

# 有機熱媒體에 의한 熱에너지의 回收利用

## Thermal Energy Recovery by Inorganic Fluids

盧 承 卓\*  
Sung Tack Ro

### 1. 序 論

에너지 問題의 重要性은 새삼스럽게 再論하여 強調할 必要는 없다. 에너지 問題를 解決하는 根源的인 方法은 값이 싼 새로운 에너지 源을 發見, 發明하는 것이겠으나 現在의 短期的 次元에서는 可及的 에너지를 効率的으로 利用하는 것이다.

에너지의 効率的 利用에서는 單純한 에너지의 量的 均衡만을 考慮할 것이 아니라 變換過程에서의 質的 變化를 考慮해야 한다는 것은 잘 알려진 事實이다. 흔히 많이 使用되는 石油나 石炭과 같은 高級의 燃料에너지로부터 比較的 低溫에서의 熱에너지가 必要할 때 소위 말하는 熱併合發電 등의 方式으로 動力을 먼저 生産하고 이에 隨伴하여 熱에너지를 利用하는 것이다. 이와 같은 方式은 世界 各國에서는 勿論 우리나라에서도 漸次 그 重要性이 높아지고 있다. 그러나 具體的인 使用方式이 燃料에너지-스팀터빈 發電-熱에너지利用의 方式에 局限되어 있다. 熱에너지를 効率的으로 利用하는 過程에서 考慮하여야만 하는 重要한 要素中的 하나는 熱傳達過程에서의 溫度差에 의한 非可逆的 損失을 可及的 줄이는 것이다. 이러한 現象은 熱併合發電과 같은 方式

에서 뿐만 아니라 一般的인 熱源이나 廢熱 등의 熱源을 利用하는 어느 경우에나 必要한 것이다. 여기에 適合한 熱傳達 媒質이 有機流體로서 여러가지 長點을 가지고 있다. 특히 比較的 높은 溫度에서도 낮은 蒸氣壓을 가지기 때문에 各種 機器의 壓力을 낮게 設計 製作할 수 있으므로 熱設備의 投資費用이 작아지는 利點이 있어서 에너지의 効率的 利用에 크게 寄與할 것으로 생각되기 때문에 各種 有機流體에 대한 資料를 拔萃 紹介하고자 한다.

### 2. 有機熱媒體의 利用

지난 數年間에 各種의 加熱工程에 熱傳達 媒質로서 有機流體가 急速하게 使用되어 왔으며 앞으로도 많은 分野에 應用이 될 것으로 보인다. 이러한 有機流體를 使用하는 주된 利點은 高溫에서 流體의 飽和 蒸氣壓이 比較的 낮은 것이다. 100℃ 以上에서 水蒸氣나 高溫水를 使用하기 위해서는 所要壓力까지 上昇시켜야 한다. 예를 들면 250℃에서 作動되는 水蒸氣 시스템에서는 壓力이 40.5atm이 되어야 하지만 有機流體를 使用하면 流體의 種類에 따라 다르기는 하나 大氣壓에서 250℃로 作動시킬 수도 있다.

\* 正會員, 서울大學校 工科大學

有機流體를 熱傳達 媒質로 使用하는데 있어서 주된 經濟的 利點은 水蒸氣나 많은 다른 蒸氣를 使用하는 경우에 비하여 設置費 및 運轉費가 적게 드는 것이다. 低壓을 使用하는 시스템에서는 高壓인 경우보다 시스템費用이 低廉해진다. 예를 들면 蒸氣管의 크기, 플래시 드럼, 安全 밸브와 壓力 調節裝置 등에서 시스템 費用의 25~30%까지 節減이 可能하다. 또 低壓 시스템의 運轉에서는 維持費用이 적게 들고 配管에서의 凝結 熱損失이 적어지고 運轉에 必要한 技術 資格者에 대한 制限이 緩和된다.

有機流體를 熱傳達 媒質로 使用할 수 있는 分野는 대단히 廣範圍하다. 이들 중의 예를 들면 다음과 같다.

- 石油의 精製
- 監水의 濃縮 및 蒸溜
- 各種 油類 탱크의 加熱
- 合成纖維의 製造
- 어닐링 등 金屬의 熱處理
- 고무, 플라스틱 및 製紙工程에서의 加熱
- 알키드(Alkyd) 페인트 및 樹脂容器 加熱
- 各種 化學工程에서의 加熱
- 廢熱 回收裝置
- 大型 빌딩의 暖房
- 下部 사이클로서의 터어빈 流體

많은 種類의 有機熱傳達媒體가 現在 使用되고 있으며 特定 시스템에 使用하기 위하여는 作動溫度를 考慮하여야 한다. 어느 溫度 範圍에 있어서나 約 400℃ 程度까지에서 均一한 加熱을 行하는 시스템에 有機流體를 使用할 수 있으며 또한 精密한 溫度 調節이 可能하고 加熱이나 冷却의 需要에 따르는 迅速한 變化가 可能하다.

有機流體는 주로 工程用 熱媒體로 많이 使用되고 있으나 에너지의 效率的 利用이라는 點에서 특히 重要的 랭킨 사이클과 같은 下부 사이클의 媒體로서도 適合하다.

