

히트파이프와 에너지節約技術에의 應用

Heat Pipe and Its Application to Energy Saving

徐 正 閔*
Jeong Yun Seo

1. 緒 論

히트파이프(heat pipe)의 原理는 1944年 美國 G. E社의 R. S. Gaugler에 의해서 發想된 것인데 그의 提案에 의하면 閉鎖된 管에 作動 流體를 液相과 氣相이 共存하는 狀態로 封入 하고 管의 兩端에서 溫度差를 갖게 하면 液體는 高溫部에서 蒸發하여 蒸氣가 되면서 低溫部로 유동하며 여기서 冷却되면 蒸氣는 潛熱을 管에 전한 다음 液體로 되돌아간다. 이때 이 凝縮液은 毛細管力을 이용하여 蒸發部로 되돌아 가도록 하여 流體의 cycle을 構成시키면 連續的인 熱輸送이 可能케 된다는 것이다.

그러나 當時의 技術水準으로는 實用化를 시키지 못하였다. 이와는 獨立的으로 1960年初 美國 Los Alamos 研究所의 G. M. Grover 등은 이것에 heat pipe라고 命名하여 研究를 開始하였다.^{1,2)} 즉, 이들은 heat pipe의 우수한 熱傳達 能力과 높은 信賴性에 注目하여 이것을 宇宙用 熱制御素子로 使用할 것을 提案하였다. 그후 heat pipe는 美國의 宇宙開發進展과 더불어 현저한 發展을 하게 됨으로써 動作 理論, 製造法, 材料의 適合性 등 技術基盤이 確立되게 되었다. 이와 같이 하여 heat pipe는 人工衛星의 많은 부분에 應用되어 宇宙用 熱傳達 素子로서 不可缺한 地位를 차지하기에

이르렀다. 이 宇宙用 heat pipe는 다시 大型 宇宙船의 熱制御 system으로서 capillary pipe나 pump 驅動 heat pipe 등의 概念에 擴張되어 새로운 發展期에 접어들게 되었다. 한편 이 技術的 成果는 地上用 傳熱機器로서도 注目을 받게 되어 70年代 中盤부터는 排熱回收用 熱交換器에서의 利用이나 集積回路의 除熱, moter의 冷却, electronics나 電機製品의 除熱 등을 위한 利用, 이 밖에 solar system의 太陽熱 集熱器, 地熱利用의 道路融雪 등 그 應用分野는 점차 擴大되고 있다.^{3,4)} 특히 heat pipe式 熱交換器는 中低溫領域의 gas-gas 熱交換 또는 排熱回收用으로서 우수한 特徵을 갖고 있다. 그러나 利用 system의 開發 研究에 대한 歷史가 짧기 때문에 本格的인 普及은 앞으로의 과제가 될 것이다.

本論에서는 먼저 heat pipe의 動作原理를 簡略하게 설명하고 다음에 주로 地上의 民需用 機器에서 그 應用 實態를 살펴보기로 한다.

2. 히트 파이프

2.1 히트 파이프의 構造

Heat pipe는 密閉된 管內에 作動流體를 封入한 것이며 作動流體가 相變化를 하면서 管內을 循環하는 동안 潛熱을 媒介로 하여 熱을

* 正會員, 仁荷大學校 工科大學 機械工學科

輸送하는 裝置이다.

流體를 驅動시키는 方法으로서는 毛細管力이나 重力이 利用되는데 重力을 이용하는 것은 thermo-syphon이라고 하기도 한다.

毛細管力을 이용하는 경우에는 管의 內面에 多孔性 物質로 된 層을 붙이게 되는데 이와 같은 毛細管力을 발생하는 構造를 wick 라고 한다. 따라서 보통 heat pipe는 管(container) 作動流體(working fluid), 毛細管 構造(wick)로 構成된다.

2.2 動作原理와 形式

Heat pipe의 動作樣相을 表示하면 그림 1과 같다. 液은 加熱部(蒸發部)에서 蒸發하며 發生한 蒸氣는 管內中空部를 지나 放熱部(凝縮部)에 도달하면 여기서 凝縮하여 潛熱을 系外에 放出하게 된다. 凝縮한 液은 wick의 毛細管作用에 의해서 加熱部로 되돌아 간다. 이와 같이 heat pipe는 流體의 cycle을 통해서 熱을 加熱部에서 放熱部로 輸送한다. 즉 加熱部에서 heat pipe에 가해진 熱은 相變化에 의한 enthalpy의 增加, 즉 氣化熱의 形態로 流體에 傳達된다. 그리고 蒸氣의 흐름으로 enthalpy는 放熱部에 運搬된다. 放熱部에서는 凝縮熱의 形態로 流體로부터 熱이 放出되어 heat pipe의 系外로 이동된다.^{4,5)}

그리고 作動液의 還流 方法에는 毛細管力以外에 遠心力 利用의 回轉式 heat pump⁶⁾나 重力利用의 thermo-syphon 등이 있다.⁷⁾

熱에너지가 流體의 運動에너지로 變換되는 機構는 heat pipe의 種類에 따라 달라진다.

