

【解 說】

太 陽 輻 射 熱

金 孝 經

1. 緒 論

各地方의 外部熱環境은 太陽輻射와 氣象效果의 組合 影響에 따라서 이루어지고 있다. 地勢와 大洋의 海流와 같은 物理的 影響도 各地方의 氣候에 極히 重要하다.

太陽은 地球의 모든 에너지의 根源이며 各地方의 熱環境을 定하는 主要素이다. 地球와 太陽과의 關聯知識을 가지는것은 技術者로서는 重要한 일이다.

技術者는 太陽輻射強度를 推定할수 있고, 太陽輻射의 熱效果를 理解하고 또 太陽輻射를 調節할줄 알고, 利用할줄 알아야 하겠다.

2. 太陽系

太陽과 惑星 遊星은 太陽系를 構成하고 있다. 各惑星은 太陽의 周圍를 大體로 圓軌道를 가지고서 回轉하고 있다. 太陽으로부터의 距離는 水星, 金星, 地球, 火星, 木星, 土星, 天王星, 海王星, 冥王星의 順序로 멀게 되어 있다.

Table 1은 太陽과 各惑星의 物理的 特性을 表示하고 있다.

3. 太 陽

太陽은 宇宙의 많은 별들 中の 하나이며 地球에 對해

서는 가장 重要한 天體이고 至極히 높은 溫度이므로 全體가 가스狀態이다. 太陽의 圓輪廓의 直徑은 865,400 마일이며, 그 質量은 地球의 約 332,000배이다. 太陽黑點의 움직임의 觀察로서 太陽은 그 軸을 軸으로 해서 回轉하고 있는 것으로 알려졌다. 回轉周期는 그 赤道에서는 約 25地球日이다.

天體物理學에서는 一般의으로 太陽의 構造를 太陽內部, 光球, 太陽大氣의 三部分으로 區分하고 있다. 太陽內部는 太陽의 主質量이며 그 中心溫度는 數百萬度일 것이며 또 中心部의 가스壓力은 10億氣壓程度일 것이다. 여기서 太陽에너지 出力이 發生되고 있다. 太陽에너지 出力은 炭素와 窒素의 앞에서 水素가 헬륨으로 轉換하므로써 생기는 것으로 믿어지고 있다.

光球(photosphere)는 太陽의 밝은 境界를 形成하는 얇은 가스層이다. 이層에 있어서는 壓力과 密度가 아주 적다. 光球의 溫度는 約 10,000F 이다. 太陽의 熱輻射의 大部分이 光球로부터 發射되는 것이다.

光球로부터의 外部 即 太陽表面을 太陽大氣라고하며 이 部分은 太陽의 彩球(chromosphere)와 光環(corona)으로 構成되어 있으며 光球로부터의 輻射에 若干의 抵抗을 이루고 있다. 彩球는 太陽周圍의 赤色으로 밝은 環으로 되어있는 部分이며 全太陽融일때 보이는 것이다. 그리고 比較的 얇은 가스層을 이루고 있으며 그 壓力과

Table 1. 太陽系의 各物理的 特性

	太 陽	水 星	金 星	地 球	火 星	木 星	土 星	天 王 星	海 王 星	冥 王 星
恒星年(地球年)	...	0.241	0.616	1.00	1.88	11.86	29.46	84.02	164.8	247.7
太陽으로부터의 平均距離(100萬 mile)	...	36.0	67.2	93.0	141.7	484	887	1,785	2,797	3,675
軌道速度(mile/sec)	...	29.8	21.8	18.5	15.0	8.5	6.0	4.2	3.4	3.0
一日의 길이(地球日)	25	88	30	1.0	1.0	0.41	0.44	0.45	0.66	...
平均直徑(mile)	865,400	3,108	7,707	7,919	4,270	86,860	71,530	31,700	31,000	7,900
地球와의 質量化	332,000	0.04	0.82	1.00	0.11	318.3	95.3	14.7	17.3	1.0
密度(lb/ft ³)	88.0	237.1	303.3	344.4	246.1	83.0	44.3	78.6	99.8	...
地球와의 重力比	28.0	0.27	0.86	1.00	0.37	2.64	1.17	0.92	1.44	...
表面의 最高溫度(°F)	10,000	770	200	140	86	-216	-243	-300	-330	-348
大 氣	H ₂ He	無	CO ₂	空氣	H ₂ O	CH ₄ NH ₃	CH ₄ NH ₃	CH ₄ NH ₃	CH ₄ NH ₃	無
月의 數	...	無	無	1	2	12	9	5	2	無

