

# 顯熱蓄熱材를 사용한 熱에너지 貯藏\*

任 將 淳\*\*

On the Sensible Heat Storage Materials

Chang Soon Yim

## 1. 서 론

熱을 저장하는 蓄熱技術은 熱의 供給과 需要 사이에 불가피하게 발생하며 時間的 및 量的인 것을 調節하여 Energy의 效果的인 管理를 하기 위한 것이다.

이와같이 蓄熱에 의한 熱의 有効한 利用은 各種産業體에서의 熱管理뿐만 아니라 주택의 空間調整, 심야전력사용등 가정내에서도 널리 使用되고 있다.

최근 세계적인 Energy 부족을 배경으로 하여 간헐적이며 불안정한 熱源인 太陽 Energy等 대체 Energy의 有効利用이나 各種 産業體에서의 Energy節約, 그리고 排熱利用의 必要에 의해 蓄熱技術의 重要性은 현저하게 增大하고 있다.

이와같이 産業 및 一般生活에 利用하기 위하여 蓄熱器를 設置할 때에는 그 熱 Energy의 使用狀況에 따라 저장할 熱 Energy의 量, 溫度Level,

熱의 出入速度 등이 決定된다.

또한 熱을 저장하는 期間에 대하여도 太陽 Energy와 같이 日射量이 시시각각으로 변동하거나 또는 各種熱利用機器에서는 짧은 시간내에 負荷變動에 따라야 되기 때문에 그 저장期間은 짧게는 數分程度에서부터 길게는 여름철의 溫熱을 겨울철에, 또는 겨울철의 冷熱을 여름철에 이용하도록 하는 계절간 단위에 이르기까지 그 범위는 매우 넓다.

蓄熱器를 設置하는 데는 이와같은 광범위한 요구사항에 맞추어 蓄熱方式이나 材料를 선정하고 蓄熱器의 크기나 구조를 결정할 필요가 있다. 한편 현재 우리나라, 日本에서 사용되고 있는 축열기의 대부분은 斷熱容器속에 溫水나 高溫의 岩石을 充填시킨 顯熱利用式 蓄熱器가 主種을 이루고 있어 이들에 대한 問題들을 알아보기로 한다.

\* 本 解説은 日本 Energy .資源(1983), Vol.4, No.4의 內容을 轉載한 것임

\*\* 正會員, 仁荷大工大

2. 顯熱利用式 蓄熱器의 一般特性

다른 差를 利用하는 것으로 一般的으로 많이 사 용되는 顯熱利用蓄熱材料를 表 1에 表示하기로 한다. [1]

顯熱利用式 蓄熱器란 物質의 熱容量의 溫度에

表 1. 各種 顯熱利用 蓄熱材의 熱的 物性值 [1]

熱 媒 體 單 位	比 熱	比 重 量	體 積 比 熱	熱 傳 導 率	溫 度 傳 導 率( $\times 10^6$ )
	Kcal/kg °C	kg / m <sup>3</sup>	Kcal / m <sup>3</sup> °C	Kcal / mh °C	m <sup>2</sup> / h
물	1.0	1000	1000	0.5	50
부 액	0.86	1068	910	0.42	46
자 갈	0.22	1850	407	0.29 ~ 0.32	75
모 래	0.22	1500	330	0.26 ~ 0.28	82
흙 ( 건 조 )	0.22	1300	286	0.45	157
흙 ( 습 한 )	0.26	1400	364	1.1	302
콘 크 리 트	0.21	2400	504	1.4	278
콘 크 리 트 부 력	0.21	1620	340	—	—
벽 돌	0.22	1850	407	0.35	86
목 재	0.3	550	165	0.31	188
강 ( 鋼 )	0.115	7800	897	53	50908
알 루 미 늬	0.211	2700	570	175	30700
구 리	0.092	8840	813	330	40590

蓄熱物質로서 갖추어야 될 特性을 열거하면 아 래 項들을 들 수 있다.

- ① 單位體積當의 蓄熱量이 클 것
- ② 熱傳導度가 높을 것
- ③ 熱의 出入이 可逆的으로 일어나며 쉽게 劣 化되지 않을 것

- ④ 化學的 機械的 安定性이 높을 것
  - ⑤ 可燃性, 부식성 및 독성이 없고 安全할 것
  - ⑥ 취급이 용이하고 간단히 구입할 수 있을 것
- 一般的인 顯熱利用 蓄熱材는 維持熱量이 충분 하지 못하다는 것과, 非金屬系 蓄熱材에서는 熱 傳導度가 낮은 것을 제외하면 위의 各項을 거의 만족한다.

