

脫프레온 冷凍・空調 시스템

1. 머리말

冷凍・空調和 분야의 기술진보는 우리들 생활이나 활동환경을 쾌적하게 하였으며 큰 발전을 거듭해 오는 한편 최근에는 환경의식이 고조되는 것을 중심으로 다음과 같은 사회적 요청이 크게 대두되고 있다.

첫째, 에너지使用合理化에의 대응이다. 地球溫暖化를 방지하기 위하여 2000년 이후에도 CO₂ 배출을 1990년 수준으로 동결한다. 그러기 위하여는 다방면에서 일층 더 에너지使用合理化를 도모할 필요가 있다.

둘째는, 프레온 規制에의 대응이다. 오존破壞를 방지하기 위하여 特定 프레온이 아니라도 더욱 엄격한 規制를 해나가도록 했다.

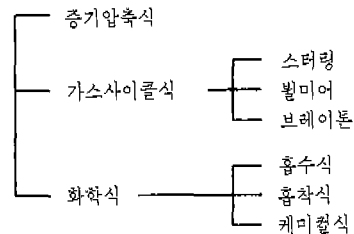
셋째는, 電力平準化이다. 電力의 수요는 夏節에 가장 큰 피크를 기록하여 왔다. 이 때문에 에너지源 다양화도 중요해졌다.

이들 에너지使用合理化, 프레온 規制, 電力平準化의 커다란 사회적 요청은, 금후의 冷凍・空調和技術의 나아갈 방향을 제시하는 것이다. 미쯔비시電機에서는 이들 요청에 따르는 脫프레온 冷

凍・空調技術에도 도전하고 있는데, 여기서는 이 새로운 기술에 대해서 그 특징과 개발상황 등에 관하여 소개하기로 한다.

2. 脫프레온 冷凍・空調 시스템에 대하여

熱力學 사이클로서 冷凍・空調에 이용되고 있는 것 또 이용될 수 있는 것을 분류해서 그림 1에 표시한다. 분류는 蒸氣壓縮式, 가스사이클式, 化學式의 세 가지로 대별되는데 冷媒의 相互變化有無에 의하여 증기압축식과 가스사이클식으로



<그림 1> 冷凍・空調 시스템 分類

구분한다.

化學式에서는 흡수나 반응현상을 이용한다. 증기압축식은 냉매로 주로 프레온을 사용하며 현재의 冷凍·空調技術 방식이다. 이 이외는 전부 脫프레온 시스템이다.

가스사이클식에는 스테링, 뵐미어, 브레이튼 등의 熱力學 사이클이 있다. 스테링 冷凍機는 低溫을 얻을 수 있어 효율도 높다. 뵐미어 空調機는 熱入力만으로 구동이 가능하다. 브레이튼 사이클의 空氣冷凍機는 공기를 사용하므로 오픈 사이클로서 특수용도에 실용화되고 있다.

化學式은 전부 熱入力型이며 뵐미어와 마찬가지로 에너지源 다양화에 대응된다. 吸收式은 이미 실용화되고 있으므로 脫프레온 冷凍機로서 유력한 방식이지만 지금까지의 리튬브로마이드/水冷式에서는 이용가능 온도범위에 제한이 있다. 吸着式은 물을 냉매로 사용하므로 작동온도범위 제한이 과제로 남는다. 化學反應을 이용하는 케미컬식은 냉매와 반응재료를 조합시켜 변화시킴으로써 작동온도범위를 선택할 수 있다.

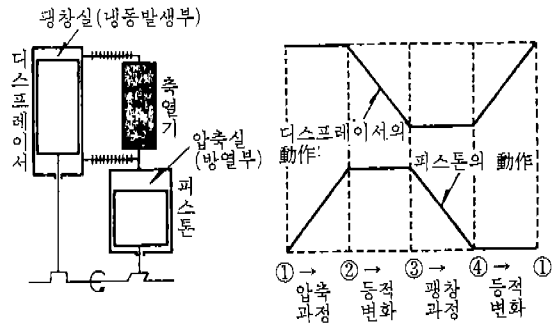
미쓰비시電機에서는 脫프레온 冷凍·空調技術로서 스테링 冷凍機, 뵐미어 空調機, 암모니아/물 吸收式이나 케미컬式 空調機의 개발을 추진해 왔으므로 그 개요를 설명한다.

3. 가스사이클式 冷凍·空調機

蒸氣壓縮式은, 사용하는 냉매에 의하여 정해지는 특정의 蒸發·凝縮溫度에 대응해서 동작하지만, 가스사이클式은 광범한 溫度帶에서 동작시킬 수 있다. 이 특징을 살려서 스테링 冷凍機나 뵐미어 空調機의 개발을 진행하고 있다.

