大韓機械學會誌 第17卷 第1號 pp. 23~27, 1977

＜解 說＞

太陽熱을 利用한 冷房裝置

—吸收式 冷凍機를 中心으로—

河 在 賢*·李 相 天*

Ⅰ. 序 論

太陽에너지를 새로운 에너지源으로 利用하려는 研究가 많은 科學者나 그學者들에 의해 進行되어 왔으며, 그 利用範圍도 점차로 넓어지고 있다.

太陽에너지는 다른 에너지源과 比較할 때, 첫째, 公害가 전혀 없다는 점, 둘째 에너지源으로서의 無限性, 셋째 無料로 에너지를 얻을 수 있다는 점에서 有望한 에너지로 각광을 받아 왔다.

그러나 太陽에너지는 기상조건 등에 의한 영향이 크며 에너지密度가 낮기 때문에 經濟性의 관점에서 볼 때 그 用途가 制限되어 있다는 短點이 있다.

이런 理由에서 太陽에너지는 主로 住宅冷暖房에 利用되고 있으며, 先進外國의 경우 實用化 단계에 접어 들었다.

그러나 冷房에 太陽熱을 利用하는 方式에 대한 研究는 아직 初步的인 단계에 있으며, 우리 나라의 경우 아직 이 分野에 대한 研究는 着手되지 못하고 있는 實情이다.

太陽熱을 冷房에 利用하기 위한 시스템은 集熱器, 熱交換器, 冷凍機 等으로 구성된다. 集熱器는 暖房時와 마찬가지로 보통 平板式 集熱器를 使用하므로 經濟性의 觀點에서 볼 때 冷暖房을 兼用하는 集熱器를 使用하면 有利하다.

熱交換器는 集熱器에서 蒐集한 熱을 冷凍機에 傳達시키는 機能을 가지는데 用途에 따라 이것을 使用하지 않는 경우도 있다.

冷凍機로는 보통 吸收式 冷凍機를 사용하나 그외 開放式, 噴射式 等의 冷凍機도 使用된다[1].

그러나 噴放式 冷凍機는 取扱은 容易하나 吸收劑의 再生條件이 까다로워 높은 濕氣를 갖는 경우 再生温度가 역시 높아져야 하므로 우리나라의 경우에는 여름철의 습도가 높기 때문에 再生温度가 높아져야 하므로 太陽熱 冷房에는 부적당하다. 또 噴射式 冷凍機의 경우 成積係數(Coefficient of Performance)가 다른 冷凍機에 비해 낮고 증기압력이 낮으면 이것이 극히 낮아지기 때문에 太陽熱 冷房에 많이 使用하지 않는다.

그래서 太陽熱 冷房에 있어서 冷凍機는 거의 吸收式을 使用하고 있으며, 여기에서도 주로 吸收式 冷凍機를 使用한 冷房에 대하여 論하고저 한다.

Ⅱ. 太陽熱 冷房裝置의 構造

吸收式 冷凍機를 사용하여 冷房을 할 경우, 太陽熱은 發生器(Generator)의 熱源으로 使用한다. Fig. 1은 吸收式 冷凍에 의하여 太陽熱로 冷房하는 裝置를 圖表로 나타낸 것이다. 여기에서 보면 主要構成은 集熱器, 發生器, 吸收器, 蒸發器, 凝縮器 等으로 되어 있으며, 그외 吸收式 冷凍機의 性能을 向上시키기 위해 分離器(analyzer), 精溜器(Rectifier) 및 受液器(Receiver)를 사용하는 경우가 있다.

一般的인 商用 空氣調和機나 吸收式 冷凍機에서는 集熱器와 熱交換器 대신에 보일러를 使用하여 發生器에 熱을 加한다.

이 裝置에서 使用하는 集熱器는 주로 平板式 集熱器인데 이것은 暖房에 사용하는 集熱器와 構造가 같다.