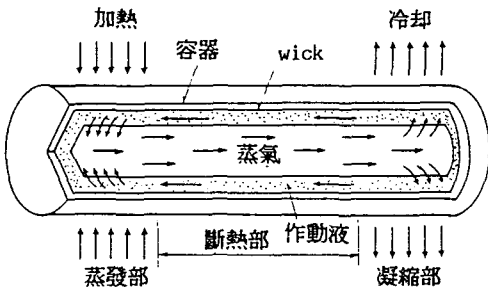


그림 1. Wick를 사용한 heat pipe

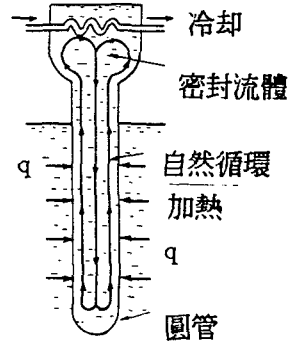


그림 2. Thermo-syphon

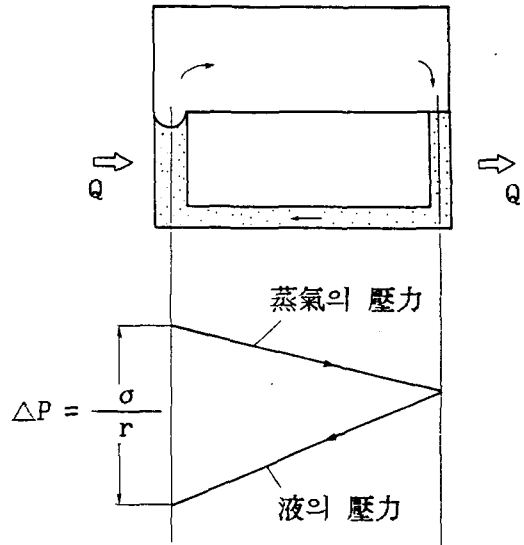


그림 3. 毛細管力에 의한 흐름

특히 重力型 heat pipe, 즉 thermo-syphon에 의해 流體가 驅動되는 것은 蒸氣와 液의 密度差에 의한 것이며 原理的으로는 自然對流와 同一하다(그림 2 參照). Wick型 heat pipe의 경우, 流體의 循環이 일어나는 機構를 表示하면 그림 3과 같다.

加熱部에서는 液이 蒸發하여 줄어들기 때문에 液에 凹面이 생긴다. 이와 같은 凹面은 境界로 하여 氣相과 液相이 共存하는 경우에는 表面張力에 의해서 凹側의 液의 壓力은 蒸氣의 壓力보다 낮아진다. 이것이 毛細管壓力이며 曲率半徑이 작을수록 毛細管 壓力은 크다. 한편 凝縮部の 氣液界面의 形狀은 蒸發部에 비하면 平坦하며 氣液의 壓力差는 작다.

따라서 그림 3과 같은 壓力分布가 되며 蒸氣는 蒸發部에서부터 凝縮部로, 液은 凝縮部에서부터 蒸發部로 흐르게 된다. 熱輸送量이 增大하면 流體의 流量도 比例하여 增大하므로 必要한 毛細管 壓力이 커지며 凹面의 曲率도 커진다. 그러나 wick 形狀에 따라 얻어지는 最大曲率은 定해져 있으므로 流體의 流量, 즉 熱輸送량에도 上限値가 있게 된다.

이것을 heat pipe의 最大 熱輸送力이라고 한다. Heat pipe를 熱交換器의 element로서 使

用하는 경우, 보통은 그림 4(a)와 같이 中間에 baffle板을 두고 半은 高溫側 流體(排熱系)에 接하고 反對쪽의 半은 低溫側 流體(回收系)와 接하게 되는 單管式이 보통이다.

이 밖에 screen式, 分離型 screen式의 形式이 있다. 分離型 screen式은 gas量이 많고 高溫側 element의 dust附着, 腐蝕으로 因한 清掃 및 交替를 해야하는 必要性 때문에 熱風爐 排出 gas의 熱回收裝置로서 1982年에 開發되었다.⁸⁾

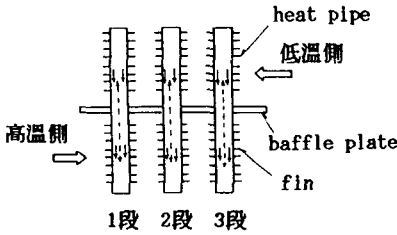
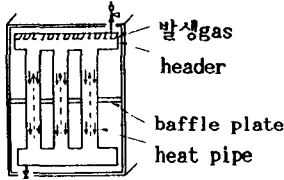
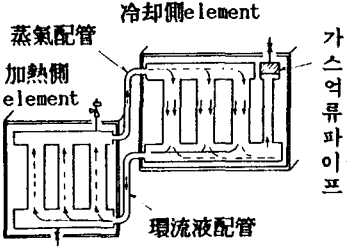
(a) 單管式	(b) Screen式	(c) 分離型 screen式
		
<p>密封式單管 heat pipe 要素의 集合</p>	<p>가스흐름과 直角方向의 heat pipe群을 上下 header로 連結</p>	<p>Screen heat pipe의 加熱側 要素와 冷却側 要素를 分離하여, 循環管으로 連結</p>

그림 4. Heat pipe式 熱交換器의 形式

2.3 히트 파이프의 特徵

一般的으로 heat pipe式 熱交換器의 特徵을 열거하면 다음과 같다.^{3, 9, 10)}

1) 驅動部가 없으므로 動力이 不必要하고 고장이 적으며 運轉費나 補修維持 등에서 유리하다.