이들 蓄熱材의 體積比熱과 價格관계를 그림 1에 表示하였다. [3]

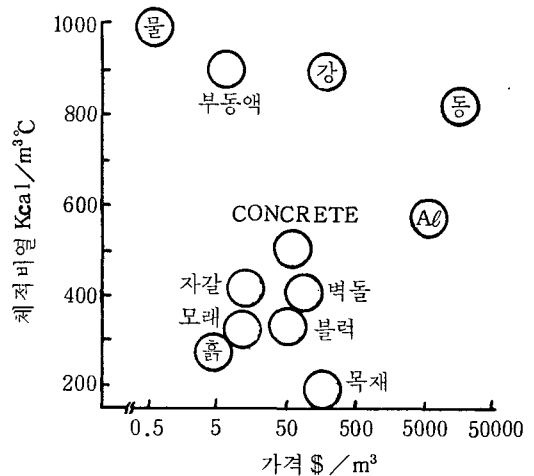


그림 1. 顯熱利用蓄熱材의 蓄熱密度와 價格

그림의 왼쪽위에 있는 것일수록 蓄熱材로서는 能力이 높은 것이되며 따라서 물이 대단히 우수 한 蓄熱물질인 것을 알 수 있다.

顯熱利用 蓄熱器는 비교적 構造가 간단하여 가  
격이 싸며 動作도 確實하지만 蓄熱容器 內외의  
溫度差가 커서 熱의 損失이 문제가 된다.

工業的으로 蓄熱器에 完全한 斷熱을 施工하는  
것은 불가능하기 때문에 長期間의 蓄熱에는 만  
족스럽지 못한 方法이라고 말할 수 있으며 또한  
이러한 種類의 蓄熱器의 특징으로서 熱을 빼  
내어 사용함에 따른 出力溫度가 低下하기 때문  
에 一定溫度에서 사용이 곤란한 점이 뒤따른다.

### 3. 顯熱蓄熱方法

顯熱을 利用한 蓄熱은 液體顯熱, 固體顯熱 및  
그 複合型으로 나뉘어진다.

#### 3-1 液體顯熱利用型

液體材料로는 물, 熱煤油, 熔融鹽, 液體金屬 等  
이 사용되며 이 方式의 最大 利點은 蓄熱材 自  
體를 pump로 수송하는 것으로 蓄熱材와 熱媒  
體 사이의 熱交換을 시키지 않아도 된다는 點이  
다.

##### 3.1.1 蓄熱水槽

顯熱利用蓄熱器의 大部分은 蓄熱水槽로서 난  
방, 냉방, 給湯用的 蓄熱器로 널리 사용되고 있다.

蓄熱水槽는 그림 2와 같이 혼합형과 成層型으  
로 나눌 수 있으며 成層型蓄熱槽에서는 溫水를  
윗쪽으로 공급하고 또한 윗쪽에서 사용한다. 이  
때 蓄熱槽內의 溫度分布는 그림 3과 같이 되어  
出口溫度가 거의 低下되지 않고 저장시킨 열을  
有效하게 利用할 수 있다.

冷暖房用 蓄熱水槽의 例를 그림 4에 表示하  
였다.

蓄熱水槽는 豎방향으로 길며 여러개를 파이프  
로 연결한 구조로 되어 있다. 이와같이 함으로  
서 蓄熱水의 流動은 押出流에 가깝게 되고 溫度  
potential의 損失이 적어진다.

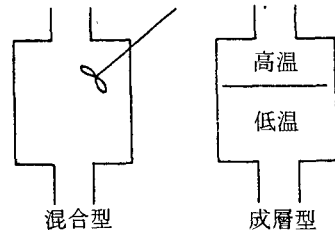


그림 2. 蓄熱水槽의 種類 [3]