傳熱媒體로는 暖房時와 마찬가지로 空氣나 물을 사용하는데 空氣의 경우는 120°C 以上으로 加熱되어야 發生器에서 만족할 만한 熱을 供給받을 수 있으며 温水의 경우 75~80°C 까지 加熱되어야 한다[2]. 集熱器에서 傳熱媒體의 温度가 상승할 수록 集熱器의 效率은 급경사로 떨어지므로 經濟的인 側面에서 볼 때 集熱器의 效率을 向上시키는 것이 문제가 된다. 最近에 集熱器의 開發에 많은 研究가 進行되어 效率이 좋은 集熱器가 많이 生産되고 있는데 그 중에서 美國의 "Northrup, Inc"에서 開發

*正會員, 嶺南大學校 工科大學 船用機械工學科

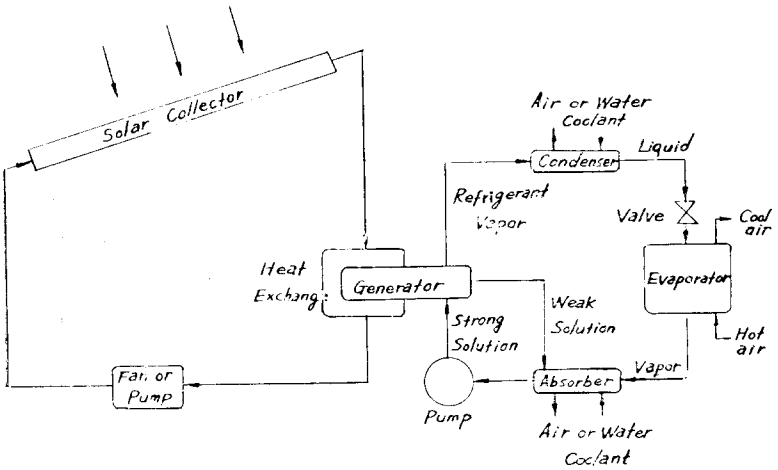

Fig. 1. Solar cooling by absorption refrigeration

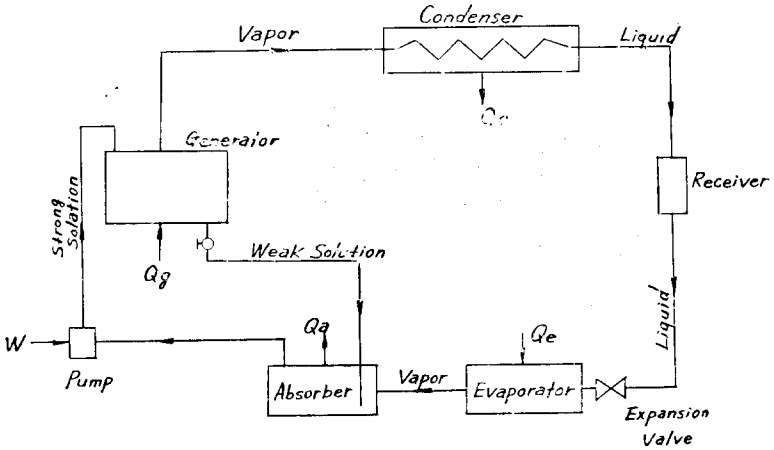

Fig. 2. Basic absorption system

한 集熱器는 高温에서의 放率이 다른 集熱器에 비해 상당히 높으므로 冷房用 集熱器로서 適合하다[3].

이 集熱器는 투명덮개를 linear fresnel lens를 사용하여 太陽光線을 傳熱媒體가 흐르는 中央管으로 集光시킴으로써 작동하는 集熱器인데 보통 集光式 集熱器와는 달리 별도로 反射鏡을 使用하지 않으며 太陽을 追跡하는 裝置는 solar cell을 使用하여 自動的으로 추적한다.

이 集熱器를 사용하면 大氣壓에서 蒸氣를 發生시킬 수 있으며, 아주 高温에서도 效率이 높다.

熱交換器는 集熱器에서 吸收한 熱量을 發生器에 傳達시키는 機能을 수행하는데 冷凍만을 爲해 太陽熱을 利用할 경우 이 熱交換器를 사용하지 않고 太陽熱 集熱器를 直接 發生器로 사용할 수도 있다. 그리고 주간에 蒐集한 太陽熱을 夜間에 사용할 경우 따로 蓄熱탱크를 사용하는데 이 때 저장되는 에너지는 發生器用 温水로 저장되기도 하며, 空氣調和機用 冷水로 저장되기도 한다.

温水로 저장하는 경우에는 蓄熱탱크를 熱交換器와 결하여 사용할 수 있으며, 冷暖房을 함께 하는 裝置에 주로 이용된다.

發生器, 吸收器, 蒸發器, 凝縮器 等 冷凍機를 構成하는 裝置는 一般 商用 吸收式 冷凍機의 그것과 構造가 같다.

