

# 熱化學反應사이클을 이용한 蓄熱技術

Thermal Energy Storage Using Thermochemical Reaction Cycles

朴 準 澤\* ; 李 壽 珏\*\*  
Jun Teag Park, Soo Kag Lee

## 1. 序 論

最近 工業廢熱 및 太陽熱 등과 같이 溫度의 質的 또는 量的 變動이 심한 熱에너지를 잘 利用할 수 있는 蓄熱技術 開發이 實질히 要求되며, 이를 위한 研究가 여러方面으로 推進되고 있다. 이와 같은 蓄熱法을 크게 나누면 :

1) 固體 및 液體의 顯熱 利用(顯熱蓄熱), 2) 溶融, 凝固, 結晶, 轉移 등의 相變化가 일어나는 潛熱利用(潛熱蓄熱), 그리고 3) 吸·脫着熱, 溶解, 稀釋熱, 化學反應熱과 같은 化學熱(넓은 의미로 組成變化가 일어나는 系를 모두 포함)을 利用하는 蓄熱方式(化學蓄熱) 등이 있다.

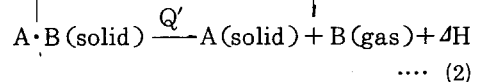
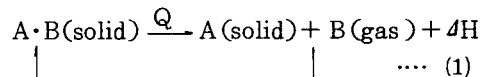
이 중에서 顯熱 및 潛熱을 利用하는 蓄熱法은 長期間 熱貯藏이 어렵고 根本적으로 熱펌프(heat pump)로 使用할 수 없는 短點을 가지고 있다. 이와 같은 短點을 補完할 수 있는 方法이 化學蓄熱法이다. 즉 化學蓄熱은 熱이 化學物質의 形態로 貯藏되므로 反應物質을 分離, 保存하여 특별한 斷熱이 필요없이 長기간 熱貯藏이 可能하고 作動流體의 壓力調節에 의해 化學熱 펌프(chemical heat pump) 適用이 可能하다. 따라서 이와 같은 蓄熱法의 開發 및 實用化를 위한 研究가 현재 여러가지

反應系에 대하여 活潑히 檢討되고 있다.<sup>1)</sup>

本 報에서는 化學 反應熱을 利用한 蓄熱原理 및 化學 蓄熱材의 選定에 대하여 概說하고 化學蓄熱의 應用에 관한 최근의 研究動向에 대하여 記述하고자 한다.

## 2. 化學蓄熱의 原理

化學蓄熱의 基本原理는 後述하는 表 1 에 나타난 바와 같이 대부분이 氣-固 反應(gas-solid reaction)임으로 다음과 같은 氣-固 反應 즉 AB/A 系 反應 例를 들어서 설명하기로 한다.



이 反應 사이클에 있어서 Eq.(1)은 反應物質(A·B)에 熱量(Q)을 加해 生成物質 A 와 B의 形態로 反應熱(ΔH)을 貯藏하는 蓄熱過程이다.

역으로 Eq.(2)는 필요할때 蓄熱過程에서 生成된 A와 B를 發熱反應시켜 蓄熱하기 전의 A·B 상태로 變化시키고 이때 反應熱이 發生

\* 正會員, 韓國動力資源研究所(實用化開發室, 先任研究員)

\*\* 韓國動力資源研究所(設備型研究室, 先任研究員)

하는 放熱(heat-release)過程을 나타낸다. 따라서 이와 같은 過程을 反復하여 使用하는 것이 化學蓄熱의 基本原理이며, 이 方式은 顯熱 및 潛熱을 利用하는 方式과 根本的으로 다른 點은 熱化學的 化學平衡이 存在함에 있다.

化學平衡은 後述하는 바와 같이 대부분이 氣-固反應이므로 反應에 參與된 氣體의 反應平衡壓(Pe)과 反應溫度(T)사이의 Gibbs-Helmholtz 式이 成立되어  $\ln P_e$ 와  $1/T$ 사이의 關係는 半代數(semi-log)그래프上에서 線形的(linear)으로 표시된다. 그 代表的 例를 圖式的으로 나타내면 그림 1과 같다. 그림에서 平衡線을 中心으로 低溫側의 溫度領域에서는 放熱過程이, 高溫側의 溫度範圍에서는 蓄熱過程이 일어난다.

이와 같은 化學蓄熱 方式은 作動氣體의 흐름特性에 따라 크게 開放系(open system)와 密閉系(closed system)으로 나눌 수 있으며 本節의 原理설명에 있어서는  $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{CaO}$  계의 예를 들어 설명하기로 한다.