### 3. 有機熱媒體 加熱 시스템設計에서의 着眼點

流體 熱傳達 設計에 있어서는 特別하게 複雜한 問題點은 없으나 다음의 몇 가지를 考慮함으로써 效率를 높이고 使用中의 問題點 發生을 줄이며 低飽和蒸氣壓 流體를 使用하는 利點을 極大化시킬 수 있다.

#### 3-1 加熱器

加熱器는 熱傳達 流體 시스템을 設計하는데 있어 가장 重要的 要素이다. 熱容量, 溫度 및 流體의 速度를 適正하게 定함으로써 流體의 使用 壽命이 길어진다. 이의 設計에 있어서는 燃料 또는 한 熱源으로부터 熱을 傳達시키는 데 있어 에너지의 質的인 低下(예를 들면 溫度나 壓力의 降下)가 可能한 한 적어지도록 하고 特定 流體에 있어서 加熱器의 어느 곳에서도 最大 許容膜溫度 以上으로 高溫이 發生하지 않도록 해야 한다.

流體 加熱器는 大體로 液管式과 煙管式의 2가지로 나눌 수 있다. 어느 것이나 動力機關 或은 廢棄物 燒却爐의 高溫 排出가스로 加熱될 수 있다. 液管式 加熱器에서는 流體가 管을 통해서 지나가고 煙管式에서는 流體가 煙管의 周圍로 흐른다. 液管式은 煙管式에 비해서 流速 및 溫度의 調節이 容易하며 煙管式의 경우에는 流動이 位置에 따라 다르므로 特定 部位에서 高溫이 發生할 수가 있다. 加熱器 表面의 近處에서는 流速이 比較的 크게 되어야만(1.2~3.5 m/s 程度) 流體의 膜溫度가 대단히 높아지는 것을 防止할 수 있고 加熱器 表面 및 流體를 保護할 수 있다.

#### 3-2 펌프

펌프와 配管設備는 流量을 適切히 調節하여 適定量을 供給하고 시스템 循環이 圓滑히 이루어지도록 設計되어야 할 것이다. 이때 循環 펌프는 使用溫度에 맞는 것을 選定해야 한다.

大容量 시스템에 있어서는 遠心 펌프의 形式이 使用되어야 한다. 現在 많은 高溫用 펌

프가 生産, 普及되고 있으나 溫度 區間에 適合한 水冷式 시일이나 베어링 등을 檢討하여야 한다. 스테핑 박스 펌프(stuffing box pump) 보다는 機械式 시일 펌프가 더 良好하며 스테핑 박스 펌프를 使用할 때는 아스베스토스 코어의 周圍에 黑鉛 注入式 金屬포일로 된 링을 적어도 5개 이상 設置하여야 한다. 또 펌프軸과 시일의 保護를 위하여 펌프 케이스에 配管에 의한 應力이 發生하지 않도록 하여야 한다.

### 3-3 材 料

加熱器 코일을 除外하고는 高溫시스템에 使用되는 大部分의 材料를 그대로 使用할 수 있다. 材料는 一般적으로 最大 作動溫度에 대한 適合성을 判斷하여 選定된다. 軟鋼이 많이 使用되며 구리, 알루미늄, 靑銅, 黃銅合金이나 그와 類似한 種類의 材料는 高溫에서 機械的 強度가 낮아지므로 最少한으로 使用하는 것이 좋다. 管用으로는 이음새가 없는 鋼管을 使用해야 한다.

### 3-4 膨脹 탱크

膨脹 탱크가 시스템의 가장 높은 곳에 位置하여 펌프의 吸入部에 連結되어야 하는 것은 普通의 시스템과 같다. 二重 膨脹탱크(double-dropleg expansion tank)를 使用하면 運轉이 더욱 圓滑하게 된다. 不凝結氣體, 물 등을 除去시키는 일이 加熱시스템에서 자주 發生하는 難點이다. 最初 始動時에 空氣의 피어징(purging) 또한 問題가 되나 二重 膨脹탱크를 使用함으로써 比較的 잘 解決할 수 있다.

膨脹탱크를 設計할 때 酸化를 防止하기 위하여 40°C 이상되는 流體와 空氣의 接觸을 最少限으로 줄이는 것이 좋다. 流體의 酸化를 防止하는 가장 効果적인 方法은 窒素와 같은 非活性氣體로 시스템을 둘러 싸는 것이다. 이 方法이 困難한 경우에는 冷却 시일 트랩으로 空氣 接觸을 最少化할 수 있다. 濕分 등이 이 시일 트랩에 收集되고 트랩의 流體는 週期的으로 廢棄시키면 된다. 탱크 내의 流體가 약

간이라도 酸化가 되면 안되는 경우에는 膨脹 탱크내의 溫度를 可能限 한 낮추면 酸化를 防止할 수 있어 高價인 流體를 保護할 수 있다. 窒素로 시스템을 둘러 싸는 경우에는 窒素 注入前에 流體로부터 濕分을 除去하여야 하며 모든 排出管은 建物の 外部에 두어 作業場에 蒸氣가 들어오지 않도록 해야 한다.

