ZrO_2 - TiO_2$, $ZrO_2 - HfO_2$, $ZrO_2 - SrO_2$, $ZrO_2 - Sc_2O_3$, $Al_2O_3 - Y_2O_3$, $Al_2O_3 - GaO_3$, $Al_2O_3 - La_2O_3$ 및 $La_2 - Y_2O_3$ 系 등의 2成分系 高温相平衡狀態圖를 만들었다.

한편 프랑스에서도 $ZrO_2 - Sm_2O_3$, $ZrO_2 - La_2O_3$, $ZrO_2 - Gd_2O_3$, $ZrO_2 - Er_2O_3$, $ZrO_2 - Yb_2O_3$ 系나 $ThO_2 - Ln_2O_3$ 系 및 $Ga_2O_3 - Ln_2O_3$ 系에 대해서도 研究를 進行하고 있다.

그러나 高温反應分野에서는 이미 固相-液相, 固相反應에 의한 炭化物, 硼化物 등의 合成이나 複酸化物的 熔融合成이 多數 試圖되고 있으며 以外에 耐熱材料의 分解, 酸化, 窒化 및 蒸發 등의 問題를 프랑스와 日本名工試驗研究所가 프로젝트를 進行하고 있다.