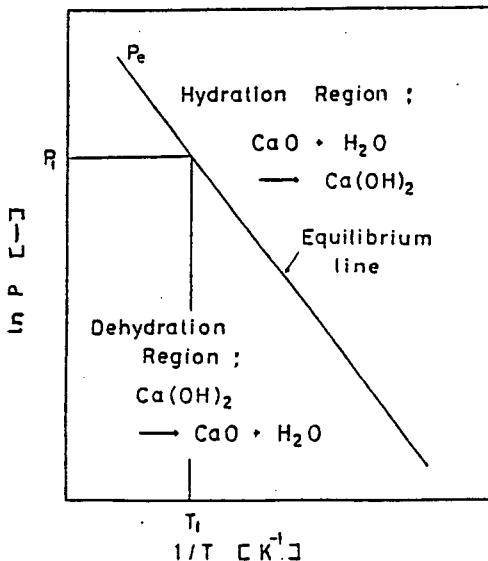


그림 1. 平衡壓과 溫度와의 關係

### 2.1 開放系에서의 化學蓄熱

開放系의 化學蓄熱은 反應에 參與하는 作動氣體(水蒸氣)가 系外로 방출되는 境遇로써 그 概念圖은 그림 2와 같다. 그림에서 오른쪽은

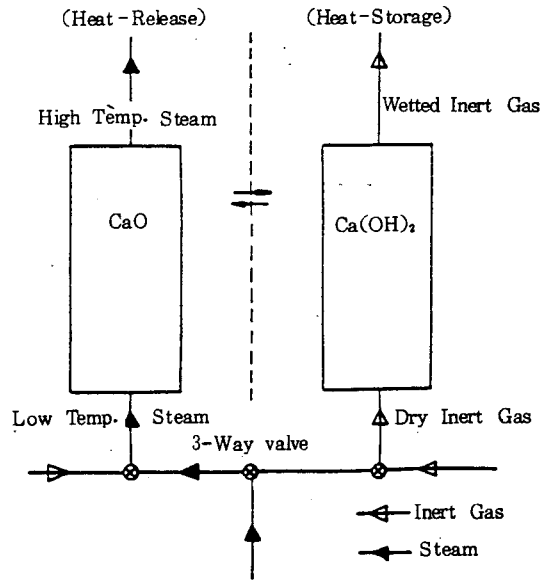


그림 2. 開放系에서의 化學蓄熱 概念圖

蓄熱過程을, 왼쪽은 放熱過程을 각각 나타낸다. 放熱過程은  $\text{CaO}$  粒子가 충전(packed)되어 있는 反應器(reactor) 內部로 低溫의 水蒸氣를 流入시키면 發熱反應에 의하여 高溫의 水蒸氣를 얻을 수 있으며 이 過程에서  $\text{CaO}$ 는 水和反應에 의해  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 로 變化한다.

한편 蓄熱過程은 水和反應의 結果 生成된  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 層 內部로 高溫의 不活性 氣體(inert gas)를 통과시켜서  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  熱分解脫水反應이 일어나며 이 過程에서  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 는 吸熱反應에 의해 처음의  $\text{CaO}$ 로 還元된다. 따라서 이와 같은 蓄熱 및 放熱過程을 反復하여 使用하면 連續操作이 가능하다. 여기서 放熱過程에서 얻을 수 있는 最大溫度는 作動氣體를 純粹한 氣體( $p=1\text{atm}$ )만으로 사용한 경우에 해당하는 平衡溫度를 얻을 수 있다. 따라서 開放系 蓄熱方式의 경우에는 일종의 蓄熱式 熱交換器로 應用이 가능하다. 그러나 反應에 參與하는 氣體가 水蒸氣 이외에 水素 등의 危險物質의 경우에는 시스템 構成上 開放系보다 密閉系의 경우가 유리할 것으로 기대된다.

### 2.2 密閉系에서의 化學蓄熱

密閉系란 反應에 參與하는 氣體(水蒸氣)가

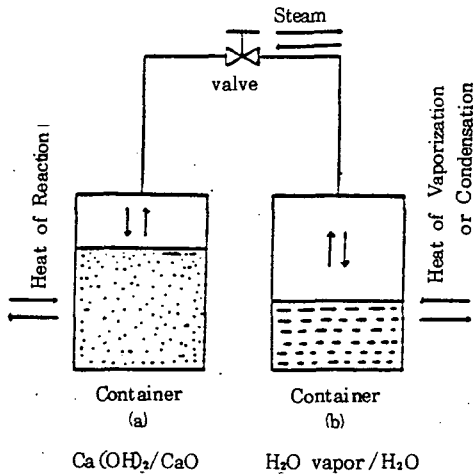


그림 3. 密閉系에서의 化學蓄熱 概念圖

系外로 放出되지 아니하고 일정한 密閉空間內에 存在하는 경우로서 그 概念圖를 나타내면 그림 3과 같다.

그림에서 容器(a)에는 固體粒子的 反應物質이, 容器(b)에는 作動流體(水蒸氣 또는 물)가 각각 담겨져 있다. 容器(a)內的 反應平衡(高溫側 反應源) 및 作動流體의 相平衡(低溫側 反應源)은 熱力學的으로 Gibbi-Helmholtz 式과 Clausius-Clapeyron 式으로부터 다음식과 같이 표시될 수 있다.

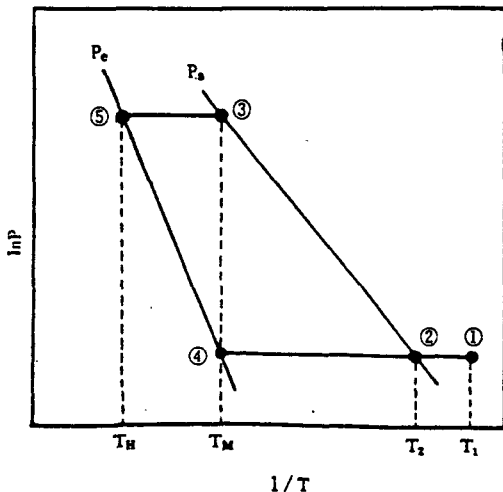


그림 4. 化學 熱펌프(CHP)에서의 壓력과 溫度關係(P<sub>e</sub>: 平衡溫度, P<sub>s</sub>: 飽和蒸氣壓, T: 絕對溫度)