2) 高溫 및 低溫쪽의 流體는 모두 管外面을 흐르기 때문에 壓力損失 및 送排風機의 所要 動力도 적다.

3) 全體 熱傳達係數가 크며 單位 體積當 傳熱面積을 크게 할 수 있기 때문에 小型, 輕量化를 도모할 수 있다.

4) 流體相互間의 漏洩이 없다.

5) 構造가 비교적 簡單하며 heat pipe의 改修 및 傳熱面積을 所定의 性能에 맞게 選擇할 수 있다. 그리고 dust의 除去가 비교적 容易하다.

6) 作動液의 選擇에 따라 여러가지 溫度條件下에서 使用할 수 있다. 그런데 使用媒體의 物性에 따라 使用溫度 範圍는 制約을 받는다.

7) 作動液의 循環作用의 制約 때문에 熱輸送能力에는 限界가 있다.

2.4 選定에 있어서 檢討되어야 할 事項

(1) 使用溫度 範圍

Heat pipe의 使用溫度範圍는 作動液과 管材料의 特性에 따라 결정된다. 實用化되고 있

는 作動液에는 물, Freon, Alcohol, Sodium 등의 一性分系와 Dowtherm A(diphenyl系)의 共晶體 등이 있다.

이 중에서 가장 많이 이용되고 있는 것은 물이며 銅管體 pipe 材料와의 組合에 따라 溫度範圍는 30~200°C가 된다. 鐵-銅 clad 材料에서는 160~320°C로 溫度를 높일 수 있다. 高溫用에서는 Natrium을 作動液으로 하며 450~800°C의 溫度範圍에서 이용된다.³⁾

(2) 熱輸送限界

Heat pipe를 正常的으로 作動시키기 위해서는 作動液을 循環시키야 하는데 作動液의 循環 作用에는 熱負荷의 增加에 따라 毛細管限界, 飛散限界, 沸騰限界 등으로 설명되는 複雜한 物理現象에 의한 熱輸送限界가 存在한다.⁴⁾

이 限界를 넘는 溫度나 熱負荷를 加하면 heat pipe의 性能은 顯著하게 떨어진다. 따라서 使用條件에 대해서는 충분한 검토가 要望된다.

3. 히트 파이프의 作用

3.1 熱의 輸送

낮은 溫度差로 큰 熱量輸送이 可能하다는 것은 heat pipe의 基本的인 機能이다. Heat pipe의 應用은 거의 대부분이 이 熱輸送能力에 依存하고 있다. 熱을 輸送하는 目的에 따라 다음의 3 경우로 分類할 수 있다. 즉,

1) 첫째는 熱의 取得, 혹은 回收의 경우이며 solar collector나 廢熱回收 등의 에너지 關聯分野에서의 利用 및 融雪, 換氣用 熱交換器 등이 이에 相當한다.

2) 다음은 熱의 除去의 경우이며 電子機器의 冷却이나 人工衛星의 放熱系 등에 利用한다.

3) 세째는 等溫化의 경우이며 爐容器의 熱應力의 除去, 金型, 料理用 hot plate 등의 應用 例를 들 수 있다.

(1) 排熱回收

排熱回收는 heat pipe의 應用이 가장 成功的으로 적용된 分野의 하나이며 容量, 形式에 있어서 다양하다.