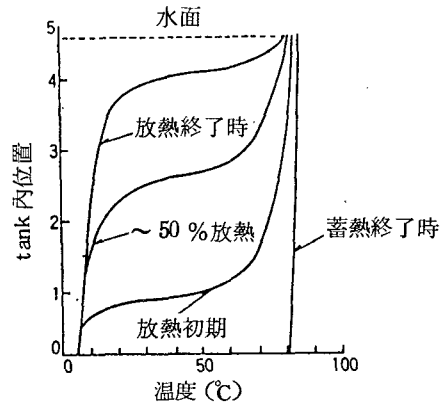
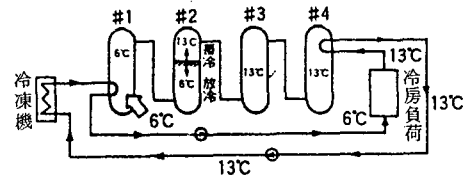
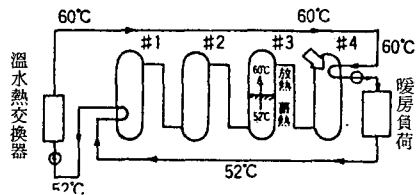


그림 3. 溫度成層型 溫水槽內의 溫度分布 [4]



(L) 蓄冷 및 冷房의 경우



(R) 蓄熱 및 暖房의 경우

⇒ 는 quick pass 를 表示

그림 4. 冷房用 蓄熱水槽의 例 [2]

蓄冷時에는 tank # 4 를 나온 물을 冷却하여 tank #1로 공급한다.

따라서 冷房時에는 tank #1에서 冷水를 取出하여 使用하고 tank #4로 되돌려 보낸다. 또한 蓄熱時 및 暖房時에는 물의 흐름을 逆轉시켜 使用한다.

### 3.1.2 solar pond

solar pond란 太陽光이 직접 入射하는 얇은 人工的 혹은 天然의 연못으로 熱을 收集함과 同時에 계절간에 걸쳐 長期蓄熱을 하는 것으로 그 대표적인 solar pond의 예를 그림 5에 나타냈다.

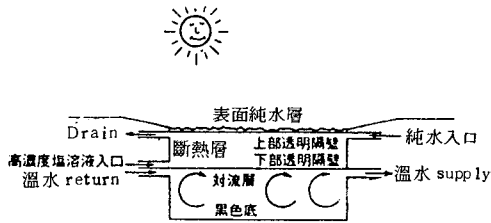


그림 5. Solar pond의 모형

流動하지 않고 정지하고 있는 물의 熱傳導度는 매우 작으므로 물은 赤外線光에 대하여 불투명하다. 이 때문에 윗쪽에서는 맑고 아래쪽에서는 짙은 濃度勾配를 갖는 鹽水溶液으로 된 透光 斷熱層을, 透明隔壁을 사이에 두고 蓄熱層 (對流層)의 위에 설치하며 斷熱層에는 鹽濃度勾配 維持關係로 高濃度容液과 純水를 공급할 필요가 있으며 蓄熱層의 밑부분은 검정색으로 하여 入射光을 吸收시켜 對流流動을 助長시킨다.

Solar Pond의 溫度分布와 鹽濃度分布를 그림 6에 表示하였다.

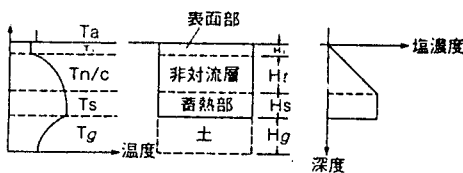


그림 6. solar pond의 溫度分布와 鹽濃度分布 [5]

또한 實驗段階에 있던 하지만 鹽濃度勾配에 의해 對流를 일으키는 대신 gel 化劑를 사용하여 非對流層을 構成하는 것이 시도되고 있으나 耐候性과 徑費가 問題視되고 있다.

Solar Pond 設置에는 地域에 따라 차이는 있으나 低面積  $m^2$ 당 약 \$40 정도가 計算되며 石油換算 償却年數가 약 20年 이상으로 된다.

### 3.1.3

아주 특수한 예이긴 하지만 高壓, 高溫水를 壓力容器에 저장하는 accumulator가 있다.[2]

이 장치는 蒸氣發生을 目的으로 한 것으로서 斷熱시킨 耐壓容器에 高溫의 水蒸氣를 吸込하여 200℃, 20氣壓程度의 高溫, 高壓水의 형태로 蓄熱을 하는 것으로 數百 $m^3$ 의 용량을 갖는 것까지 제작되고 있다.

기타 뒤에 기술되었으나 그림 8(b)에 표시된 바와 같은 passive solar house의 solar wall로서 벽속에 물을 충전시켜 蓄熱量을 增大시키는 것이 研究되고 있다.