$$\text{反應平衡: } \ln P_e = -\Delta H_H / RT + C_H \quad \dots (3)$$

$$\text{相平衡: } \ln P_s = -\Delta H_L / RT + C_L \quad \dots (4)$$

여기서  $\Delta H_H$  및  $\Delta H_L$  은 각각 反應熱과 蒸發潛熱을 나타내며,  $C_H, C_L$  은 積分常數이다. 따라서 이 關係를  $\ln P$ 와  $1/T$ 의 關係로 표시하면 그림 4에 圖示된 바와 같이 線形的으로 나타낸다.

密閉系에서의 蓄熱 및 放熱過程을 그림 3을 통해 살펴보면 다음과 같다. 먼저 容器(a)와 容器(b)사이엔 연결된 밸브를 닫고 兩容器의 溫度를  $T_M$ 까지 熱을 가하면 反應物質인  $\text{CaO}$ 와 물의 溫度는 그림 4의 平衡線에서 ①→②→④ 및 ①→②→③으로 變化한다. 이 狀態에서 그림 3의 밸브를 열면 수증기는 容器(b)에서 容器(a)로 移動한다. 이때 容器(a)內部에서는  $\text{CaO}$ 水和 反應이 일어나며 그림 4에 도시된 平衡線을 따라 ④→⑤로 移動하여  $T_M$ 까지 高溫을 얻을 수 있다.

한편  $\text{CaO}$ 水和 反應이 完了되면 容器(b)의 溫度를  $T_2$ 까지 冷却시켜 容器內的 水蒸氣 壓力을 降下시키면 容器(a)에서는  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 熱分解 溫度가  $T_M$ 이 되어  $\text{CaO}$ 와  $\text{H}_2\text{O}$ (水蒸氣)로 分解된다. 이와 같이  $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{CaO}$ 系 反應 사이클은 溫度  $T_2$ 와  $T_M$ 의 2種類 熱源을 利用하여 最大溫度  $T_H$ 까지 昇溫이 可能하고 化學反應 過程에서 生成된  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가  $T_M$ 에서 再生이 可能하므로 이는 소위 말하는 化學 熱펌프사이클에 該當한다.

### 3. 化學蓄熱材의 選定

#### 3.1 反應系 例

化學蓄熱에 있어서 反應系의 選擇은 蓄熱 溫度의 結定과 關聯하여 대단히 重要하다. 反應系는 크게 分類하면 觸媒와 非觸媒 反應으로 나눌 수가 있다.<sup>1)~3)</sup> 觸媒反應은 觸媒物質의 開發이 상당한 比重을 차지하고 있기 때문에 여기서는 非觸媒 反應을 中心으로 說明하고자 한다. 非觸媒反應을 反應에 關與하는 作動流體別로 나누어 보면 表 1과 같이 大部分의 反應은 氣固反應이다. 이 밖에도 觸媒反應의 例

등 여러가지 방법으로 나눌 수 있겠으나 紙面關係上 省略하였으며 후술하는 應用例도 表 1 에 의거하여 論하기로 한다.

3.2 反應系 選定上的 留意點

化學 反應系를 實際 應用하고자 할 경우에는 工業廢熱, 太陽熱 등을 利用할 수 있는 溫度範圍를 考慮하여 最適 化學反應系를 選擇하여야 한다. 따라서 蓄熱材 選擇은 곧 反應系의 選擇이므로 다음과 같은 點에 留意하여야 한다.

(1) 蓄熱溫度 및 蓄熱用量: 化學反應系의 平衡溫度, 反應熱 등에 대한 化學 熱力學的 檢討로부터 어느정도 豫備知識을 얻을 수 있다.

(2) 蓄熱 및 放熱速度: 化學反應에 대한 反應 및 熱傳達 등의 速度論的 사항에 관한 연구가 필요하다. 이는 곧 蓄熱裝置의 最適設計 및 運轉에 있어서 없어서는 안될 중요한 因子로서 實驗을 통한 데이터 蒐集이 要望된다.

(3) 蓄熱材 取扱上的 問題: 化學蓄熱方式을 實際 應用함에 있어서 먼저 安定性, 安全性 및 經濟性 등에 대한 검토가 이루어져야 하며 反應物質 사이의 接觸 또는 分離는 어떻게 해야 할 것인가에 대한 연구가 대단히 중요하다.

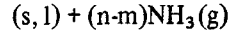
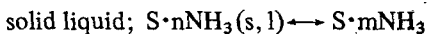
이상과 같은 제문제점을 고려하여 蓄熱시스템에 어떻게 잘 적용할 수 있을까 하는 것이 앞으로 남은 化學蓄熱 技術開發의 研究課題임과 동시에 化學蓄熱材의 선정에 있어서 반드시 고려되어야 할 사항이다.