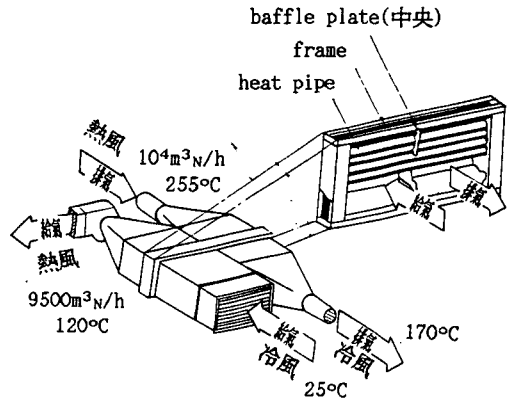


그림 5. 空氣豫熱用 heat pipe式 熱交換器의 構造

그림 5는 基本的인 排熱回收 熱交換器의 例를 표시한다. 즉, 2드럼水管式 보일러(蒸發量 12ton/h)에서 燈油 燃燒排氣가스의 濕熱로 空氣豫熱을 하는 例이다. 여기서 作動液은 물이며 fin이 붙은 heat pipe를 使用하였다. Heat pipe는 高溫쪽의 廢棄가스의 流路和 低溫쪽의 新鮮한 空氣의 流路를 막는 壁을 貫通하여 配設되어 있다. Heat pipe는 高溫部에 插入된 部分이 蒸發部이고 低溫部가 凝縮部가 된다. 地上에서는 重力에 의해서 凝縮部를 環流시키는 thermo-syphon type이 보통이며 凝縮部는 蒸發部보다 높은 位置에 자리잡게 된다. 따라서 垂直으로 設置되는 heat pipe에서는 윗 部分이 凝縮部가 되며 水平하게 설치된 heat pipe에서는 약간 기울어지게 설치하여 凝縮部를 上方部에 두는 것이 대부분이다. 그림 6은 分離型 heat pipe를 나타내며 蒸發部和 凝縮部가 分離되는데 이것들은 각각 蒸氣管과 凝縮液管에 의해 loop形으로 연결된다. 그림 7은 流動層과 heat pipe를 組合시킨 排熱回收用 熱交換器를 나타낸다. 流動層에 의해서 매우 높은 熱傳達性能이 얻어지며, 동시에 廢棄 gas중에 包含되는 汚損物質이 heat pipe 表面에 附着하는 것을 防止할 수 있다. 그림 8에는 回轉 heat pipe를 使用한 熱交換器를 例示하였다. 遠心力에 의해서 凝縮液의 還流가 促進되므로 큰 熱負荷를 얻을 수 있다. 그림 9는 역시 排熱回收의 例이지만 gas對 gas 熱交換器가 아니라 高溫部는 hot slab이고,

低溫部는 보일러인 경우의 예이다. 이 경우 heat pipe는 비교적 약한 輻射熱을 모아서 보일러에 輸送하는 작용을 하게 된다.

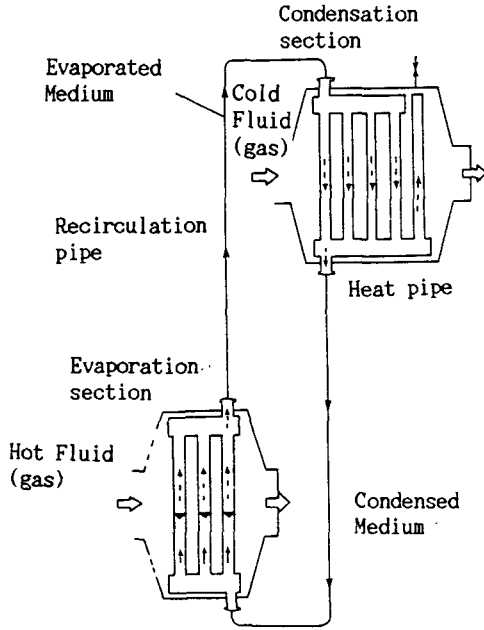


그림 6. 分離型 heat pipe

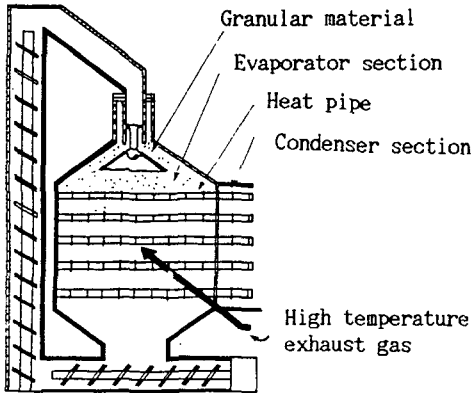


그림 7. 流動層 熱交換器

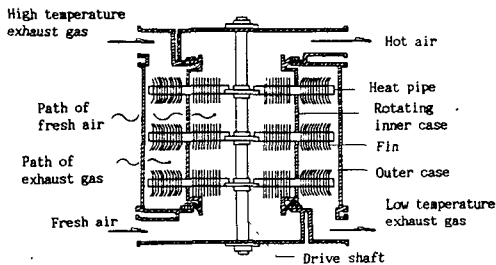


그림 8. 回轉 heat pipe

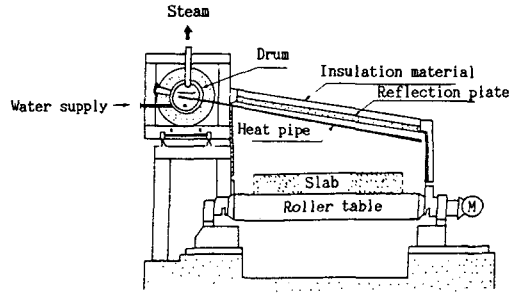


그림 9. 廢熱回收보일러

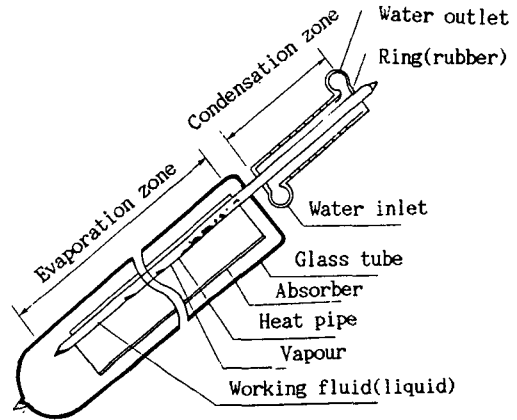


그림 10. Solar collector

(2) Solar Collector

Solar collector에는 用途, 溫度水準에 따라 각종 方式이 있는데, 그림 10은 眞空管 方式 solar collector를 표시한다. 集熱部는 反射板 集熱板을 갖는 眞空管으로 구성된다.