密度는 極히 적은 것이다. 光環은 太陽의 外周末端이며 稀薄한 가스로서 構成되어 있고 彩球로부터 約 百萬마일 또는 그 以上 延長되어 있다.

4. 地 球

地球는 直徑이 約 7,900마일인 球이며, 24時間에 그 軸을 一回自轉하고 또 太陽의 周를 365 1/4日에 1回轉하고 있다. 地球의 平均密度의 물의 約 5.52倍이다.

地球의 内部構造는 地球物理學者에 依하여 地震波의 記錄으로서 廣範圍하게 調査되어 있다. 直徑이 約 1600 마일이되는 地球의 中心部를 central core 라고 하며 이 部分은 鋼보다도 硬固하다. 이 中心部로부터의 外部를 mantle 이라고하며 이部分이 地球質量의 約 70%를 차지한다. 地球의 外皮는 outer crust 라고하며 全質量의 1%를 차지하고 있다.

地球는 太陽의 周圍를 거이 圓運動에 가깝게 回轉하고 있으며 太陽의 位置는 이 圓軌道의 中心에서 若干 偏心되어 있다. 地球로부터 太陽까지의 平均距離는 約 92,900,000마일이며, 1月 1日頂에 地球는 太陽에 가장 가깝게되고, 7月 1日頂에 가장 멀어지고 그 差는 約 3.3 %로 된다. 大氣圈頂面에 投射되는 太陽輻射強度는 地球-太陽間의 距離의 自乘에 逆比例하므로 地球는 7月 보다 1월에 約 7% 더 많은 輻射를 받게 된다. 地球의 回轉軸은 太陽周圍의 軌道에 對해서 23.5도 傾斜 되어 있다. 이와같은 地球의 傾斜는 每日의 自轉과 年間의 公轉으로서 地球表面에 太陽輻射를 分配시키고 晝間 夜間의 時間을 變更시키고 또 季節의 變化를 이루고 있다.

Fig. 1은 年中 各季節에서의 地球의 傾斜軸의 效果를 나타낸 것이다.

Fig. 2는 冬至때의 太陽光線에 對한 地球의 位置를 表示한 것이다. 冬至때에 北極은 太陽이 비치는 側보다 23.5도 더 먼쪽으로 傾斜되어 있다. 北緯 66.5도 以北의 地球表面은 全體가 夜間이며 南極의 23.5도 以內는

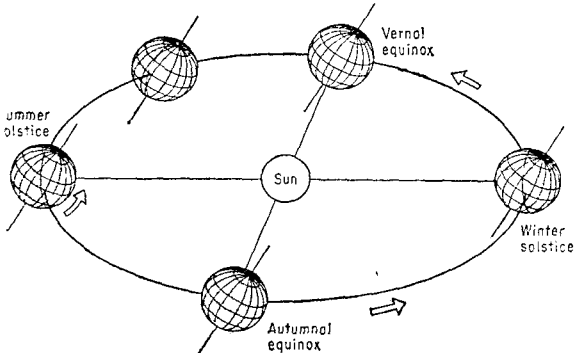


Fig. 1. 地球의 公轉

全體가 晝間이 된다. 夏至때는 이 關係가 反對로 된다. 春分과 秋分때는 兩極이 太陽으로부터 等距離에 있게되고 晝夜間의 長이가 같게 된다.