表 1. 作動流體에 따른 分類 例

1. Water system

- 1) hydrate;  $S \cdot nH_2O(S) \leftrightarrow S \cdot mH_2O(s) + (n-m)H_2O(g)$
- 2) hydroxide;  $M(OH)_2(S) \leftrightarrow MO(S) + H_2O(g)$
- 3) adsorbent;  $adsorbent \cdot H_2O(S) \leftrightarrow adsorbent(s) + H_2O(g)$
- 4) clathrate;  $M \cdot nH_2O(s) \leftrightarrow M(g) + nH_2O(1) \text{ compound}$

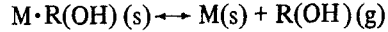
2. Ammonium system



3. Hydrogen system

- 1) metal hydride;  $NHn(s) \leftrightarrow M(s) + 2/n H_2(g)$
- 2) catalytic organic;  $Cm Hn + xH_2 \leftrightarrow Cm H(n + 2x)$

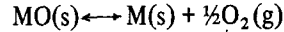
4. Alcohol system



5. Carbon dioxide system



6. Oxygen system



7. Sulfur trioxide system



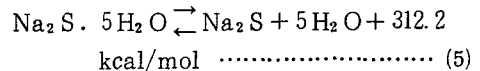
4. 化學蓄熱의 應用 例

4.1 水系(water system)

(1) 水和物(hydrate)

①  $Na_2S \cdot 5H_2O/Na_2S$  系

本 反應系는 다음과 같은 反應式으로 나타내고 있으며 硫化나트륨( $Na_2S$ ) 1mol에 水和物의 組成은 일정하지 않다.



이 反應系의 蓄熱 및 放熱 시스템은 스웨덴에서 開發되어 「TEPIDUS」<sup>4)</sup> 라고 부르며 이 反應系의 平衡關係와 化學 熱펌프 運轉 모드 의 대략적인 것을 그림 5에 圖示하였다.

冷房에는 물의 蒸發熱을 利用하고, 材生溫度와 暖房溫度가 다른것은 壓力差를 얻기 위한 것이다.

이 反應系의 研究開發에 있어서 長點으로는 비교적 값이 싼 硫化나트륨과 물을 사용하므로 經濟적이고, 蓄熱密度(약 950kcal/kg- $Na_2S$ )가 큰점 등을 들 수 있다. 한편, 단점으로는 85℃이상의 온도에서  $Na_2S$  熱分解가 생기기 때문에 사용온도의 제한이 있으며,<sup>5)</sup> 蓄熱 및 放熱速度가 비교적 적고, 물(mol) 체적변화가 약 20%로 粉體를 넣는 방법 등의

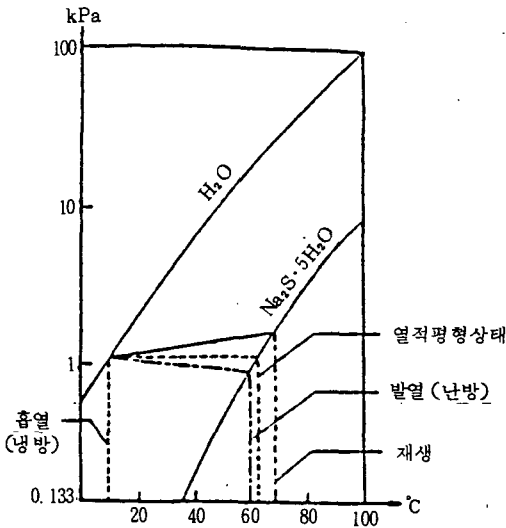


그림 5.  $\text{Na}_2\text{S}-\text{H}_2\text{O}$ (TEPIDUS) 시스템<sup>4)</sup>

문제가 있다.

本反應系의 開發은 1979년에 스웨덴의 스톡홀름 교외에 설치하여 연간 20,000 kwh 의 열을 태양집열기로 얻었으며, 1980년에 10,000 m<sup>2</sup>의 건물에 30,000 kwh 급의 蓄熱容量을 가진 蓄熱裝置를 가동 중이다. 또 이 시스템은 여름철에 태양열을 저장하고 겨울철에 난방으로 이용하는 것이 主目的이었으나, 최근 深夜電力을 이용하여 축열하고 냉방 및 난방에 대한 응용연구가 實驗的 검토 단계로써 행하여지고 있다.<sup>6)7)</sup>

② 其他 水和物

$\text{Na}_2\text{S} \cdot 5\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{S}$  이외의 反應系에 대해서는 여러가지를 들 수 있겠으나, 현재 基礎研究에서 實驗실 규모정도로 實證實驗을 하고 있는 실정이다. 化學反應의 例로써는 최근 연구되고 있는  $\text{CaCl}_2$ ,<sup>8)</sup>  $\text{MgCl}_2$ ,<sup>9)</sup>  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  (붕사),<sup>10)</sup>  $\text{K}_2\text{CO}_3$ <sup>11)12)</sup> 등의 100 °C 이하의 hydrate 와 200 °C 이하의 온도범위에서는 석고( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )<sup>13)14)</sup>의 수화물을 들 수 있다.

이와 같은 반응계의 연구 및 개발에 있어서는 化學平衡(온도와 수증기 분압)이라고 볼 수 있으며, 그림 6-7에 이들의 平衡關係를 나타내었다.