膨脹 탱크는 시스템이 室溫에 있을 때에는 1/4 程度가 채워지고 作動溫度에서 3/4 程度가 채워지도록 設計되어야 하며 全體 容量을 볼 수 있는 液柱計와 流體의 漏泄時에 加熱部分을 遮斷시키는 스위치가 附着되어야 한다.

### 3-5 配 管

配管에 있어서 가장 重要な 點은 所要流量에 대한 適節한 크기의 管을 使用하고 壓力 降下를 最少化하는 것이다.

시스템에서는 溫度 變化가 恒常 隨伴되므로 膨脹이나 收縮으로 인한 應力을 考慮해야 한다.

大部分의 有機流體가 高溫일 때 조인트나 피팅에서 漏泄되는 傾向이 있으므로 이를 防止하는 最善의 方法은 모든 連結部를 鎔接하는 것이다. 밸브類는 鑄鋼밸브를 使用하면 된다. 可能하면 글로브밸브를 使用하는 것이 좋으며 게이트밸브는 쓰지 않는 것이 좋다.

### 3-6 保 溫

有機熱傳達流體의 溫度가 250°C에 到達하면 保溫材의 틈새에 있는 空氣와 서서히 酸化反應을 일으킨다. 만일 有機流體가 保溫材에 接觸되면 熱消散이 나빠지므로 保溫材의 觸媒役割로 溫度가 上昇되고 流體가 點火될 可能性이 있다. 따라서 漏泄이 조금이라도 憂慮되면 保溫材를 密閉된 形態로 使用하는 것이 좋다.

### 3-7 制 御

有機流體 시스템의 制御裝置는 加熱器와 熱利用部의 양쪽에 設置하여야 하며 普通의 標準品을 使用하면 된다.

有機流體를 使用하는 시스템을 設計하기 위해서는 熱精算을 通하여 加熱器의 容量, 流體의 作動限界溫度를 決定하고 시스템에 使用할 流體의 種類를 決定해야 한다. 化學적으로나 熱적으로 安定된 流體를 使用해야만 最高平均 作動溫도의 以下에서 化學的, 物理的 變化에 견딜 수 있다. 이러한 最高溫度는 流體마다 모두 알려져 있다.

有機流體를 使用하는 熱傳達에서는 蒸氣의 凝結에 의한 潛熱의 利用이 아니고 液相에서 의 顯熱을 利用하므로 高速으로 循環될수록 熱傳達 效果가 커지고 制御가 容易하다. 시스템 設計에서는 流速과 熱源으로부터의 負荷사이의 關係를 考慮해야 한다. 高溫部의 液體膜溫度는 流體의 平均溫度보다 높게 되며 이 두 溫도의 差는 加熱器 表面의 溫도와 使用하는 流體의 物性值에 따라서 달라진다. 可及의 比熱이 크고 熱傳導率이 높은 流體를 使用하는 것이 有利하다. 加熱器와 流體를 選擇하는데 있어서는 平均膜溫度보다는 最高溫度를 基準으로 하여야 耐久性을 維持할 수 있다.

#### 4. 熱媒體의 種類

모든 目的에 適合한 그런 流體는 없으므로 使用目的에 따라 特定한 流體가 選擇되어야 한다. 流體는 다음과 같이 概略적으로 分類될 수 있다.

##### 4-1 Polyalkylene glycol

250℃까지 良好한 熱的 安定性이 있으며 粘度-溫度 및 潤滑性이 優秀하여 펌핑이 容易하다. 또 流體가 沸騰하지 않으므로 加壓할 必要가 없다. 大部分의 流體가 腐蝕性이 없으며 水溶性이 있고 熱傳達이 良好하다.

##### 4-2 Glycol

-50℃에서 175℃의 範圍에서 使用이 可能하며 潤滑性은 없다. 空氣調和 裝置, 氣體壓縮機用 엔진, 除雪用 엔진, 스케이트場 및 密閉된 冷煖房시스템에서 水溶液으로 使用된다. 特히 防鏽處理된 ethylene, diethylene, triethyl-

ene 및 propylene glycol의 形態로 販賣된다.

##### 4-3 Fluorocarbon

주로 空氣調和 및 冷凍用 壓縮機의 冷媒로 使用되며 氷點이 -100℃, 沸騰點이 23℃인 種類도 있다.

##### 4-4 水

比熱과 蒸發潛熱이 큰 流體로서 가장 많이 使用되는 熱傳達媒體이지만 高蒸氣壓에 따르는 限界가 있고 腐蝕의 問題가 있다.

##### 4-5 礦物油

比較的 廉價이고 腐蝕性이 없으며 25℃에서 300℃의 溫度範圍內서 熱傳達流體를 使用된다. 그러나 比熱이 낮고 熱的 分解가 憂慮된다. 즉, 揮發性的 物質과 코크나 殘留物質 등이 發生될 可能性이 있다. 低粘度類는 펌핑이 容易하며 高溫에서 흔히 使用되는 高粘度類는 始動時에 難點이 있다.