太陽光은 反射板에 의해 集光되어 集熱板을 加熱한다. 集熱板은 選擇 吸收膜으로 被覆되어, 眞空管에 내장되어 있으므로 周圍를 向한 熱損失은 적다.

Heat pipe의 한 끝은 集熱板에 裝着되고 다른 한 끝은 冷却水管에 挿入되어 있으며 集熱板의 熱을 모아 물에 전달한다. 이 熱水는 蓄熱槽에 저장되어 給湯, 暖房 등에 使用된다.

(3) 電子機器의 冷却

Heat pipe를 電子機器의 冷却에 使用한 例 가운데 여기서는 電力用 素子の 冷却과 密閉 筐體(basket) 冷却用 熱交換器에 대해 例示하기로 한다.¹¹⁾ 그림 11은 多數의 얇은 空冷 fin을 갖는 heat pipe를 heat sink로 使用하고 있는 例이다. Heat pipe에 의해서 모든 fin에

效率的으로 熱이 전달되므로 얇은 fin을 密度 높게 使用할 수 있으며 heat sink의 輕量化, 小型化가 可能하다. 그림12는 thermo syphon 內에 電力用素子를 內장시킨 例이다. 그림11의 경우보다 더 높은 熱流束을 얻을 수 있다. 그림13은 密閉管體用 heat pipe 熱交換器의 例을 표시한다. 管體內에서의 發熱은 隔壁을 貫通한 heat pipe에 의해서 管體 밖으로 排熱하게 되므로 換氣를 시킬 必要가 없으며 管體의 密閉化가 可能하다. 砂塵이나 鹽風이 있는 屋外나 먼지가 많은 工場現場 등에 設置되는 機器에 應用된다.

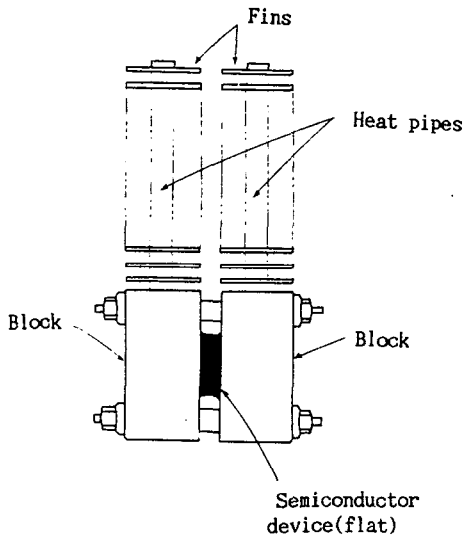


그림 11. Power device의 冷却

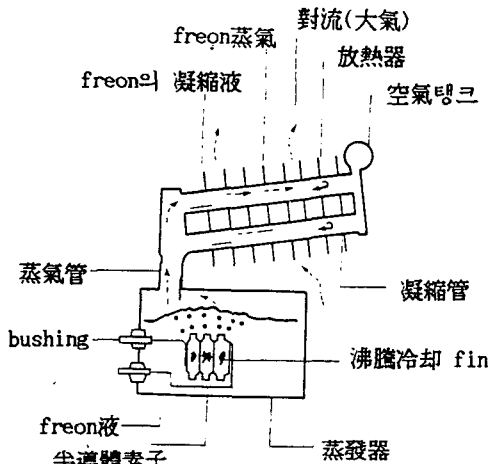


그림 12. Power device의 沸騰冷却

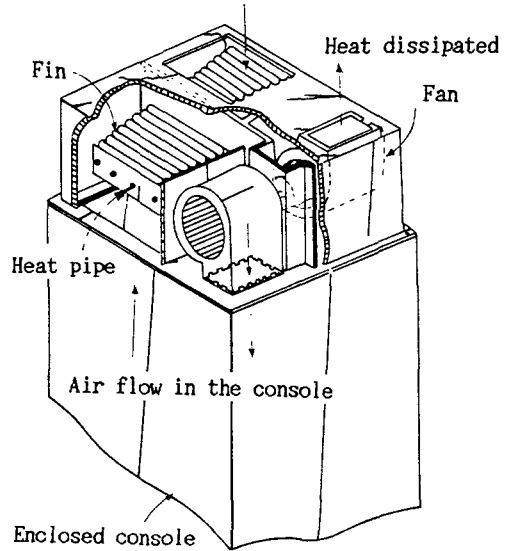


그림 13. 密閉管體 冷却用熱交換器

(4) 放熱板의 等溫化

Heat pipe에서는 作動流體가 管內非平衡狀態를 解消하는 方向으로 蒸發, 凝縮, 흐름이 일어나므로 本質的으로는 均等熱素子로서의 性格을 갖는다. 이러한 特徵이 잘 나타나는 應用例로서는 人工衛星의 放熱板에서의 應用을 들 수 있다. 放送衛星用 TWT 搭載 panel의 例를 그림 14에 표시하였다. Heat pipe는 그림에 표시된 바와 같이 panel에 붙어 있을 뿐만 아니라 이것과 直交가 되게, panel에도 묻혀 있다. 이와 같이 格子狀으로 配設된 heat pipe에 의해서 panel 全面은 等溫化되며 따라서 panel 全面을 放熱面으로서 有效하게 利用할 수 있게 된다.