## 3-2 團體顯熱利用型

固體材料로 金屬等을 使用하는 제안도 있으나 일반적으로 자갈이나 벽돌등의 無機材料가 사용된다. 이들은 비교적 가격이 싼 편이지만 蓄熱密度가 낮기 때문에 장치가 커지는 단점이 있다. 반면에 水蓄熱에 比하여 高溫에서의 蓄熱도가능하다는 有利한 점도 있다.

### 3.2.1 回轉再生熱交換器 [6]

이것은 燃燒 gas로부터 熱을 回收하여 空氣를 豫熱하는 경우 등에 使用된다. 이 장치를 그림 7에 表示하였으며 여기서 熱回收部에서부터 空氣 豫熱部까지 Rotor가 回轉하는 사이 熱을 저장하기 때문에 蓄熱器로 볼 수 있다.

製鐵用 cupula에서는 直徑 10m, 높이 50m에 이르는 耐火벽돌로 충전된 數層層에 1,200℃근방까지 蓄熱을 행하여 分當 1,000℃를 넘는

熱風을 數 ton씩 얻고 있다.

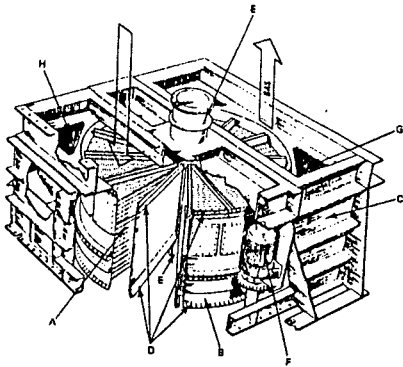
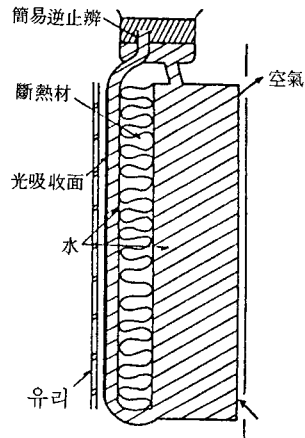


그림 7. 回轉再生熱交換器 [6]



(L) 물 tank 벽

그림 8. passive solar house [4]

### 3.2.2 solar house [7]

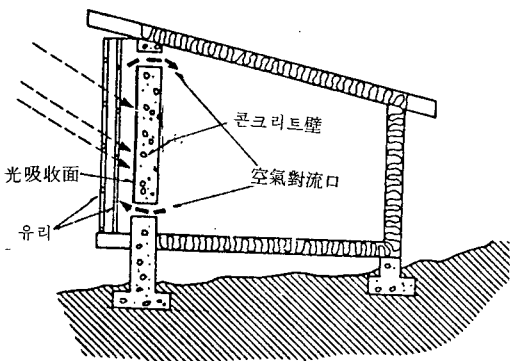
動力을 使用하지 않고 太陽 Energy로서 夜間暖房을 하는 passive solar house에 있어서는 그림 8에 表示한 바와 같이 concrete 벽 혹은 물 tank가 붙은 벽이 사용되며 주간에 太陽熱을 받아 蓄熱함과 同時에 對流로 室內을 暖房하며 야간에는 壁에서부터 輻射에 의해 暖房을 행한다. 물이 적은 건조지에서나 동파의 우려가 많은 寒冷地에서는 물을 使用하는 太陽熱集熱器 대신 空氣式 集熱器가 사용되고 있다. 이와 같은 集熱器와 組合하여 자갈 充填層을 사용한 蓄熱器가 空氣를 熱媒로 使用된다.

### 3.2.3 土壤蓄熱 [8]

季節間的 蓄熱에 利用되는 方式으로 土壤蓄熱이 있다.

土壤蓄熱의 規模로는 가정용규모로부터 地域全體에 이르기까지 여러가지 設計가 행해지고 있다.

그림 9는 가정용의 대표적인 system으로 地下 4 m에 매설한 表面積 300 m<sup>2</sup>程度의 圓筒型의 radiator로서 여름에 太陽熱을 저장하고 겨울에 使用하도록 한 것으로 實驗 data에 의하면 최초 蓄熱된 열량의 45%정도가 地表面을 통하여 대기중으로, 31%정도가 地中으로 그리고 나머지 24%정도가 回收되는 熱量이라고 말한다.