Ⅲ. 吸收式 冷凍機의 槪要

A) 原理 및 成績係數

吸收式 冷凍機는 壓縮式 冷凍機와 비교하여 볼 때 作動流體로 冷媒와 함께 吸收劑라는 間接冷媒를 사용하는 점과 冷媒壓縮方式에서 機械的인 에너지를 사용하지 않고 熱에너지를 사용한다는 점이 다르다. 吸收式 冷凍機의 基本사이클은 Fig. 2에 표시한 것과 같고 여기에서 보면 冷凍效果는 蒸發器에서 冷媒가 증발하면서 이루어지며 이 증발된 冷媒는 吸收器에서 吸收劑와 混合하여 低溫低壓의 溶液으로 된다. 이 溶液은 펌프에 의하여 高壓으로 되어 發生器로 보내어진다. 이 發生器에서 熱을 받아 溶液은 증류되고, 高溫高壓의 冷媒는 凝縮器에 이르러 液化되며, 다시 팽창밸브를 통하여 低溫低壓의 액체냉매로 된 후 증발기로 보내진다. 한편 發生器에서 分離된 吸收劑는 다시 吸收器로 되돌아 간다. 이와 같은 과정을 반복함으로써 冷凍效果를 얻는 方式이 基本吸收冷凍方式이다.

이 冷凍方式의 理想的 사이클을 온도—엔트로피線圖에 나타내면 Fig. 3과 같이 된다. 吸收式 冷凍機의 成績係數는 冷凍放果를 發生器에서 加한 熱量으로 나눈 값이므로 이 線圖에서 理論的인 성적계수는

$$\mathrm{COP_{th}}=\left(\frac{T_g-T_a}{T_g}\right)\Big/\left(\frac{T_c-T_e}{T_e}\right) \qquad (1)$$

가 된다. 즉 理論 成績係數 $\mathrm{COP_{th}}$는 증발온도(T_e), 응축온도(T_c), 흡수온도(T_a), 발생온도(T_g)로 表示된다.

보통 空氣調和用으로 쓰이는 冷凍機의 設備條件으로는 T_e=6°C, $T_a=T_c$=40°C이므로 이 값을 式(1)에 代入하면 理論 成績係數는

$$\mathrm{COP_{th}}=8.7\left(1-\frac{313}{T_g}\right) \qquad (2)$$

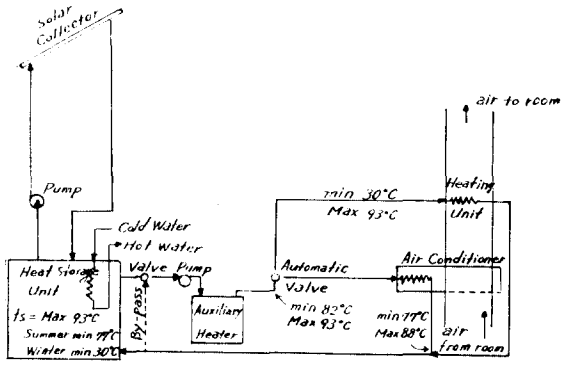

Fig. 3. Ideal cycle of absorption refrigeration

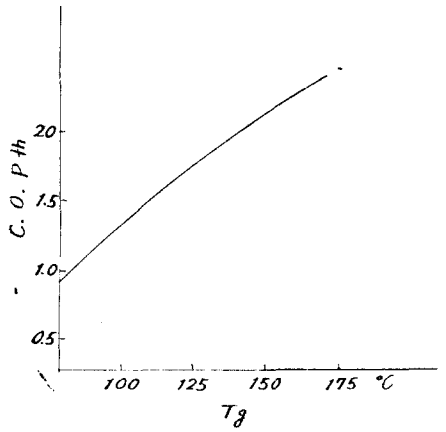

Fig. 4. Coefficient of performans vs. generator temperature.

과 같이 되는데 이것을 $\mathrm{COP_{th}}$와 T_g의 함수로 圖示하면 Fig. 4와 같이 된다.

그러나 실제의 成績係數는 이론적인 成績係數보다 많이 떨어진다.

그리고 이 吸收式 冷凍機의 에너지평형을 살펴 보면 Fig. 2에서

$$W/J+Q_g+Q_e=Q_a+Q_c \qquad (3)$$

이 된다. 여기에서 펌프에 의하여 加해지는 일 W는 發生器에 가해지는 熱量 Q_g와 비교할 때 극히 적으므로 이 吸收式 冷凍機의 主에너지源은 발생기에 加해지는 熱에너지인 것이다.