##### 4-6 실리카流體(silicate fluid)

실리카流體는 廣範圍한 溫度에서 使用될 수 있으며 一般的으로 alkyl類와 aryl類로 分類된다. 防鏽型的 tetra(2-ethylhexyl) ortho-silicate와 같은 alkyl 실리카流體는 -40℃에서 300℃의 溫度範圍에서 使用할 수 있다. alkyl 실리카流體로 同一한 裝置를 使用하여 加熱 및 冷却을 할 수 있다. Tetraaryl silicate는 -4℃에서 340℃의 範圍에서 使用이 可能하고 耐火性이 있다. 두 種類가 모두 高價이므로 酸化를 防止하고 水分의 含有을 피하기 위해서는 密閉 시스템을 使用하여야 한다.

##### 4-7 無機鹽 混合物

540℃ 以上の 溫度에서 使用될 수 있는 唯一한 媒體이다. 熔融된 alkali 金屬系가 이에 속할 것이다. 鹽混合物은 150℃ 以下에서 凝固하므로 連續的인 運轉이 이루어져야 하며 運休中에는 시스템에서 排出시켜야 한다. 鹽

混合物이 汚染되면 共晶點이 바뀌어 融點이 높아지게 된다.

#### 4-8 Diphenyl 또는 diphenyl oxide eutectic mixture

佛騰點이 258℃이고 12℃에서 400℃의 範圍에서 使用되며 密閉壓力 시스템이 必要하다. 流體의 比熱은 크다. 流體가 12℃에서 凝固되므로 配管 周圍에 蒸氣가 通過하도록 하여야 한다. 시일링, 패킹 및 連結部의 作業에는 特別한 注意를 要한다. 이 流體는 漏泄되는 傾向이 크며 이때 流體의 損失과 함께 냄새, 毒性, 洗滌의 問題가 있게 된다. 이 形態의 流體로는 Dowtherm A가 있는 데 이것은 熱傳達媒質로서 液相이나 氣相에서 使用될 수 있다. 熱傳達이 均一하게 이루어져야 하는 工程에서는 蒸氣를 凝縮시키면 精密한 溫度調節을 할 수 있다. 類似한 다른 液體로 이러한 溫度의 精密度를 維持하려면 流量의 調節이 잘 이루어져야만 한다. 蒸氣시스템을 使用하면 자켓을 使用한 容器에서와 같이 液體의 流動現象 및 速度의 調節이 困難한 設備에서 便利하다.

作動流體의 溫度勾配가 어느 限界 이상이 되어서는 안되는 시스템에서는 熱傳達媒質에서의 溫度差가 적어야 하며 이는 液體의 流量을 增加시키는 것보다는 蒸氣를 凝結시키는 方法으로써 解決할 수 있다.

液相 시스템에서 液體의 膜係數는 流速에 따라서 增加되며 廣範圍한 區間에서 調節이 可能하다. 蒸氣 시스템에서는 凝結 膜係數가 溫度差, 管의 크기 및 管의 配列에 의하여 固定된다.

#### 4-9 Chlorinated biphenyl

溫度 10℃에서 315℃의 사이에 使用이 可能하며 耐火性이 있다. 그러나 高溫에서는 鹽化水素를 發生한다. 密閉 耐蝕性 시스템을 使用하여야 하며 比熱은 낮은 편이다.

一般的으로 使用되는 熱傳達媒質의 物性值가 表1에 나타나 있다.

## 5. 熱傳達係數와 壓力降下

### 5-1 熱傳達係數

加熱시스템에서 熱貫流率을 計算하는 方法은 普通의 熱交換器에서의 熱傳達計算式을 利用하면 된다. 이 計算의 過程에서 熱傳達媒體에 대한 熱傳達係數는

$$Nu = 0.022 Re^{0.8} Pr^{0.4} \left( \frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^{0.16}$$

의 式으로부터 計算될 수 있으며 使用된 記號는 다음과 같다.

$$Nu = \frac{hd}{k} = \text{Nusselt 數}$$

$$Pr = \left( \frac{Cp\mu}{k} \right)_b = \text{Prandtl 數}$$

$$Re = \left( \frac{DG}{\mu} \right)_b = \text{Reynolds 數}$$

$$\frac{\mu_b}{\mu_w} = \text{粘度補正係數}$$

$$h = \text{膜 熱傳達係數 Btu/ft}^2 \cdot \text{F 또는 kcal/m}^2 \cdot \text{C}$$

$$D = \text{管의 內徑 ft 또는 m}$$

$$k = \text{流體의 熱傳達率 Btu/h} \cdot \text{ft} \cdot \text{°F 또는 kcal/h} \cdot \text{m} \cdot \text{°C}$$

$$G = \text{流體의 質量速度 lb/h} \cdot \text{ft}^2 \text{ 또는 kg/h} \cdot \text{m}^2$$

$$Cp = \text{流體의 平均溫度에서의 定壓比熱 Btu/lb} \cdot \text{°F 또는 kcal/kg} \cdot \text{°C}$$

$$\mu = \text{流體의 粘度 lb/h} \cdot \text{ft 또는 kgf/h} \cdot \text{m}$$

$$\mu_b = \text{流體의 平均溫度에서의 粘度 lb/h} \cdot \text{ft 또는 kgf/h} \cdot \text{m}$$

$$\mu_w = \text{管壁에서 流體의 粘度 lb/h} \cdot \text{ft 또는 kgf/h} \cdot \text{m}$$

$$b = \text{流體의 平均溫度에서의 값을 뜻하는 添字}$$

위의 式을 그래프로 나타내면 計算을 簡略하게 할 수 있다. 單位는 흔히 英國 單位係로 주어져 있으므로 미터係로 換算할 때는 다음의 表2를 利用한다.