地球의 自轉軸이 傾斜되어 있으므로서 地球表面은 5 個의 地帶로 分類되고 있다. 熱帶는 적어도 一年에 한번 太陽이 頂點(垂直上部)에 到達하는 모든 地帶를 말하며 赤道를 中心으로 兩方 23.5도의 範圍를 말한다. 溫帶는 太陽이 地平線上에 나타내고 頂點에는 이르지않는 地帶를 말한다. 寒帶는 적어도 一年에 한번 太陽이 終日 地平線下에 있는 일이 있는 地帶를 말하며 兩極으로부터 23.5도의 範圍에 있는 것이다.

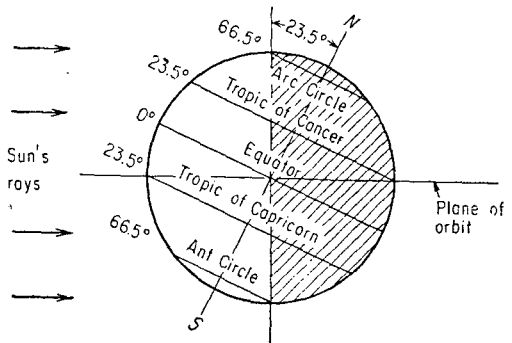


Fig. 2. 冬至때의 太陽光線에 對한 地球의 位置

5. 大氣圈外境界面에서의 太陽輻射強度

地球가 太陽으로부터 平均距離點에 있을때 大氣圈의 外境界面에 있어서 太陽光線에 垂直되는 面에 對한 太陽輻射強度를 太陽常數(Solar constant)라고 한다. 太陽常數는 Johnson 氏에 依해서 444.7Btu/(hr)(sq. ft)로

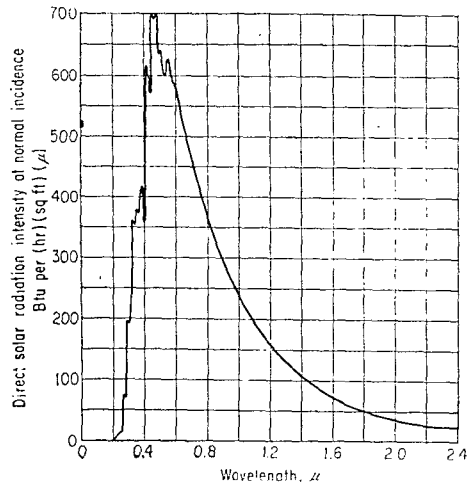


Fig. 3. 大氣圈外境界面에서의 太陽光線에 垂直되는 面에 對한 太陽輻射의 分光分布(平均太陽距離로 修正되었음)

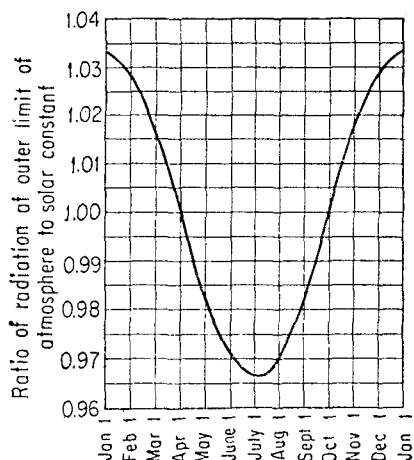


Fig. 4. 大氣圈外境界面에 있어서의 太陽常數에 對한 太陽輻射強度의 比率

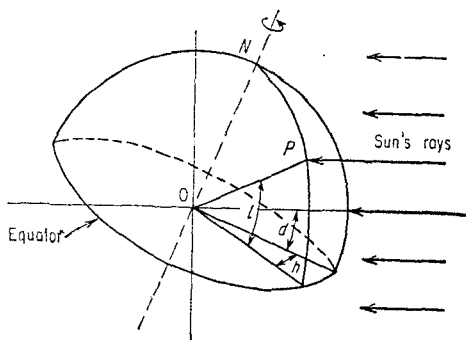


Fig. 5. 緯度 (latitude)
時角 (hour angle)
太陽의 赤緯 (declination)

定하여 있으며, 이것은 約 $\pm 2.0\%$ 의 誤差가 있는 것으로 되어 있다.