B) 種類

보통 空氣調和用으로 많이 사용되는 吸收式 冷凍機에는 H_2O—LiBr 式과 NH_3—H_2O 式의 두 가지가 있다.

① H_2O—LiBr 系 吸收式 冷凍機

현재 사용하고 있는 흡수식 냉동기의 거의 대부분은 물을 냉매로 한 LiBr 水溶液을 吸收劑로 사용한다. 이것은 비교적 低溫의 증기나 온수를 熱源으로 사용할 수 있으며 安全性이 높고 취급이 용이하다. 그리고 住宅冷房用의 小容量(2~40 RT)의 경우 펌프를 사용하지 않고 自然循環方式을 사용한다.

空氣調和用으로 사용할 때 蒸發온도는 7~8°C, 吸收器 및 凝縮器의 冷却水 溫度는 31~32°C로 보통 많이 設定하는데 증발온도를 높이고 冷却水 溫度를 낮추면 加熱溫度가 낮아진다. 그리고 冷凍負荷에 대하여 冷凍容量이 큰 冷凍機를 使用하면 加熱溫度를 낮출 수 있다.

이 冷凍機를 사용할 경우 發生溫度는 95~105°C, 凝

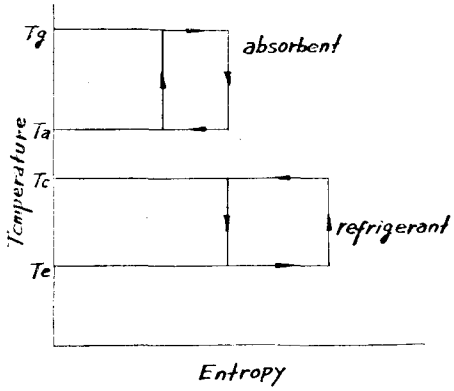

Fig. 5. Solar heating and cooling system Schematic diagram.

縮溫度는 42~45°C의 範圍로 되며 成績係數는 0.65~0.7, 1RT當 必要한 熱量은 4,300~4,650 kcal/RT·hr가 된다[1].

② NH_3—H_2O 系 吸收式 冷凍機

이 冷凍機에서는 冷媒로 NH_3, 吸收劑로 H_2O를 使用한다. 이 冷凍機에서는 發生器에서 암모니아증기와 수증기가 完全 分離되지 않아 이것을 分離하기 위하여 發生器와 凝縮器 사이에 精溜器(Rectifier)를 설치해야 하므로 構造가 복잡해진다. 그러나 小容量의 경우에는 精溜器와 펌프를 사용하지 않고 自然循環으로 하고 있다. 이 冷凍機는 冷媒가 結晶할 위험이 없으므로 보통 低溫用으로 많이 利用되나 裝置가 正壓으로 되어 있어 암모니아의 누설이 문제가 된다.

이 冷凍機의 성적계수는 一般的으로 H_2O—LiBr 系 冷凍機보다 작은 것으로 알려져 있으나 低溫加熱領域에서는 별로 연구가 되지 않고 있기 때문에 明確하지 않다.

그 외의 吸收式 冷凍機로는 H_2O—NaOH 系, NH_3—NH_4CHS 系 等 여러 가지가 있으나 아직 硏究가 進行중에 있고, 그 特性에 관해서는 아직도 알려지지 않고 있다.

Ⅳ. 太陽熱 冷房의 性能

太陽熱 冷房의 性能은 集熱器의 集熱效率과 冷凍機의 成績係數로 表示된다.

성적계수는 加熱溫度 等에 의해 영향을 받는데 加熱溫度가 높을 수록 COP는 높아진다. 이 加熱溫度는 集熱器에서 蒐集한 熱量에 따라 變하므로 集熱이 太陽熱 冷房에 큰 영향을 미친다.

太陽熱 冷房의 性能實驗은 보통 暖房과 함께 하는 冷暖房裝置로 美國의 Löf와 Tybout[4], Beckman과 Duffie[5] 等 많은 사람들에 의해 수행되어 왔는데, 그들의 실험결과로 太陽熱 冷房의 성능에 대하여 검토해 보기로 한다.

Fig. 5는 Löf와 Tybout에 의하여 설치된 太陽熱 冷暖房의 槪要圖를 表示한다. 여기에서 冷凍機는 H_2O—LiBr 系 吸收式 冷凍機이며, 冷凍容量은 10.55kW, COP는 0.6이다.