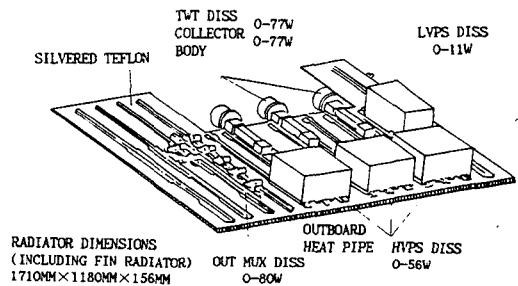


그림 14. 人工衛星의 放熱板

3.2 Thermal diode

Thermo-syphon은 重力에 의해서 液의 環流가 이루어지므로 凝縮部가 上部에 있을 때만 heat pipe로서 動作하며 逆方向에서는 heat pipe로서의 機能을 發揮할 수 없다. 이 性質을 積極的으로 利用하는 경우도 있다. 그림 15는 thermo-syphon을 應用한 磁氣冷凍機의 構成을 表示한다. Gadolinium Gallium Garnet (G. G. G)에 磁場을 부여하면 溫度가 上昇한다. 이때 GGG에서는 helium gas에 의해 熱을 除去하며 그후 磁場을 除去하면 GGG는 4.2K의 液體 helium 溫度以下로 내려가며 reservoir의 helium gas를 液化한다. 이들 過程에서 thermo-syphon은 GGG가 液體 helium 溫度以下가 되었을 때만 heat pipe 로서 작동하게 되며 따라서 thermal diode 로서의 性質을 교묘하게 이용한 例가 된다.

3.3 溫度制御

Heat pipe 內의 蒸氣와 液體는 平衡狀態, 즉 飽和狀態에 있다고 생각할 수 있다. 따라서

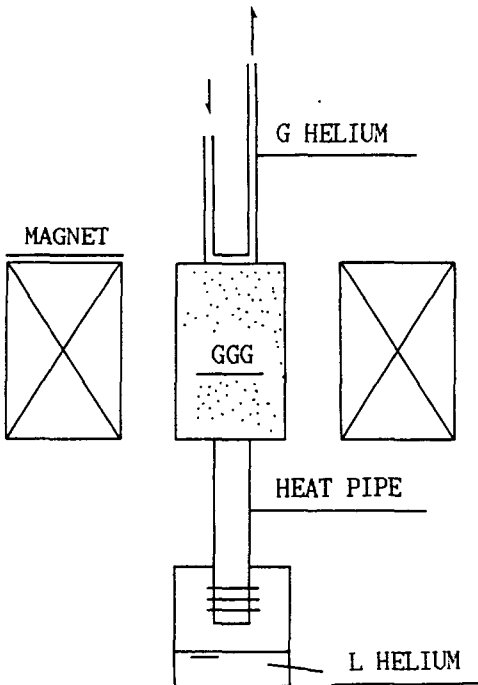


그림 15. Thermal diode의 應用

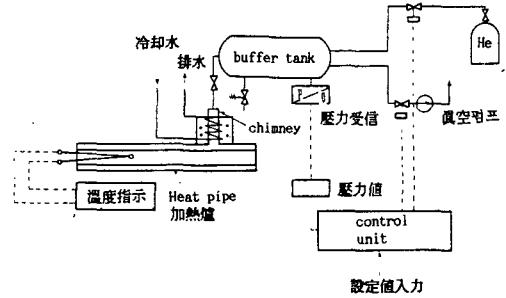


그림 16. 恒温槽

heat pipe의 壓力을 外部로부터 制御하면 heat pipe의 溫度를, 對應하는 飽和溫度로 設定할 수 있다. 이 原理를 利用한 恒温槽가 試作되게 되어 10^{-4} K라는 매우 높은 溫度設定의 精度를 얻고 있다. 그림 16은 이 恒温槽의 構成을 표시한다.

3.4 熱機關

流體의 相變化를 동반하는 loop에 의해 熱을 輸送하는 系인 heat pipe는 一種의 Rankine cycle을 구성하며 流體의 運動이라는 機械的動力을 발생하게 되므로 이것을 外部로 끌어내어 熱機關으로서 作動시키려는 試圖도 있다. 가장 일반적인 方法은 內部에 turbine을 設置하는 方法이 되는데 여기서는 thermal shutter를 使用한 heat pipe機關을 소개하면 그림 17과 같이 蒸發部와 凝縮部를 교대로 斷熱시킴으로써 動力을 얻을 수 있다.