Fig. 3은 大氣圈外境界面에 있어서의 太陽輻射強度의 分光 分布를 表示한 것이다.

紫外線輻射는 波長範圍 0.2~0.4micron의 것을 包含하고 있다. 可視輻射는 0.4~0.7micron의 範圍內에 있으며, 赤外線輻射는 이것보다 높은 波長에서 이루어진다. 最大強度는 可視範圍內에서 生진다. 그림의 曲線下部의 面積은 太陽常數이다.

大氣圈外境界에서의 太陽光線에 垂直되는 太陽輻射強度 $I_{N.O}$ 는 太陽과 地球間의 距離에 따라서 다르다. Fig. 4는 Smithsonian physical Table에 있는 資料로부터 計算된 것이며 $I_{N.O}$ 를 求하기 爲해서 太陽常數에 곱할 係數를 表示한 것이다.

大氣圈外境界面에 있어서의 水平面에 對한 1日間의 太陽輻射量 $Q_{H.O}$ Btu/(sq. ft) (day)는 다음과 같은 式으로 表示된다.

$$dQ_{H,O} = I_{N,O} dt = \frac{I_{N,O} (\cos l \cosh \cos d + \sin l \sin d) dh}{\omega}$$

dh : dt hr 間의 hour angle의 變化, radian

ω : 地球의 角速度, $\pi/12$ radian/hr

1日間의 $I_{N,O}$, d , l 는 一定하다고 볼 수 있고, 또 hour angle은 太陽正午에 對해서 對稱이므로

$$Q_{H,O} = \frac{24}{\pi} I_{N,O} \left[\cos l \cdot \cos d \int_0^H \cosh dh + \sin l \cdot \sin d \int_0^H \sinh dh \right]$$

여기서 H 는 日出과 日沒의 hour angle이며 이를 積分해서

$$Q_{H,O} = \frac{24}{\pi} I_{N,O} \sin l \cdot \sin d (H - \tan H)$$

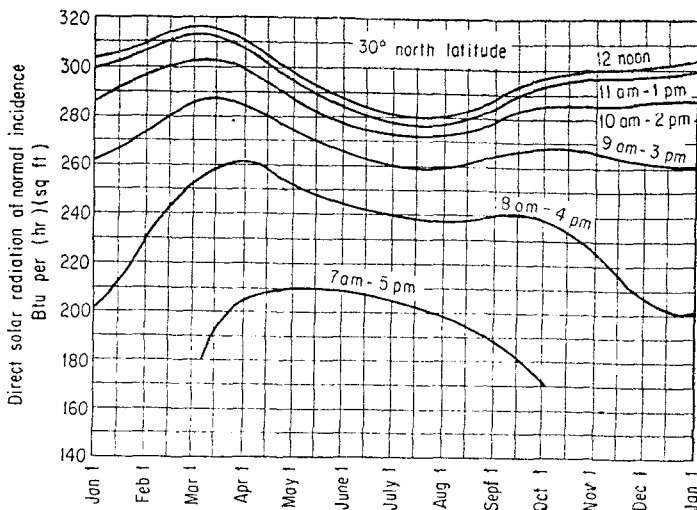


Fig. 6. 北緯 30°에서 太陽光線에 垂直되는 面의 太陽輻射強度 (晴天)