3.1 스테링 冷凍機

스테링 사이클은 1816년 Robert Stirling에 의하



<그림 2> 스테링 冷凍機의 原理構成

여 엔진으로 발명되었으나 이것을 冷凍機로 가동한 것은 1864년 Alexander Kirk에 의해서이다.

3.1.1 原理

그림 2는 원리구성을 표시한다. 冷凍機는 두 개의 피스톤으로 압축실(放熱部)과 팽창실(冷凍發生部)을 조성하고 그 사이에 蓄熱器를 배치하여 구성되어 있다.

디스플레이서와 피스톤을 약 90도의 位相을 유지하면서 구동함으로써 冷凍發生部는 冷凍熱負荷와 밸런스가 맞아 그 온도가 下降한다.

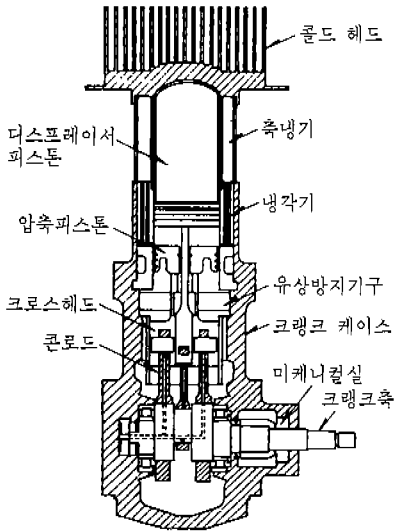
3.1.2 概況

極低溫을 생성하는 방법으로 지금까지는 드라이아이스나 液體窒素 등 寒劑를 이용한 것 또는 증기압축식에 의한 것이 있었다. 寒劑에 의한 방법에서는 寒劑를 항상 보급할 필요가 있으며 연속운전에서의 운용상 제약이 있다. 또 증기압축식은 액화한 프레온 등의 熱發熱을 이용하고 있으므로 얻을 수 있는 到達最低溫度는 -135°C 레벨로 제한되어 있었다. 이와 같은 상황하에서 極低溫生成을 위한 소형이며 고효율인 機械式 스테링 冷凍機를 개발하여 이 冷凍機를 사용한 極低

溫 프리자를 개발하게 되었다.

開發한 스테링 冷凍機 구조와 주요부분 및 諸元을 각각 그림 3 과 표 1 에 나타낸다.

機械는, 單氣筒 안에 디스프레이서와 피스톤이 있으며 축열기나 열교환기를 환상으로 콤팩트에 배치한 구성을 하고 있다. 機械의 性能은 作動가스의 He 封入壓力 3MPa의 조건하에서 최저도달 냉각온도 -223°C 이다. 또 실제의 냉각열량으로 -190°C 에서 200W, -150°C 에서 390W의 값을 얻고 있다. 효율(냉각열량/전기입력)에 있어서는 -150°C 에서 12%를 얻는 것으로 보고 있는데



<그림 3> 스테링 冷凍機의 構造

<표 1> 스테링 冷凍機 主要諸元

項 目	諸 元
壓 縮 피 스톤	보 어 : 80 mm 스트로크 : 33 mm
디스프레이서피스톤	보 어 : 80 mm 스트로크 : 33 mm
크랭크角位相差	68°
壓縮室送氣容積	153 ml
膨脹室送氣容積	75 ml

금후의 低溫利用分野의 확대·발전에 공헌할 것으로 생각된다.

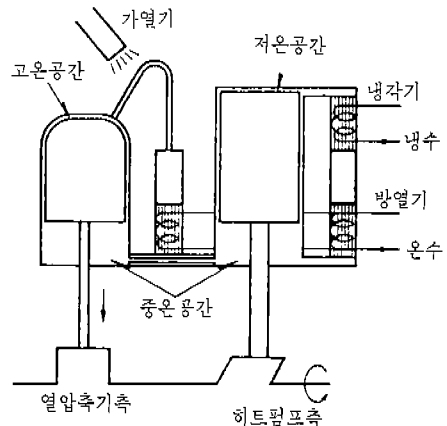
3·2 빌미어 空調機

빌미어 空調機(이하 "VMHP"라고 한다)는 1918년 Rudolph Vuilleumier에 의해서 발안되었으며 極低溫帶에서 常溫帶까지 넓은 온도폭에서 작동하는 기계이다. 최근에는 이 사이클을 空調 시스템으로 활용하고자 하는 검토가 진행되고 있으며 그 試作結果에 대한 보고도 눈에 띄이게 되었다. VMHP 研究에 집중하는 배경에는 이 技術이 지구환경문제(프레온規制, 溫暖化, NO_x 등)에 대응할 수 있는 것을 들 수 있을 것이다. 또 원리적으로는 스테링엔진 開發 성과가 활용되는 것도 이 技術開發에 크게 기여하고 있다.