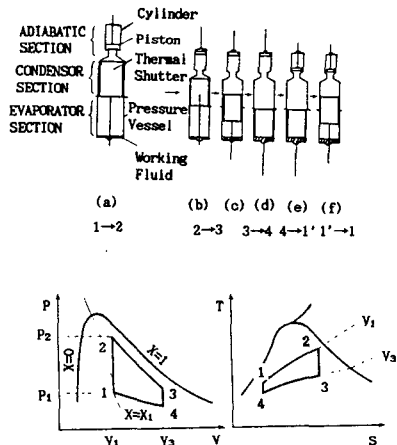


그림 17. Heat pipe engine

3.5 Road Heating-融雪 system

地熱, 地下水 혹은 溫泉水 등을 熱源으로 하여 道路의 融雪에 heat pipe를 이용하는 方法이 일찍부터 檢討되어 왔다. 특히 地熱은 地表로부터 깊이 7m 以上에서는 1年을 통해 거의 변하지 않으며 또 7~20m 깊이에서는 그 地方의 年間 平均氣溫과 거의 같다. 따라서 이 土壤이 갖는 熱에너지를 heat pipe를 써서 地表에 전하고자 하는 것이며 그림 18과 같이 多數의 heat pipe를 땅속 5~15m 깊이에 埋設하여 使用한다.¹²⁾ 그러나 이 方法은 heat pipe의 boring 工事費가 높고, 또 土壤自體의 熱傳導性이 不良하고 土壤 熱에너지의 回復力 등에 문제가 있기 때문에 規模가 큰 實施例은 아직 없다.¹³⁾ 地下水를 利用한 것으로는 그림 19와 같이 壓縮式 heat pump와 heat pipe를 組合하여 利用하는 例도 있다.¹³⁾ 溫泉水를 利用하는 system은 道路의 車道境界에 溫泉水를 흘려보내는 基幹 pipe를 設置하여 이 pipe로부터 左右를 herring bone 形態로 heat pipe를 배치하여 溫水의 熱을 循環시켜 路面全體를 덩게 하는 方法이다. 이 方法은 溫泉地域을 中心으로 보급될 것으로 생각된다.

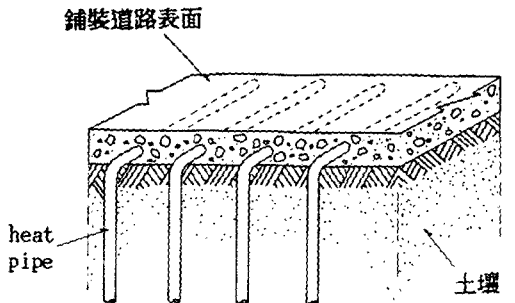


그림 18. Heat pipe를 利用한 融雪·除氷 system

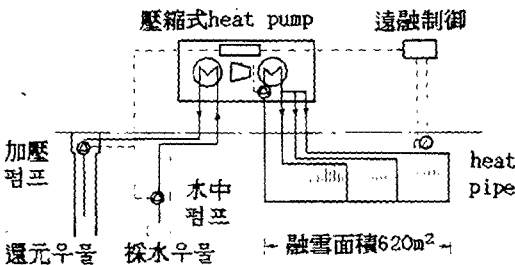


그림 19. Heat pump와 의 組合에 의한 融雪 system

3.6 蓄冷 system

蓄熱式 空調 system은 에너지 利用의 效率化라는 觀點에서 볼 때 매우 效果的인 에너지 節約 system이 된다.¹⁴⁾ 基本的인 方式은 그림 20과 같이 變動하는 空調負荷에 대해서 效率的인 冷凍機의 連續의 一定運轉을 실시하는 데 있다. 그림에서 C로 표시된 夜間運轉의 冷熱을 晝間의 需要에 대비하여 蓄熱해 둘 必要가 있다. 이 蓄熱에는 冷水를 使用하는 方法과 水蓄熱法이 있으며 水蓄熱은 冷水의 경우와 비교하면 蓄熱槽의 容積에 있어서 1/6~1/8로 超小型化를 도모할 수 있는 利點이 있다. 이 水蓄熱에 heat pipe를 利用하여 效率化를 도모한 것이 heat pipe 水蓄熱 system이다. 이 system의 原理를 표시하면 그림 21과 같다.