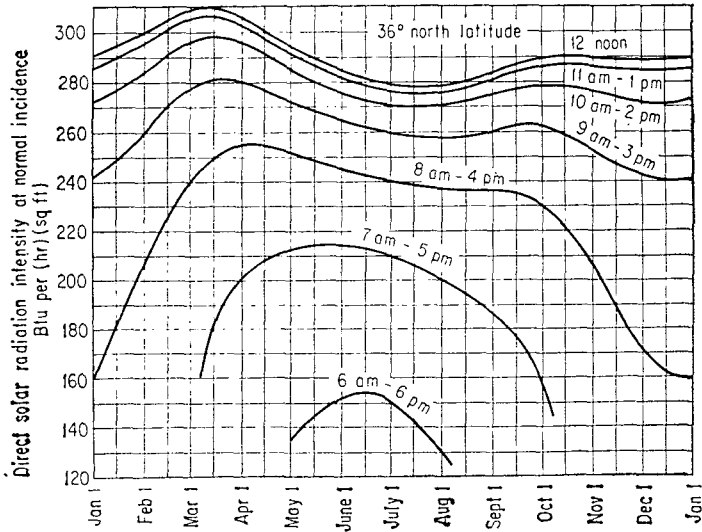


Fig. 7. 北緯 36°에서 태양光線에 垂直되는 面의 太陽輻射強度 (晴天)

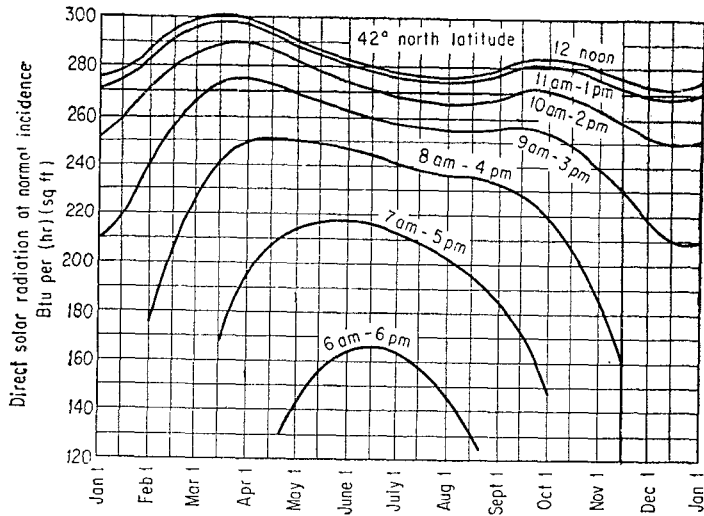


Fig. 8. 北緯 42°에서 태양光線에 垂直되는 面의 太陽輻射強度 (晴天)

Fig. 6, 7, 8은 各各 北緯 30°, 36°, 42°에서의 太陽輻射強度(ASHAE Trans Vol. 64)이며, Fig. 9는 擴散 天空輻射強度를 表示하는 것이다.

6. 集熱器

太陽熱에너지의 利用에 있어서는 그것을 集中시키고 또 蓄積시키는 두가지를 併用하여야 한다. 集中시키는 方法으로서는 凹面鏡과 렌즈에 依하는것과, 熱箱(Hot Box)의 原理에 따르는것이 알려져 있다. 前者는 所定의 位置(焦點)에 太陽光線을 集中시키기 위해서 움직이는 太陽을 追跡하여 方向을 바꾸는 裝置가 必要하며 設備

投資가 크게 된다. 그래서 太陽鏡의 原理에 따르는 集熱은 主로 에너지의 單位를 問題로 하지않는 太陽爐等에 利用되게 된다.

熱箱原理에 따르는것은 그 集中度는 알으나 季節·時刻·氣候의 如何를 莫論하고 太陽光線이 어느程度 以上 存在하는限 그 機能이 全然 喪失되는 일은 없다. 그리고 比較的 적은 費用으로서 建設할 수 있는 利點이 있다. 特히 暖房과 같이 高溫도가 아니라도 利用할 수 있는 目的에는 크게 注目되어 있다.