表 1 熱傳達媒質의 物性值 (繼續)

性 質	礦 物 油				Diphenyl or Dipheyl Oxide DowTherm A	Union Carbide 社의 Ethylene Glycol
	Humble Therm 500	Mobil Therm 600	Tidewater Avalon 90	Sunoco Circo XXX		
化學的安全性	安 定	安 定	安 定	安 定	安定하나 물에 는 危險	安 定
酸 化 性	空氣와 66°C까지	空氣와 66°C까지	空氣와 66°C까지	空氣와 66°C까지	安 定	低酸化性
熱的 安定性	分解에 대한 抵抗이 強함 炭素附着	分解에 대한 抵抗이 強함 炭素附着	300°C에서 分解 始作 400°C에서 점차 加速 450°C에서 急 分解	Avalon 90과 類似	340°C 以下에 서 거의 分解 안함	220°C까지는 熱 的으로 安定
最大 溫度 膜 平 均	360°C 323°C	230°C 293°C	325°C 290°C	310°C 274°C	430°C 371°C	204°C 163°C
安 定 性 耐 火 性 爆 發 性	微 小	微 小	微 小	微 小	爆發 可能性	없 음
密度(kg/cm <sup>3</sup> ) 21°C에서 149°C 316°C 371°C	710 650 550 使用하지 않음	780 730 640 使用하지 않음	740 670 690 使用하지 않음	780 730 650 使用하지 않음	882 798 660 603	930 - 使用하지 않음 -
比 熱 21°C에서 149°C 316°C 371°C	0.48 0.58 0.72 使用하지 않음	0.38 0.485 0.624 使用하지 않음	0.43 0.55 0.70 使用하지 않음	0.43 0.55 0.70 使用하지 않음	0.379 0.458 0.560 0.591	0.625 0.710 使用하지 않음 -
熱 傳 導 率 kcal/h·m·°C 21°C에서 149°C 316°C 371°C	0.116 0.107 0.097 使用하지 않음	0.104 0.097 0.088 使用하지 않음	- - - 使用하지 않음	0.104 0.099 0.089 使用하지 않음	0.121 0.107 0.091 0.085	0.249 - 使用하지 않음 -
流 動 點	-9.4°C	-6.7°C	-9.4°C	-3.9°C	12°C에서 凝固	-51°C에서 凝固
粘 度 (cp) 21°C에서 149°C 316°C 371°C	- 1.9 0.25 使用하지 않음	190 2.4 - 使用하지 않음	4,000 7.4 1.0 使用하지 않음	10,000 7.0 1.0 使用하지 않음	4.5 0.6 0.35 0.30	20.0 1.0 使用하지 않음 -
材料와의 適 合性	鐵 및 非鐵金 屬 耐油가스켓 및 패킹	銅 및 그 合金 을 피할 것 耐油가스켓 및 패킹	다른 礦物油와 類似	다른 礦物油와 類似	炭素鋼 鑄 鐵 알루미늄 포일 패킹	炭素鋼 鑄 鐵
壓 力 21°C에서 149°C 316°C 371°C	不必要 " " 使用하지 않음	不必要 " " 使用하지 않음	不必要 " " 使用하지 않음	不必要 " " 使用하지 않음	不必要 " " 4.0 at 8.5 at	不必要