(2) 水酸化物(hydroxide)

水酸化物의 反應系 選擇은 많은 물질을 들

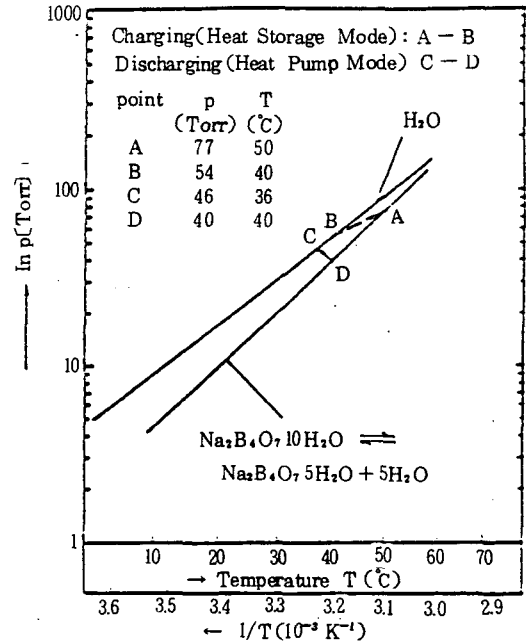


그림 6. 反應平衡壓과 溫度의 關係<sup>10)</sup>

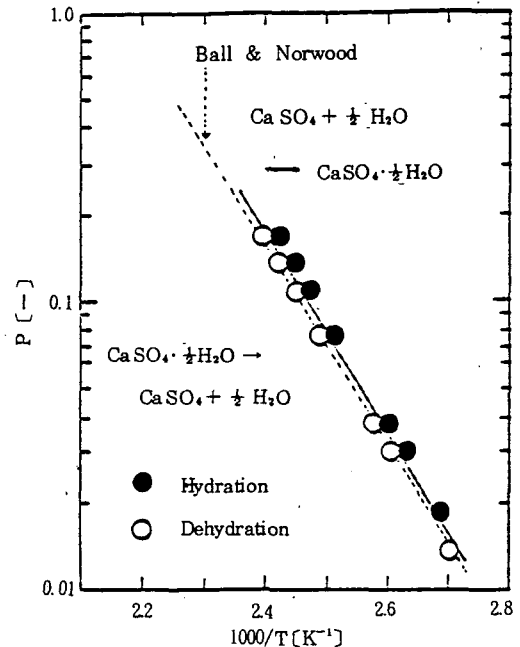


그림 7.  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}/\text{CaSO}_4$ 系 反應平衡<sup>13)</sup>

수 있으나, 그 중에서도 實用的인 것은 그림 8에 平衡關係를 나타낸  $\text{Mg}(\text{OH})_2/\text{MgO}$ ,<sup>16)18)</sup>

Sr(OH)<sub>2</sub>/SrO,<sup>20)</sup> Ba(OH)<sub>2</sub>/BaO,<sup>20)</sup> Ca(OH)<sub>2</sub>/CaO<sup>25)</sup> 계 등을 들 수 있다. 이 중에서 Mg(OH)<sub>2</sub>/MgO 계 반응에 있어서는 MgO의 水和反應의 反應速度 즉 放熱速度가 느려서 약간의 문제점이 야기되고 있다.<sup>19)</sup>

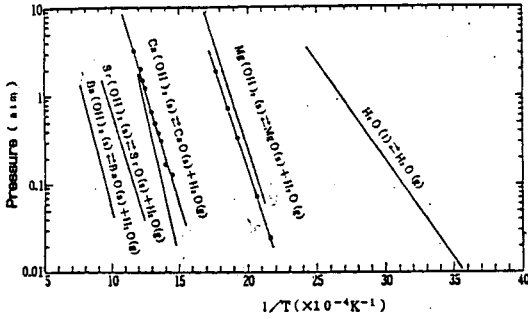
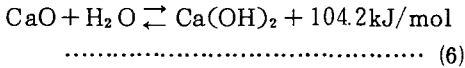


그림 8. 水酸化물의 壓力과 溫度的 平衡關係

여기서는 현재 가장 많이 연구되고 있는 Ca(OH)<sub>2</sub>/CaO系 反應에 대하여 중점적으로 검토코자 한다. Ca(OH)<sub>2</sub>/CaO계 반응의 반응식은 다음과 같다.



이 반응계는 값이 싼 석회석, dolomite 등을 出發物質로 하고 있다. 또 이 반응계는 蓄熱溫度가 비교적 높으며 반응속도가 빨라서 放熱過程의 경우 순간적으로 化學平衡溫度(1기압 : 510 °C)에 도달한다.<sup>22)23)</sup>

그러나 대부분의 gas-solid reaction에서 나타나는 바와 같이 반복 사용에 의한 微分化現狀이 일어나며 水分存在下에서 炭酸가스와 반응하여 CaCO<sub>3</sub>가 되는 결점이 있다.<sup>24)</sup> 이 반응계의 基礎實驗은 거의 完了되고<sup>25)~28)</sup> Lab. Scale의 실험으로 開放系 및 密閉系의<sup>30)</sup> 實用化 實驗段階에 있다.

(3) 吸着劑(adsorbent)

活性炭(charcoal), 실리카겔(silica gel), 活性알루미나(activated alumina), 제올라이트(zeolite) 등의 吸着劑를 사용하여 被吸着物質을 吸着 또는 脫着할때의 吸熱 또는 發熱을 이용하는 方法이다.

이 중에서도 특히 제올라이트는 많은 장점

을 가지고 있다. 그러나 가격이 비싼 제올라이트는 재생온도가 200 °C 이상이며, 熱傳導度가 낮은 고체의 단점을 들 수 있다.