熱箱의 原理를 應用한 代表的인 平面板集熱器는 1枚 乃至 3枚의 유리(或은 他透明體)로서 뚜껑을 한 熱

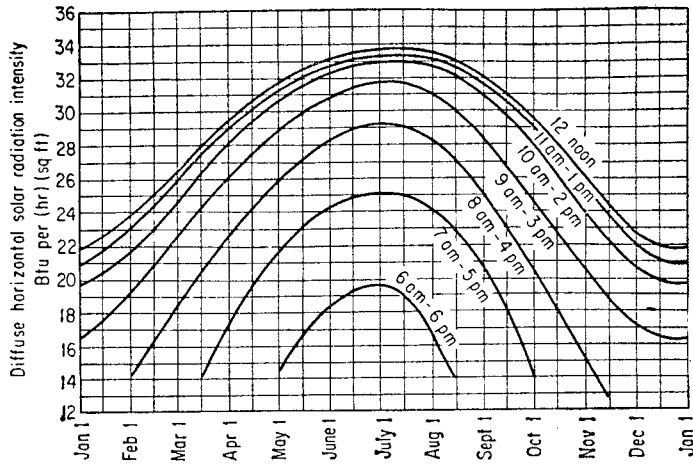


Fig. 9. 水平面에의 擴散天空輻射強度

箱內에 黑色 金屬製의 集熱板를 넣어 熱箱內에 空氣 또는 水管內를 물이 通하게해서 熱交換시키는 構造이다.

集熱器內의 溫度를 T_p , 集熱器의 熱容量을 M , 單位時間에 入射하는 太陽輻射에너지를 E , 熱交換으로서 單位時間에 排出되는 熱에너지를 Q_u , 集熱器가 傳導, 對流, 輻射로서 單位時間에 損失되는 熱量을 Q_L 이라고 하면, 熱均衡式이 다음과 같이 된다.

$$M \frac{dT_p}{dt} = E - Q_u - Q_L$$

受光面積을 A , 水平面全天空輻射強度를 H , 日光에너지의 유리透過率 τ , 集熱板의 吸收率을 α 라고 하면

$$E = RAH \cdot \tau \cdot \alpha$$

R 는 集熱板의 傾斜 幾何學의 形狀等으로 定하여지는 比例定數이다.

Q_L 는 集熱器의 溫度 T_p , 外氣의 溫度 T_o 와의 差에 依하여 比例한다.

$$Q_L = U(T_p - T_o)$$

U 는 集熱器의 構造(크기, 形狀, 材料)로서 定하여지는 比例定數이다.

$$(7) Q_u = 0$$

이것은 出入口가 막힌 普通의 熱箱의 境遇이다. 아침에 물을 넣고 午後에 뜨거워진 물을 使用하는 Batch 型의 溫水器의 例이다. 이때는

$$M \frac{dT_p}{dt} = E - U(T_p - T_o)$$

로 되므로, 萬若에 E 의 時間的變化가 없다고 본다면 最初($t=0$)의 集熱器의 溫度를 T_o 라 하고 溫度의 時間的變化는

$$T_p = T_o + \frac{E}{U}(1 - e^{-u t / M})$$

溫度上昇率은

$$\frac{dT_p}{dt} = \frac{E}{M} e^{-u t / M}$$

最初 t 가 적을때는 거의 $\frac{E}{M}$ 의 一定速度로서 溫度가 上昇하나 時間에 따라서 그 速度가 低下함을 알수 있다.