性 質	Polyalkylene Glycols (Union Carbide 社)				Aromatic Base Fluids (Monsanto Chemical 社)				
	UCON HTF-30	UCON HTF-14	UCON HTF-10	UCON HTF-L20	Therminol 44	Therminol 60	Therminol 66	Therminol 55	Therminol 88
化學的安定性	安定	安定	安定	安定	安定	安定	安定	安定	安定
酸 化 性	水溶性 空氣中에서 66°C까지	水溶性 空氣中에서 66°C까지	水溶性 空氣中에서 66°C까지	水溶性 空氣中에서 66°C까지	空氣中에서 66°C까지	空氣中에서 66°C까지	空氣中에서 66°C까지	空氣中에서 66°C까지	耐酸化성이 強함
熱的安定性	260°C까지 安定	260°C까지 安定	260°C까지 安定	260°C까지 安定	218°C까지 安定	316°C까지 安定	343°C까지 安定	300°C까지 安定	427°C까지 安定
最大溫度 膜	296°C	296°C	243°C	296°C	246°C	335°C	374°C	335°C	454°C
平 均	260°C	260°C	204°C	260°C	218°C	316°C	343°C	316°C	427°C
安 定 性									
耐 火 性	燃 燒	燃 燒	燃 燒	燃 燒	燃 燒	燃 燒	燃 燒	燃 燒	燃 燒
爆 發 性	微 小	微 小	微 小	微 小	微 小	微 小	微 小	微 小	微 小
密度 kg/m <sup>3</sup>									
21°C에서	897	863	855	826	775	827	843	740	940
149°C	822	784	776	746	685	760	759	669	842
260°C	750	701	705	676	使用하지않음	695	675	607	767
316°C	使用하지 않음	使用하지 않음	使用하지 않음	使用하지 않음	"	665	642	576	658(427°C)
比 熱									
21°C에서	0.44	0.44	0.44	0.148	0.46	0.383	0.365	0.460	-
149°C	0.54	0.54	0.54	0.143	0.54	0.495	0.480	0.572	0.467
260°C	0.64	0.64	0.64	0.137	使用하지않음	0.593	0.580	0.670	0.525
316°C	使用하지 않음	使用하지 않음	使用하지 않음	使用하지 않음	"	0.643	0.630	0.718	0.613(427°C)
熱 傳 導 率 kcal/h·m·°C									
21°C에서	0.181	0.172	-	0.148	0.124	0.113	0.106	0.118	-
149°C	0.148	0.142	-	0.143	0.106	0.105	0.099	0.108	0.106
260°C	-	-	-	0.137	使用하지않음	0.098	0.095	0.099	0.102
316°C	使用하지 않음	使用하지 않음	使用하지 않음	使用하지 않음	"	0.094	0.092	0.093	0.091(427°C)
流 動 點	-17.8°C	-37.2°C	-42.8°C	-40°C	-62.2°C	-67.8°C	-27.8°C	-40°C	145°C에서 溶融
粘 度 (cP)									
21°C에서	320.0	200.0	90.0	200.0	6.20	9.03	142	387	-
149°C	5.4	5.4	3.8	5.4	0.44	0.87	1.55	1.69	1.57
260°C	1.85	1.85	1.5	1.85	使用하지않음	0.38	0.45	0.58	0.55
316°C	使用하지 않음	使用하지 않음	使用하지 않음	使用하지 않음	"	0.29	0.34	0.42	0.23(427°C)
材料와의 適 合性	銅을 包含 한 一般의인 모든 金屬	銅을 包含 한 一般의인 모든 金屬	銅을 包含 한 一般의인 모든 金屬	銅을 包含 한 一般의인 모든 金屬	一般의인 모든 金屬	一般의인 모든 金屬	一般의인 모든 金屬	一般의인 모든 金屬	一般의인 모든 金屬
壓 力									
21°C에서	不必要	不必要	不必要	不必要	不必要	不必要	不必要	不必要	不必要
149°C	"	"	"	"	"	"	"	"	"
260°C	"	"	"	"	使用하지 않음	"	"	"	"
316°C	使用하지 않음	使用하지 않음	使用하지 않음	使用하지 않음	"	"	"	"	"

表 2 單位換算表

溫 度	$t\text{ }^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9}(t\text{ }^{\circ}\text{F} - 32)$
密 度	$1\text{ kg/m}^3 = 0.01\text{ lb/gal}$
比 熱	$1\text{ kcal/kg}\cdot^{\circ}\text{C} = 1\text{ Btu/lb}\cdot^{\circ}\text{F}$
熱傳導率	$1\text{ kcal/h}\cdot\text{m}\cdot^{\circ}\text{C} = 0.67\text{ Btu/h}\cdot\text{ft}\cdot^{\circ}\text{F}$
熱傳達係數	$1\text{ kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C} = 0.21\text{ Btu/h}\cdot\text{ft}^2\cdot^{\circ}\text{F}$
流 量	$1\ell/\text{min} = 0.22\text{ gal/min}$
速 度	$1\text{ m/s} = 3.28\text{ ft/s}$
壓 力	$1\text{ kgf/cm}^2 = 14.2\text{ psi}$

5-2 壓力降下

管內에서의 流體의 壓力 降下는 시스템 設計에 있어 重要な 因子이다. 펌프 動力은 시스템의 性能과 壽命을 維持하는 範圍에서 可及的 적어야 한다. 加熱器의 管內에서의 流速은 이미 言及하였듯이 膜溫度와 熱傳達係數에 直接 影響을 끼치는 重要な 要素이다. 펌프動力을 減少시키기 위해서는 管內 流速은 1.2m/s 이하로도 줄일 수 있으나 配管設備가 커지므로 適節한 選定이 必要하다. 加熱器 側에서 約 1.5~2.5 m/s, 管內에서 1.2 m/s, 熱使用器에서 1.2~1.8 m/s 程度가 適當한 것으로 생각된다. 加熱器 管內에서의 壓力 降下는 흔히 使用되는 式

$$h_L = C \cdot f \frac{L \cdot V^2}{d}$$

으로부터 計算될 수 있다. 여기서  $h_L$ 은 壓力 損失,  $f$ 는 係數,  $L$ 은 管의 길이,  $d$ 는 管徑이며  $V$ 는 流速이다.

6. 蒸氣相 形態로의 有機流體 利用

液體相 形態로 有機流體를 利用하는 以外에 蒸氣相 形態로도 工程에서 많이 利用된다. 즉 주어진 壓力과 溫度에서 蒸發하여 蒸氣가 容器의 자켓을 둘러 싸고 凝結되는 過程이다. 이러한 目的으로 使用되는 流體에서 Dow Chemical Co의 Dowtherm A와 Monsanto Chemical Co.의 Therminol VP-1이 있다. 예를 들면 Therminol VP-1의 경우 750°F(399

°C)까지의 溫度에서 液體나 蒸氣로서 使用할 수 있다. 이 流體는 大氣壓에서 257°C의 높은 沸騰點을 가지고 있으므로 低壓에서 作動되는 高溫工程에 使用될 수 있다. 가스터어빈의 排出가스를 使用하여 流體를 蒸發시켜서 熱에너지를 利用하는 경우가 좋은 例이다.