현재 제올라이트에 대한 연구개발은 독일 뮌헨대학에서 1-2kw 級 試驗機(fin이 설치된 열교환기를 사용, 약 17kg의 Zeolite)로 실험하고 있다. 또 固定層에서의 Hollebne<sup>32)</sup> 등의 연구보고에 의하면 放熱過程에 있어서 10-15 °C의 온도상승의 효과를 얻었으며, 流動層型 蓄熱裝置(그림 9)에서 제올라이트의 吸着實驗을 행하여 유동층의 온도가 845 °C에서 최고 160 °C 정도까지 溫度上昇 效果가 보고되었다.<sup>34)</sup>

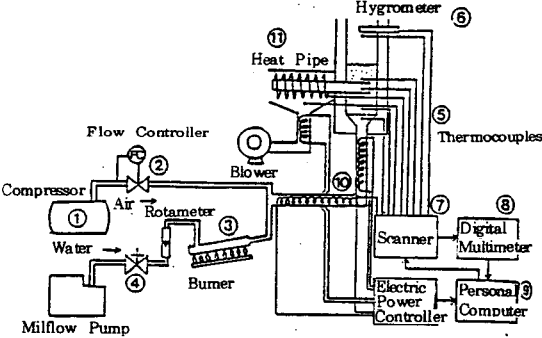


그림 9. 流動層에 의한 Zeolite의 吸着/脫着 蓄熱裝置<sup>34)</sup>

4.2 암모니아系(Ammonium system)

암모니아는 蒸發物이 물 다음으로 크며 증발 및 응축이 쉽기 때문에 可燃性, 有毒 및 부식성이 있는 물질임에도 불구하고 냉방 및 난방용으로 암모니아화합물을 많이 사용하고 있으며 이에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 암모니아화합물을 이용한 反應系로는 CaCl<sub>2</sub>,<sup>35)</sup> NH<sub>4</sub>Cl,<sup>35)</sup> MnCl<sub>2</sub>,<sup>35)</sup> MgCl<sub>2</sub>, NaI,<sup>36)37)</sup> NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>,<sup>38)</sup> NH<sub>4</sub>SCN,<sup>38)</sup> FeCl<sub>2</sub>, SrCl<sub>2</sub><sup>39)40)</sup> 등을 들 수 있으며, 그 平衡關係를 그림 10에 圖示하였다.

NaI의 경우 150 kcal/l-암모니아 용액(1-6 kg/cm<sup>2</sup>)<sup>36)</sup> 정도로 蓄熱密度가 크고 流體(암모니아)를 사용하기 때문에 熱交換이 쉽다. 또 암모니아 화합물의 경우에는 반응속도가 빨라

應答性이 좋고 加逆性이 좋은 점 등을 들 수 있으며, 암모니아 화합물을 이용한 냉방 및 난방의 원리는 앞에서 설명한 water system 과 같다.

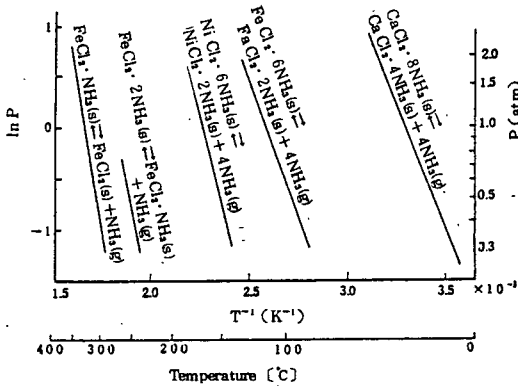


그림 10. 암모니아化合物的 反應平衡 蒸氣壓<sup>36)</sup>

4.3 水素化物系(Hydrogen system)

水素化物을 이용한 蓄熱法은 처음에는 수소를 貯藏하는 目的에서 연구되어 왔으나 수소가 금속에 吸着 또는 脫着함에 따라 熱移動이 되는 것을 이용하여 蓄熱하고자 하는 目的으로 추진되었다. 水素金屬 化合物을 原理등에 대해서는 既存 參考文獻에 많이 언급되었기에 여기서는 省略하기로 한다.

4.4 其他 蓄熱法

① 稀釋熱 利用

이 방법은 濃度差를 이용하는 것으로 LiBr 등의 吸收式 heat pump와 같은 原理이다. 그 대표적인 例로는 진한 황산에 물을 가하면 열이 발생됨과 동시에 묽은 황산이 된다. 生成된 묽은 황산은 태양열을 이용하여 물을 증발시키면 최초의 진한 황산으로 변한다. 그러나 황산은 강한 부식성을 가지고 있기 때문에 장치의 재료개발에 중점을 두어야 할 것이다.