그러므로 集熱器에서의 集熱量은 최소한 17.58 kW 以上이어야 한다. 空氣調和機의 發生器는 溫水로 加熱되며 이 溫水는 82~93°C로 들어가서 5.5°C가 낮아진 상태로 발생기를 떠나 축열탱크로 돌아온다. 축열탱크의 溫水의 온도가 82°C 이하로 떨어지면 보조열원을 사용한다.

Löf 等은 이 장치를 사용하여 性能面에서 만족할만한 결과를 얻었다.

Beckman 等은 吸收式 空氣調和機를 가진 冷暖房裝置로 夏季冷房에 太陽에너지를 사용하였는데 5月에는 총냉방부하의 95%, 6月에는 63.5%, 7月에는 54.0%, 8月에는 63.3%를 태양열로 充當할 수 있었다는 결과를 發表했다.

그리고 Univ. of Wisconsin과 American-Saint Gobain Co는 共同으로 H_2O—LiBr 系 吸收式 冷凍機로 성능실험을 하였다[2].

이 實驗裝置는 Fig. 1에 표시되어 있는데 이 실험은 一般 商用 吸收式 冷凍機가 太陽熱을 이용한 冷房에 사용이 가능한가를 알아 보기 위한 실험이었다.

이 실험에서 發生器에의 加熱은 太陽熱에 의해 데운 空氣로 하였으며, 太陽熱 集熱器의 면적은 128 ft², 경사각은 28°(40° 위도)로 하였다. 이 실험에 의하면 加熱空氣의 溫度가 120°C일 경우 集熱效率은 대략 25% 정도가 되며, 이 空氣로 냉매를 증발시킬 만한 熱量을 發生器에 加熱할 수 있다는 결과가 나왔다. 그리고 集熱器傳熱媒體를 溫水로 바꾸어 실험한 결과 온수의 온도가 80°C 정도이면 COP를 0.6 정도로 할 수 있다는 결과가 나왔다.

이상과 같은 여러 가지의 實驗結果를 토대로 보면 실제로 太陽熱을 利用한 冷房은 可能하다는 결론이며, 그 性能도 괜찮다는 것을 알 수 있다.

그러나 경제성의 관점에서는 太陽熱 冷房은 아직 재래식 冷房에 뒤떨어져서 앞으로 태양열 냉방장치의 價格引下 문제가 중요한 課題이다.

경제성은 地域에 따른 기후조건, 冷房負荷 等에 따라 비교가 되겠지만 太陽熱 冷暖房을 겸용하는 裝置를 이용하면 有利하므로 앞으로 이 分野에 대한 研究가 바람직하다.

V. 問體點 및 結論

太陽熱 冷房에서 중요한 문제는 發生器의 加熱溫度를 낮추어도 높은 COP를 維持할 수 있도록 하는 것과 펌프 等의 보조동력을 적게 하는 것이다.

이 점은 太陽熱 冷房의 경제성을 向上시키기 위한 課題이다.

技術的인 문제로는 集熱器의 效率을 向上시켜 集熱量을 增加시키는 것과 發生器에서의 傳熱特性을 向上시키는 것이다. 그리고 補助動力은 冷凍負荷가 감소하여도 그 裝置內에서는 變하지 않으므로 이 動力을 적게 하는 裝置를 생각할 수 있으므로 이것도 앞으로의 研究對象이 된다.

그리고 冷凍機 자체의 特性으로 COP를 0.6 以上으로 向上시키는 것은 거의 힘들으므로 앞으로 冷凍方式에 대한 研究도 必要하다고 본다.

參 考 文 獻

1. 太陽熱冷暖房·給湯시스템의 研究, 日本空氣調和·衛生工學會, 1975.
2. A.M. Zarem and D.D. Erway, Introduction to the Utilization of Solar Energy, McGraw-Hill, New York, 1963.
3. Northrup Solar Collector Catalogue, Northrup Inc, Texas, 1975.
4. G.O.G. Löf and R.A. Tybout, The Design and Cost of Optimized Systems for Residential Heating and Cooling by Solar Energy, Solar Energy, Vol. 16, pp. 9—18, 1974.
5. R.L. Oonk, W.A. Beckman and J.A. Duffie, Modeling of the CSU Heating/Cooling System, Solar Energy, Vol. 17, pp. 21—28, 1975.