實際로는 E 가 時間에 따라서 變하므로 더 複雑한 關係이다. 例로서 Batch 型의 溫水器를 저녁때의 弱한 日光에 오랫동안 露出시켜 두는것은 無意味라는 實際的 結論을 쉽게 알수 있다.

$$(L) dT/dt = 0$$

이것은 正常狀態이며, 熱의 出入이 均衡되어있어, 溫度가 一定하게 되어있는 狀態를 表示하고 있다. 이때

$$Q_u = E - Q_L$$

Q_L 은 外氣와의 溫度差에 比例해서 增加하므로 集熱器의 效率 Q_u/E 는 集熱器의 溫度 T_p 가 上昇함에 따라서 減少된다. 集熱器의 溫度가 外氣溫度에 近接하면 效率는 100%에 가까워지고

$$T_p = T_o + E/U$$

인 溫度에서 效率는 0이 된다.

反對로 集熱器의 溫度를 一定하게 維持하고 水平面의 天空輻射強度 H 를 減少시키면 E 가 減少하므로 역시 效率가 떨어지게 된다. 그리하여

$$H_c = \frac{U(T_p - T_o)}{RA\tau\alpha}$$

인 天空輻射強度에서 效率가 0으로 된다. H_c 를 臨界輻射強度라고 한다. Telkes 氏에 依하면 表面이 二重유리로 된 集熱器의 臨界輻射強度와 溫度의 關係는 21°C 일때 1m² 당 21와트, 32°C 일때 35와트, 54°C 일때 66와트, 71°C 일때 93와트이다.

天空輻射強度가 臨界輻射強度 以下로 되면, 集熱器는 오히려 放熱器로서 作用하게 된다. 太陽熱利用暖房에 使用되는 集熱器를 夏節의 夜間에 放熱器로서 利用하므로써 冷房에 도움이 되게끔 하는 것은 이러한 原理에 따르는 것이다.

7. 貯熱方法

夜間, 雨天, 曇天을 對備하기 爲해서 太陽熱을 貯藏하는 일은 集熱하는 것보다 더욱 複雜한 일이다. 小住宅을 暖房하는데 所要되는 熱量이 1日 8萬 Kcal 程度라고 하면 暖房을 主로 太陽熱에너지에 依存하게 되던 적어도 1日分으로서 10萬 Kcal, 曇天 雨天이 10日間 繼續될때를 考慮하면 100萬 KCal의 熱을 蓄積하여야 한다. 이것을 物質中에 蓄積하게 되면 그 體積이 크게되고, 또 물 岩石과 같이 安價인것이 아니면 實用성이 적어진다.

물 1m³의 熱容量이 1000Kcal/C°, 岩石 1m³의 熱容量이 約 500Kcal/C°이므로 이 蓄熱材의 溫度가 氣溫보다 15°C 높은 溫度라고 하면 100萬 Kcal의 熱量을 蓄熱하는데 물이면 67m³ 岩石이면 130m³인 큰 量이 된다.

이러한 難點을 解決하는 方案으로서 物質의 融解熱, 轉移熱을 使用하는 方法이 開發되어 왔다. 例로서 硫酸 나트륨+水鹽(芒硝)은 32.2°C를 넘으면 液狀이 되는데 이때 1kg當 58Kcal의 熱을 轉位の 潛熱로서 吸收한다. 이것을 使用할때는 물의 約 1/6의 體積으로서 같은 熱量을 蓄熱할 수 있는 計算이 된다.

이 方法에 있어서도 使用材料의 融解, 轉移의 溫度가 適當(30~50°C)하여야 하며, 또 그것이 安價로 入手되어야 한다는 條件이 必要하므로 使用할 수 있는 物質이 極히 限定되게 된다. 要컨데 蓄熱問題는 尙今 未解決分野라고 할 수 있다.

化學變化를 이루는 過程에서 出入하는 熱量은 融解와 轉位와같은 相變化에 隨伴하는 潛熱보다도 훨씬 큰 값이므로 熱을 化學變化의 에너지로서 貯藏할 수 있는 좋은 方法 또는 物質이 開發되면 蓄熱問題의 解決은 이루어질 것이다.