그림 11에 圖示한 바와 같이 황산의 濃度差를 이용한 연구개발은 미국의 경우 이미 基礎研究가 끝난 상태이며 約 44 kw級의 實證實驗을 하고 있다.<sup>42)</sup>

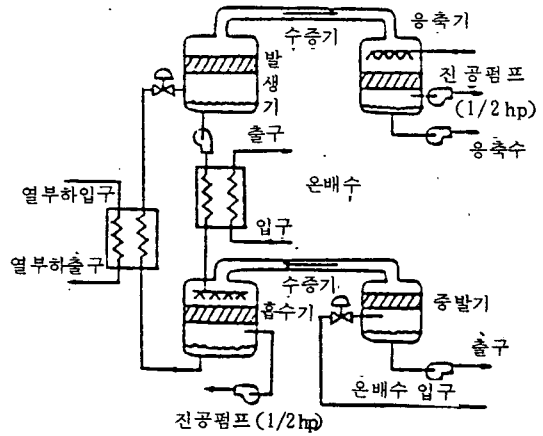


그림 11. 黃酸-물을 利用한 CHP 시스템

② 光異性體 利用<sup>1)</sup>

光異性體를 이용하는 방법은 주로 有機化合物을 빛에 의해 異性體로 만들어서 光에너지를 化學물질의 内部에너지형태로 貯藏한다. 또 필요할 때에는 適當한 觸媒를 첨가시키면 처음의 물질로 되돌아가고 동시에 열이 발생된다. 그림 12에 대표적인 反應例를 나타내었다. 그림 13에는 圖示한 바와 같이 Norbornadiene (NB)의 경우에는 무색투명하여 太陽輻射 Spectrum 영역(300 nm 이상)의 빛을 吸收하지 않기 때문에 光增減劑(Sensitizer)를 필요로 하는 점과 또한 이에 수반되는 副反應, 주로 폴리머(Polymer)가 生成되는 단점이 있다.

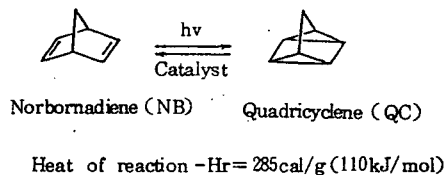
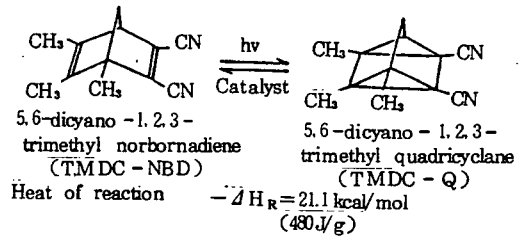


그림 12. 光異性化의 反應例<sup>1), 43), 44)</sup>

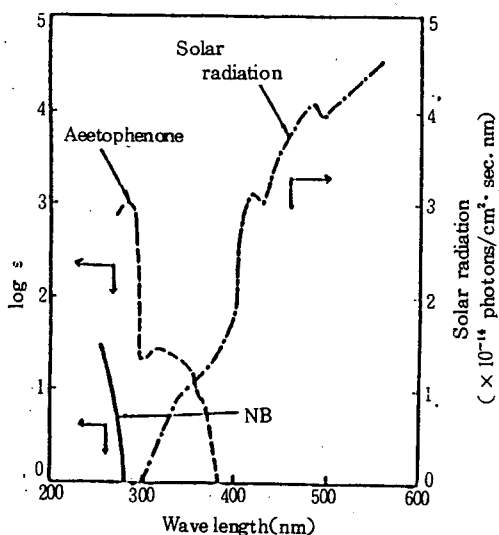


그림 13. 太陽輻射 및 關聯物質의 吸收 스펙트럼

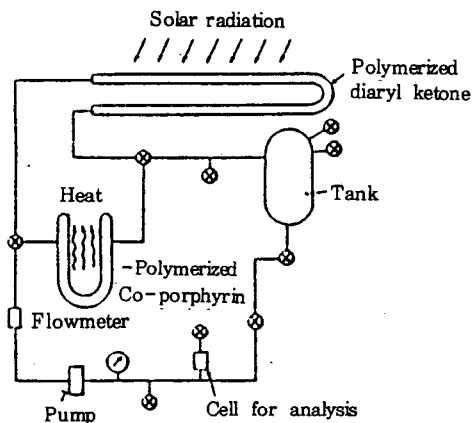
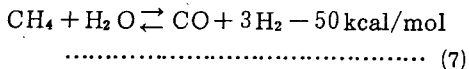


그림 14. NB를 사용한 蓄熱 시스템

그림 14에 光에너지를 이용하여 저장하고 방열하는 시스템의 一例를 나타내었다.<sup>47)</sup> 현재 NB/QC系를 사용하여 蓄熱裝置로써 溫水を 얻는 방법이 연구되고 있다.<sup>48)49)</sup>

③ 其他

다음과 같은 반응을 이용한 蓄熱시스템 (EVA-ADAM 시스템)<sup>1)50)</sup>이 연구되고 있다.



또 고온(600°C 이상)에서 연구되고 있는 反

應系는  $\text{MgSO}_4/\text{MgO}^{51)}$  및  $\text{Na}_2\text{SO}_4/\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7^{52)}$ 系 반응 등을 들 수 있다.

5. 結 論

本稿에서는 化學蓄熱 原理 및 反應 例에 대하여 간단히 설명하였으며 化學蓄熱의 利用 例에 대하여 紹介하였다. 그러나 紹介한 以外의 反應系도 많을 것으로 思料된다. 化學蓄熱의 技術開發은 現 段階에서 해결해야 할 문제도 많으며, 앞으로 化學蓄熱의 技術發展을 위하여 反應裝置, 機械工學, 材料工學, 시스템工學 등 여러方面으로 組織的인 研究體制確立이 필요하다.