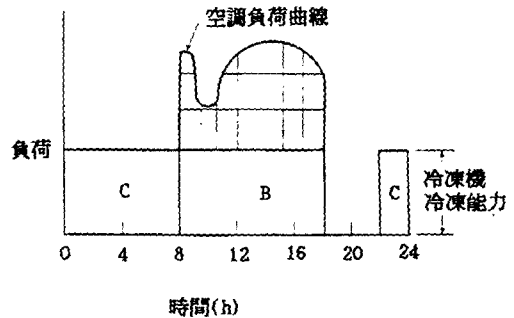


그림 20. 蓄熱式空調蓄熱 system의 運轉 pattern

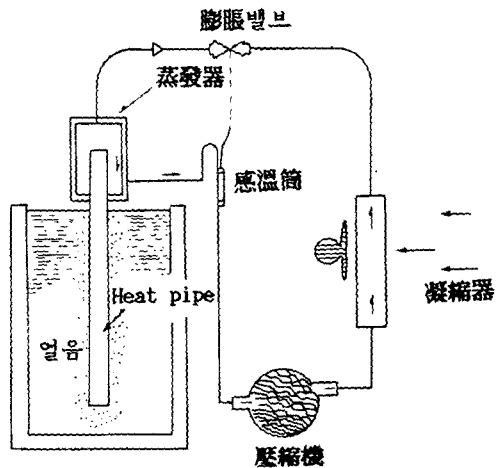


그림 21. Heat pipe 水蓄熱 system flow

Heat pipe는 수직으로 설치되어 上部의 蒸發器에서 冷媒가스와 heat pipe는 熱交換을 하며 蓄熱槽 中の heat pipe 下部에서는 얼음이 형성하게 된다. 이 方式에서는 다음과 같은 利點이 있는 것으로 생각되고 있다.

1) Heat pipe의 等溫性, 高速熱傳達에 의해서 單位面積當 製氷量이 증가하므로 裝置를 小型化 할 수 있다.

2) 全體의 system이 간단해진다.

3) 製氷時에 특별한 自動制御는 不必要하다.

4) Heat pipe가 損傷되어도 裝置全體에 故障를 주지 않는다.

이 蓄冷 system에서는 heat pipe의 利用은 이제 시작단계에 있으며 다른 應用 例와 마찬가지로 無動力, 等溫性이라는 heat pipe의 利點을 活用하는데 있는 만큼 앞으로 이것들의 經濟性, 機器信賴性의 評價가 됨에 따라 매우 有望한 應用分野가 되리라고 생각된다.

4. 結 論

本稿에서는 먼저 heat pipe에 대한 구조와 原理에 대해서 간단히 言及하면서 heat pipe의 에너지 開發利用法으로서 熱回收에 대한 應用, 熱에너지의 有效利用 및 에너지의 效率化를 도모한 각종 應用에 대해서 그 一部를 例示·說明하였다.

원래 heat pipe는 宇宙用傳熱素子로서 開發된 것이지만 그 우수한 傳熱特性에 注目하여 地上에서도 급속하게 그 應用範圍가 擴大되면서 熱移動 素子로서 不可缺한 것이 되었다. 그런데 經濟적으로 價値가 없는 利用法은 거의 拋棄될 것이지만 熱流束의 變換機能이나 熱만을 이동하는 安全性·등에 注目하여 새로운 利用法을 앞으로 계속 검토하는 일에는 큰 뜻이 있다고 생각된다.

끝으로 最近의 研究開發動向에 대해서는 文獻 15, 16, 17, 18 등을 參照하기 바란다.

參 考 文 獻

1. 大島耕一, 松下正, 村上正秀, ヒートパイプ工學, 朝倉書店, 1979.
2. Dunn, P. D. and Reay, D. A., Heat Pipes 2nd Edition, Pergamon Press, 1978.
3. 本田一郎, 多様化するヒートパイプとその利用技術, 省エネルギー, 33, 5, 1, 1981.
4. 大谷茂盛, 戸郁郎, 省エボルギー機器としてのヒートパイプ, エネルギー・資源, 2, 1, 64, 1981.
5. (株)總合技術センター出版事業部編, 排熱機器の開發・設計と排熱利用技術, (株)總合技術センター, 1984.
6. 金子博太郎, 回轉式ヒートパイプ熱交換器の開發とその適用, 省エネルギー, 33, 5, 33, 1981.
7. 省エネルギーセンター編, 高性能熱交換器データブック, 省エネルギーセンター, 1979.
8. 梶川脩二, 小西二郎, ヒートパイプを利用した熱風爐の排熱回收, 省エネルギー, 34, 10, 69, 1982.
9. 高鹽治男, ヒートパイプ式熱交換器を利用したボイラーの空氣豫熱, 省エネルギー, 33, 5, 25, 1981.
10. 駒形 勝, 原敬一, ヒートパイプ式熱交換器によるイソフロー加熱爐・ボイラーの空氣豫熱, 省エネルギー臨時増刊, 35, 3, 29, 1983.
11. 村瀬高志他, ヒートパイプ式半導體放熱器「ヒートキツカ」古河電工時報, 第71號, pp.19~28, 1981.
12. 田中 修, 地熱・溫泉熱利用におけるヒートパイプの應用, 省エネルギー, 33, 5, 43, 1981.
13. 賛川 潤, 古谷修一, 小泉達也, ヒートパイプとその省エボルギー技術への應用, エネルギー・資源, 6, 1, 109, 1985.
14. 吉田正三, 川上司郎, ヒートパイプ氷蓄熱による省エネルギー空調システムの開發技術研究發表會論文集, (株)鴻池組, pp.55~71, 1984.
15. D. A. Reay, Advances in Heat Pipe Technology, Pergamon Press, 1981.
16. Oshima, K., Kobayashi, Y., Murakami,

M. and Negishi, K., Reserch and Deve-
lopment of Heat Pipe Technology, JAT-
EC, 1984.

17. ヒートパイプ協会設立記念論文集, ヒート
パイプ協会, 1982.
18. ヒートパイプの最近の進歩と展望, ヒート
パイプ協会, 1983.