7. 動力 사이클에서의 有機流體 利用

動力 사이클에 使用하기 適合한 有機流體가 近來에 開發되어 熱энер지를 効率的으로 利用하기 위한 下部 사이클에 使用되기 始作했다. 有機流體의 下部 사이클은 가스터어빈, 往復熱機關 등의 排出가스나 低溫工程의 熱回收裝置 등의 比較的 低溫의 熱源을 利用해서 熱에너지를 回收하여 効率的으로 에너지를 利用하는 動力 사이클이다. 예를 들면 發電機用 디젤엔진의 경우 燃料에너지의 38% 程度가 有用한 軸일로 變換되며 나머지 中에서 28%는 冷却熱로, 34%는 排出가스로 損失된다. 이러한 種類의 廢熱을 利用한다면 디젤엔진에서는 追加的으로 約 15%, 가스터어빈에서는 35%의 動力을 얻을 수 있다. 엔진의 冷却水 자켓은 普通 85~104°C에서 作動되고 있다. 엔진에 따라서는 116°C까지에서 運轉되기도 한다. 특히 高速小型엔진에서 溫度가 높아진다. 자켓 冷却熱을 利用해서 에너지를 回收하려면 低溫液體 시스템이나 冷却媒質로서 fluorocarbon類를 使用하여야 한다.

엔진이나 가스터어빈의 廢熱을 回收하여 利用하는 시스템은 주로 Rankine 사이클을 使用한다. 이러한 사이클에 適合한 流體는 高溫에서 熱的 安定性을 갖고 低壓에서 液相을 維持하며 分子量이 크고 價格이 低廉해야 한다.

가스터어빈에 대한 下部 사이클 엔진으로서 有機流體를 利用한 例가 그림 1에 나타나 있다. 가스터어빈은 電力의 最大 負荷에 對備하기 위해 或은 非常用으로 設置되는 傾向이 있으나 下部 사이클과의 組合으로 使用하면 에너지의 効率的 利用效果는 發電의 경우보다 좋아진다. 그림 1에 대한 에너지 計算資料가 表 3에 나타나 있다.



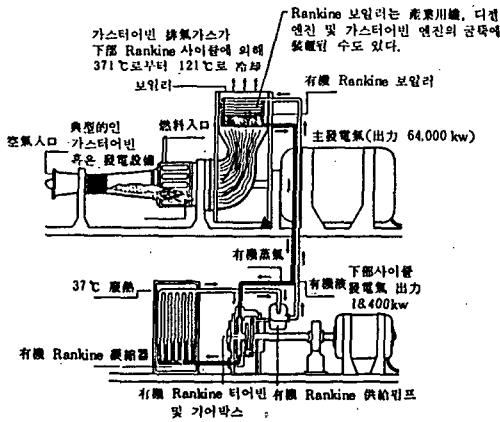


그림 1. 廢熱 回收用 有機流體 下部 사이클

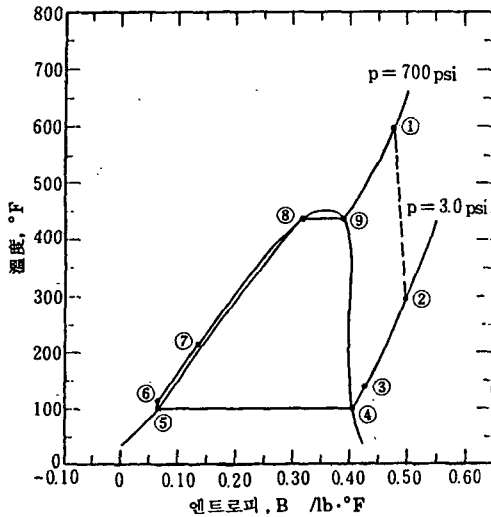


그림 2. 有機流體 랭킨사이클의 溫度-엔트로피 線圖

表에서 보는 것처럼 가스터빈만의 効率 37%에서 組合시킨 경우는 47%로 增加되어 追加的인 燃料의 消費가 없이도 29%의 出力 增加를 가져온다. 이러한 例를 500馬力 程度의 小型 柴油엔진에 適用하는 경우 더욱 큰 效果를 얻을 수 있다. 즉 柴油엔진의 실린더壁에서 放出되는 熱과 371℃ 程度되는 엔진의 排氣가스로부터 일을 얻을 수 있으므로

表 3 가스터빈과 適合한 廢熱 回收用 有機流體 Rankine 사이클의 特性 例

가스터빈	
모 델	GE PG 7791 R
出力(15℃, 1氣壓)	64,000 kwe
SFC	0.209 kg/kwhre
熱消費率(HHV)	2,325 kcal/kwhre
$\eta_{oa}$ (HHV)	37%
排氣가스 流量	$8.62 \times 10^5$ kg/hr
排氣가스 溫度	380℃