參 考 文 獻

1. 박원훈외 8인, “열저장 시스템개발에 관한 연구”, 1차년도보고서, 과학기술원, 1987.
2. Wentworth, W.E. and E. Chen; Solar Energy, 18, p.205 (1976)
3. 川崎, 秋谷, 化學工學, 46(7), p. 339. 1982.
4. Bakken, K; Int. Conf. on Energy Storage Brighton, U.K. April 29-May 1, p.23 (1981)
5. 米田, 萩原, 太陽エネルギー, 5, p. 4. 1979.
6. 脇山, 原田, 保田, 일본화학학회 추계대회 발표강연요지집, p. 240. 1984.
7. idem; ibid 春季大會, p. 339. 1985.
8. Wettermark, G. et al; “Storage of heat - A survey of efforts and Possibilities”, Cl p.23 (1983)
9. Offenhartz, P.O.D.; Int. Solar Energy Soc. Cong. Sun 1, p.488 (1978)
10. Abhat, A. and T.Q. Huy; Solar Energy, Vol.30, No.2, p.93 (1983)
11. Stanish, M.A. and D.D. Perlmutter; Solar Energy, 26, No.4, p.333 (1981)
12. idem; AICh J. E. 30, No.1, p.56 (1984)



13. 이수각, 松田, 架谷, 화학공학논문집; Vol. 12. No. 1. p. 75. 1986.
14. idem; 일본화학공학협회 추계대회 발표 강연요지집, 1986.
15. 川崎, 成武, 秋谷, 化學工學(日本), 46 (7), p. 339. 1982.
- 16) Hockett, R.S. and R.W. Serth; Proc. 12<sup>th</sup> IECEC, p.540 (1977)
17. Bauerls, G. et al; Proc. of the ISES meeting, Vol.8, Winnipeg, Canada, p.16 (1976)
18. Ervin, Proc. of the workshop on solar energy storage subsystem for heating and cooling of Buildings, Charlottesville, Virginia (1975)
19. Bratton, R.J. and G.W. Brindley; Trans. Faraday Soc. 61, p.1017 (1965)
20. 藤井, 石根, 冷凍, 第 57 卷, 第 680 號, p. 31. 1984.
21. Halstead, P.E. and Moore, A.E; J. Chem. Soc. p.3873 (1957)
22. Fujii, I, K. Tsuchiya, H. Higano and J. Yamada; Solar Energy 34, p.367 (1985)
23. 이수각, Ph.D. Thesis at Nagoya University (1986)
24. 松田, 山田, Gypsum & Lime, No. 97. p. 3. 1968.
25. 松田, 石津, 李, 架谷; 화학공학논문집, 일본, No. 5. p. 542. 1985.
26. 李, 松田, 架谷; ibid, 12. No. 1. p. 165. 1986.
27. Fujii, I. and K. Tsuchiya; Alternative Energy Sources IV, ANNARBOR SCIENCE, 1, p.285 (1985)
28. Kanzawa, A. and Y. Arai; Solar Energy, 27, p.289 (1981)
29. 松田, 李, 石津, 架谷; 화학공학논문집, 13, No. 1. p. 20. 1987.
30. 松田, 宮崎, 李, 架谷, 일본화학공학회군 마대회, 1986.
31. Alefeld, G, Bauer H.C. et al; Int conf. on Energy Storage, Brighton, U.K. April 29-May 1, p.61 (1981)
32. Shigeislu, R.A., C.H. Langford and B.R. Hollebhone; Solar Energy, 23, p.489 (1979)
33. Hollebhone, B.R., C.H. Langford and R.A. Shigetshi; Solar Energy, 28, p.421 (1982)
34. 鈴木, 일본능률협회편, '84 新テクノジー シンポジウム, Part 5 3-11. 1984.
35. Bongard, J., et al; Solar Energy Appl. Dwell, p.400 (1984)
36. Fujiwara, I. et al; Energy Conversion and Management, 21(2), p.157 (1981)
37. 三筒, 倉田, 小羽田; 일본화학공학협회 춘계대회 발표강연요지집, p.438. 1981.
38. Jaeger, F.A. et al; Proc. Int. Seminar on Thermochemical Energy Storage, Stockholm, p.339 (1980)
39. Taube, M. et al; ibid, p.349 (1980)
40. Wentworth, W.E. et al; J. Phys, Chem, 86, p.3483 (1982)
41. 藤原, 佐藤, 冷凍, Vol. 60. No. 687. p. 24. 1985.
42. Chark, E.C., Morgan, C.; 16th Intersoc. Energy Conversion Eng. Conf. Scattle, Washington, p.926 (1980)
43. Hammond, G.S. et al; J. Am. Chem. Soc., 97, p.1510 (1975)
44. 吉田 등; 일본화학공학협회 춘계대회 발표 요지집, p. 372. 1985.
45. Hantala, R.R., J. Little et al; Solar Energy, 19, p.503 (1977)
- 46) Kutal, C., D.P. Schwendiman; Solar Energy 19, p.65 (1977)
47. R. B. King, 太陽エネルギーの生物・化學的 利用 II, p.175. 1975. 學會出版センター
48. Ohaku, K. et al; 5th Int. Conf. Photochemical conversion and Storage of solar En., Abs., p.397 (1984)
49. 일본화학공학협회 동해지부, “蓄熱における最近の進歩と海外の動向”, p. 91. 1986.
50. Bohn, T. et al; JUL-1077-RG (1974)
51. 49)와 동일 p. 18.
52. Hockett, R.S. & R.W. Serth; 12th IECEC, p.540 (1977)