(가) 콘크리트 벽

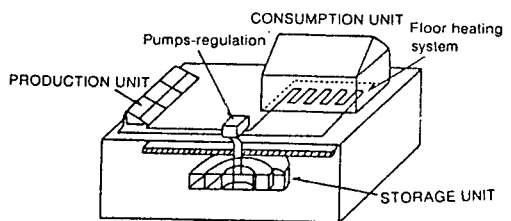


그림 9. 土壤蓄熱 system의 모형 [8]

### 3-3 固液複合型

固體顯熱利用型에서는 熱媒로서 주로 氣體를 使用하는 것에 대하여 熱容量이 큰 液體를 熱媒

體로 사용하고 이 液體와 固體 양쪽에 熱을 저장 하도록 한 方式이 固液複合型이다. 여기에 사용되는 물질은 앞에서 記述한 것들을 組合한 것이다.

固體로 天然자갈과 모래를 2對1로, 液體로 合成熱煤油를 사용한 system의 한 例를 그림 10에 표시하였다. 이것은 太陽熱發電用으로 設計된 것으로 蓄熱量 180 MWh를 갖는 大型 system이다.

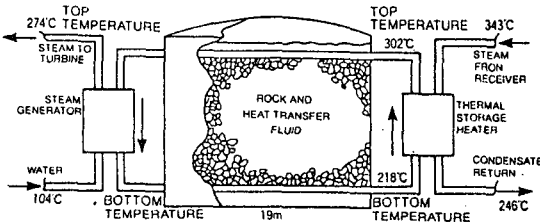


그림 10. 자갈과 熱煤油를 사용한 蓄熱장치 [4]

자갈 : 10,000 ton, 油 : 1,200 m<sup>3</sup>,  
蓄熱量 : 180 MWh

土壤蓄熱의 한 종류이며 地層간 蓄熱의 한 方法으로 그림 11에 표시한 바와 같은 地下帶水層을 利用하는 것이 있다.<sup>[9]</sup> 이것은 地下의 不透水層 사이에 있는 水層에 溫水를 pump로 送入하여 土壤과 地下水에 蓄熱을 行하고 必要한 때에 地下水를 pump로 吸出하여 利用하도록 한 것이다.

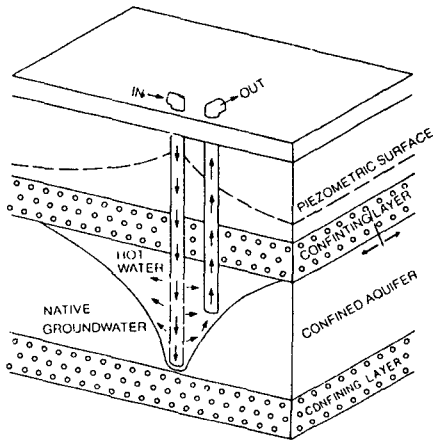


그림 11. 地下帶水層을 이용한 蓄熱 [9]

그림 12는 solar house의 水蓄熱器에서의 損失熱을 最大로 室內暖房에 利用할 目的으로 한 固液複合型蓄熱器의 例이다. 太陽集熱器에서 集熱한 熱은 水槽 및 그 주위의 자갈에 저장되어 強制送風空氣流에 의해 室內暖房을 하는 것이다.

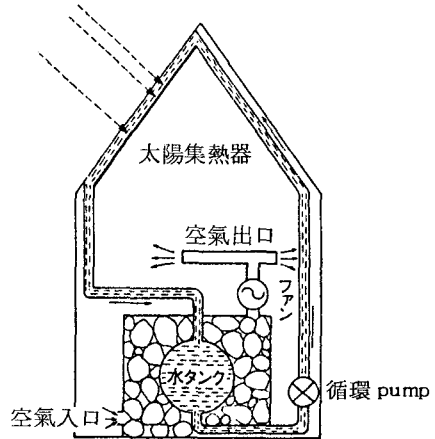


그림 12. 固液複合蓄熱器를 사용한 solar house. [4]

### 3-4 吸着熱 利用 蓄熱器<sup>[10]</sup>

物質에 物理的으로 吸着할때에 發生하는 吸着熱을 利用하는 蓄熱로서 이때 物質이 化學的 變化를 일으키므로 넓은 의미에서는 이를 顯熱利用型 蓄熱이라고 부른다.

많이 사용되는 吸着材로는 活性炭, 活性 Alu-mina, Silica-gel, geolite 등을 들 수 있으며 이들에 물이 吸着할때에 熱物性값을 表2에 표시하였다.

表1에 表示한 顯熱利用蓄熱材의 蓄熱密度에 比較할때 현저하게 큰 값을 갖는 것을 알 수 있다.