下部 有機 Rankine 사이클 플랜트

보일러 排氣가스 溫度	121℃
Fluorinol -85 流量	$3.6 \times 10^5$ kg/hr
터빈型	單段, 軸流, 衝動形
RPM	3,600
덤 지름	1.89 m
날개 높이	0.15 cm
出力	18,400 kwe
플랜트 全體 特性	
가스터빈 出力	64,000 kwe
有機, Rankine 사이클 出力	18,400 kwe
併合된 總出力	82,400 kwe
出力 增加率	29%
$\eta_{oa}$ (HHV)	
-가스터빈	37%
-併合플랜트	47%
熱消費率(HHV)	
-가스터빈	2,325 kcal/kwhre
-併合플랜트	1,813 kcal/kwhre

柴油엔진만의 効率 38% 內外로부터 有機流體 사이클을 利用하여 49% 以上으로 上昇시킬 수 있다.

이러한 有機流體에 의한 Rankine 사이클의 代表的인 例가 溫度-엔트로피 線圖로서 그림 2에 나타나 있다. 過熱蒸氣를 往復機關이나 터빈에서 膨脹시킨다(①-②). 일을 發生시킨 低壓蒸氣는 再生器를 通過하며(②-③) 보

일러로 들어가는 液體를 加熱하고 再生器를 떠난 蒸氣는 凝結된 다음(③-④-⑤) 高壓으로 펌핑되어(⑤-⑥) 再生器內에서 豫熱되고(⑥-⑦) 繼續하여 보일러를 通過한다(⑦-⑧-⑨-①).

有機流體는 물에 비해 顯熱에 대한 潛熱의 比가 훨씬 작다. 그림 3에서는 熱源으로서 다 이젤엔진의 排出가스를 使用할 때 有機流體와 물에 대한 溫度分布를 比較하고 있다. 排出가스와 蒸發流體의 平均 溫度差는 물보다 有機流體쪽이 훨씬 작아서 溫度差로 인한 非可逆性이 작아지므로 有機流體와 組合된 사이클의 効率이 높아지는 것은 當然하다.

有機流體를 利用한 Rankine 사이클 시스템은 比較的 簡單하다. 水蒸氣를 利用하는 터빈의 경우 最大 効率을 얻기 위해서는 10~15段이 必要하지만 有機流體로서는 單段 軸流 衝動터빈으로도 充分하다. 이와 같은 利點은 分子量이 커서 엔탈피 降下가 작아지기 때문이다. 例로서 3,600 rpm, 20,000 kw의 單段 有機流體 터빈에서 49 at, 316℃의 入口 條件과 0.21at의 排氣 條件일때는 지름 1.82 m의 軸流 衝動 휘일과 높이 7cm의 氣嚔이 必要하다. 따라서 이에 相當하는 水蒸氣터빈에 비해서 훨씬 廉價의 터빈을 만들 수 있다.

터빈 設計가 簡單하고 有機流體에 의한 腐

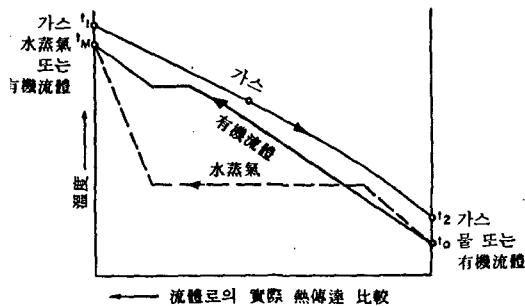


그림 3. 排出가스와 有機流體 및 물의 溫度分布 比較

蝕性이 없어서 炭素鋼을 使用할 수 있으므로 有機流體를 利用한 下部 사이클 시스템에 대한 資本投資가 比較的 작아진다. 또한 溫度가 比較的 낮고 內藏된 潤滑 시스템을 使用하여 補修維持費가 充分히 작아지는 利點도 있다.

## 8. 結 語

有機熱媒體를 使用할 때 에너지를 効率的으로 利用할 수 있는 利點을 拔萃 叙述하였다. 이미 많은 方法으로 에너지의 効率的 利用方案이 提示되어 使用되고 있으나 有機流體의 利用은 아직은 積極化되고 있지 않다. 에너지의 量的인 面에서의 節約도 重要하지만 質的인 面에서의 効率化 方案이 더욱 重要視되어야 하며 이에 對應하는 方法의 하나로서 適合한 有機熱媒體의 使用를 생각할 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. John L. Boyen, Thermal Energy Recovery, 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York., 1980.
2. Elias P. Gyftoplulos, L.J. Lazaridis and T.F. Widmer, Potential Fuel Effectiveness in Industry, Ballinger Publishing Co., Cambridge, 1974.
3. D.A. Reay, Industrial Energy Conservation, Pergamon Press, Oxford, 1977.
4. V.R. Degner, Correct Working Fluid Makes Organic Rankine Cycle Work. SAE Journal, June 1970.
5. G. Angelino and V. Moroni, Perspectives for Waste Heat Recovery by Means of Organic Fluid Cycle, Journal of Engineering for Power April 1973.
6. Norio Ichiki, Fluorocarbon Turbine and its Application, Refrigeration vol. 49, No. 566, 1974.