8. 太陽熱에 依한 暖冷房

太陽熱만으로 暖房을 하는 住宅 所謂 太陽의 집 (Solar house)이 세워지고 있다. 이러한 實驗住宅의 經驗으로서 太陽熱만으로 實施하는 暖房은 地方에 따라서 差異는 있지만 大體로 그 費用面에 있어서 燃料에 依하는 方法에 比하여 어렵다는 定評을 받고 있었다.

그러나 太陽熱을 補助로 使用하여 暖房費의 節約을 期하는 方法은 現實의이고 또 採算을 맞출수 있는 有望

한 것으로 取扱되고 있다. 이러한 併用的方法中에서 그 應用度가 많은것은 電力을 使用해서 熱펌프(Heat pump)를 運轉하여 冬節에 太陽熱로서 더워진 比較的 낮은 溫度의 물(10~20°C)을 熱펌프로써 35~40°C로 昇溫시켜 이것을 各室內의 配管으로서 輻射暖房을 하는 方式이다. 이러한 方式으로 暖房을 하면 直接 電力으로서 暖房할 때의 半以下の 電力料로서 暖房을 할수 있다는 結果를 얻고 있다.

太陽熱에너지에 依하는 冷房은 또 興味있는 問題이나 太陽熱만으로 施行하는 冷房은 熱帶地方 特히 他에너지源이 없는 砂漠, 孤島의 開發에 있어서 期待되는 일이다. 그 方法으로서는 太陽熱機關을 運轉하여 이것으로서 冷凍機를 稼動하는가, 또는 太陽電池로서 發電하여 그 電力으로서 冷凍機를 稼動하는것이 考慮될 수 있으나 그 具體化에는 經濟性等 여러가지 問題點이 殘存하고 있다.

現在 實用化되고있는 太陽熱冷房이라고 하면 이것은 太陽熱을 에너지源으로서 使用하는것이 아니고, 夏節에 있어서 夜間에 集熱器를 放熱器로서 利用하여 冷却된 물을 低熱源으로 하여 熱펌프 方式으로서 冷房을 하는 것이다. 이 方式은 冬節에 그대로 逆轉시켜서 暖房을 하는데 便利한 것이다. 熱펌프方式의 또 하나의 利點은 給湯도 同時에 할수 있다는 點이다. 給湯만을 目的으로 한 溫水器는 開放型의 簡單한것부터 多數의 管內를 물이 循環해서 흐르는 사이에 太陽熱로서 더워지고, 또 더워진 물이 保溫된 貯藏탱크에 貯藏되는式等 여러가지가 考案 實用化 되고있다.

太陽熱로서 蒸溜水를 만드는 方法은 美國, 蘇聯等 큰 砂漠地帶를 가지고 있는 나라에서는 많이 研究 利用되고 있다.

9. 展 望

太陽熱에너지의 利用 普及과 利用形態를 規定하는 것은 그 費用이 첫째는 問題視되는 것이다. 太陽光線은 無償으로 얻어지나 그 費用은 即 設備에 對한 投資와 運轉費이다.

勿論 그 費用은 他에너지의 費用과 相對的이며 오늘날과같이 化石燃料가 貴하게 될수록 太陽에너지의 相對的 費用이 低下되고, 그 利用開發이 크게 期待되어지고 있다.

技術과 材料의 進歩開發이 太陽에너지의 利用에 密接한 關連이 있음은 勿論이거니와 高分子材料의 出現後 太陽熱에너지利用의 樣相이 變化되고 있다. 비닐農業이 그 하나의 例이고, 特殊코팅을 한 金屬板이 集熱板으로서의 偉力を 發揮하고 있다.

高効率의 太陽電池의 出現은 太陽熱에너지利用의 重大關心事로 되고 있다. 半導體太陽電池의 發明以後 先進國에서는 이의 實用化 利用의 經濟化에 多角度로 研究開發에 盡力하고 있다는 것이다.