吸着熱利用의 경우 蓄熱材의 氣密을 유지함에 따라 蓄熱期間을 長期로 할 수 있는 利點이 있으나 高溫에서의 吸着水量은 常溫에 比하여 매우 적기때문에 高溫利用에는 부적합하며 乾燥 또는 冷房目的에 적합하다.

表 2 . 各種 吸着材의 熱物性값

	charcoal	activated alumina	silica gel	4 A	5 A	13 X
Maxium capacity kg H <sub>2</sub> O/kg adsorbent	0.4	0.19	0.37	0.22	0.22	0.30
Heat of adsorption (average) kJ/mol H <sub>2</sub> O adsorbed	41.8	44.7	46.0	79.4	75.2	79.4
Energy stored kJ/kg adsorbed	920	472	945	970	920	1330
adsorbent specific heat kJ/kg/°C	1.09	1.00	0.88	1.05	1.05	0.92
energy density kJ/kg	1000	523	991	1020	974	1370
adsorbent density kg/m <sup>3</sup>	480	890	670	780	680	600
energy density kJ/m <sup>3</sup>	481 × 10 <sup>3</sup>	464 × 10 <sup>3</sup>	665 × 10 <sup>3</sup>	796 × 10 <sup>3</sup>	664 × 10 <sup>3</sup>	823 × 10 <sup>3</sup>

太陽熱을 熱源으로 한 吸着材 冷房用 system의 예를 그림 13에 표시하였다.

吸着材로 乾燥한 空氣에 물을 吸込하여 冷房을 그리고 濕한 空氣를 흐르게 함에 따라 暖房用 溫風을 얻도록 한 것으로 太陽熱은 吸着材層에 吸着力을 유지할 수 있도록 乾燥(蓄熱)에 使用된다.

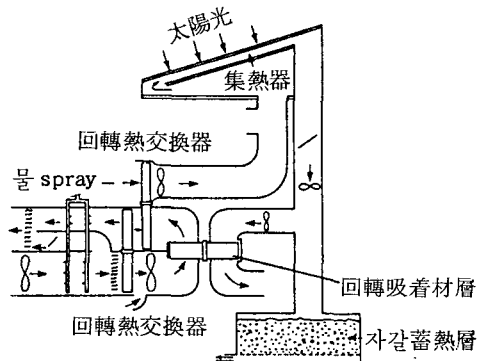


그림 13 . 吸着材利用 空調 system .[11]

#### 4 . 結 論

現在 使用되고 있는 大部分의 蓄熱器가 顯熱利用型이라는 것은 이 種類의 경제성이 높으며 또 한 熱的인 特性이 良好한 蓄熱器이기 때문이다. 가격이 비싸게 되면 熱과 같은 부가가치가 낮은 것을 저장하는 수단으로는 失格이 된다.

顯熱利用型 蓄熱器는 구조가 간단하며 容器等에도 新材料를 開發할 必要가 적고 耐久性에 따르는 system 製作이 비교적 쉬운 蓄熱器이다.

顯熱利用型 蓄熱器에서 蓄熱技術의 研究課題로서는 放出되는 熱을 어떻게 有效하게 이용하는가? 그리고 熱을 放出한후 어떻게 다시 有效한 熱을 確保할 수 있는가? 가 남아있을 뿐이다.

参 考 文 獻

1. 田中俊六. “太陽熱暖房 system” ohm社 (1977)
2. 野口哲男. “太陽 energy の 産業用への利用技術” (1982) フジテクノシステム.
3. 一色尚次. “廢熱回收利用 system 實用便覧” (1980) フジテクノシステム
4. G. Wettermark et al.; “ Storage of Heat ” (1979) Swedish Council for Building Research.
5. 月尾嘉男; 太陽エネルギー等の長期蓄熱による融雪システムに関する調査研究報告書 (1982), 機械システム振興協會
6. F. W. Schmidt et. al.; Thermal Energy Storage and Regeneration(1981), McGraw-Hill.
7. E. G. Kovach ; Thermal Energy Storage (1976), Pergamon Press.
8. G. Vachaud et. al. ; Proc. ISES(1979), 625 ~ 628.
9. F. J. Molz et. al.; Proc. ISES(1976), 238 ~ 244
10. R. A. Shigeishi et. al.; Solar Energy, vol. 23(1979), 489 ~ 495
11. B. Shelpuk ; Proc. Desiccant Cooling Conf. (1977), Solar Energy Research Institute (Colorado)