3·2·1 原理와 特徵

VMHP의 기본구성을 그림 4에 표시한다.

VMHP는 압력변동을 발생하는 熱壓縮機와 그 압력변동을 이용해서 冷溫熱을 생성하는 히트펌프로 구성된다.



<그림 4> VMHP의 原理構成

熱壓縮機측에서는 스테링엔진과 마찬가지로 燃燒熱 등에 의해서 가열되는 高溫空間과 냉각된 中溫空間을 가지고, 디스플레이서에 의하여 作動 가스를 高溫空間과 中溫空間 사이에서 번갈아가며 작동시킴으로써 압력변동이 발생한다. 이 압력 변동을 이용해서 逆스테링 사이클을 구동하며 히트펌프측에서 冷溫熱이 발생하게 된다.

실제의 VMHP에서는 여러 가지 기계손실을 보충해서 각기의 디스플레이서를 외부로부터 구동할 필요가 있다. 그러나 저온측 디스플레이서를 구동하는 로드 지름을 굵게 함으로써 外部일이 발생하여 자립운전을 시킬 수 있다.

VMHP는 이와 같은 원리에 기초하여 동작하는 것이므로 증기압축식에 비교해서 다음과 같은 특징이 있다.

- (1) 作動流體로서 He 가스를 사용하고 프레온은 사용하지 않는다.
- (2) 燃燒熱을 驅動에너지로서 냉방용의 冷熱 또는 난방용의 溫熱이 이용된다. 이 냉열·온열의 溫度레벨은 넓은 범위로 변화시킬 수 있다.
- (3) 난방에 이용할 수 있는 溫熱량은 크기 때문에 外氣溫度 저하시의 능력저하가 적고 높은 난방효율을 얻을 수 있다.

3·2·2 概況

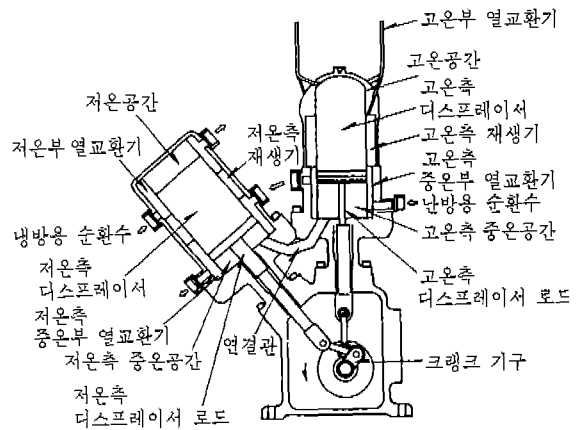
미쯔비시電機에서는 그림 5에 표시하는 냉방출력 2kW급 VMHP 試作機를 개발했다.

이 試作機는 고온측과 저온측 실린더의 연결부분의 死容積을 低減하기 위하여 두 개의 실린더는 V형으로 배치되어 있다. 또 이 機械는 스스로 동력을 발생해서 자립운전이 가능하지만 기동시 및 冷暖房能力을 증대시킬 때는 크랭크軸의 1端에 연결한 전동기에 의하여 구동된다. 이 기계의 주된 諸元을 표 2에 표시한다.

시험결과를 다음에 설명한다. 시험조건은 순환

<표 2> 試作機의 主要諸元

• 高溫側 디스플레이서	직 경: 80 mm
	行程: 60 mm
	送氣容積: 301 ml
• 低溫側 디스플레이서	직 경: 97 mm
	行程: 60 mm
	送氣容積: 443 ml
• 位相差 디스플레이서 로드 직경: 80°	
	高 溫 側: 10 mm
	低 溫 側: 30 mm
• 平均壓力: 6MPa	
• 作動가스: 헬륨	
• 치수 (mm): 폭 530×안길이 400×높이 790	
• 質 量: 60 kg	



<그림 5> 試作機 構造

수 공급온도를 水冷칠러(Chiller)의 냉방포준시험 조건(JISB 8613)에 준하여 표 3의 값을 설정했다. 그림 6에 이 조건에서 측정된 출력과 효율을 표시한다. 냉방출력 및 난방출력은 순환수 유량과 온도차에서 각각 산출했다. 또 효율 COP는 냉·난방 출력을 加熱入力量으로 나누어 정하였다. 따라서 연료를 기준으로 하는 경우에는 이 수치에 加熱器의 加熱效率를 곱하게 된다. 出力에 관하여 말하면 350r/min에 있어서 냉방출력 1,540W,

<표 3> 試驗條件

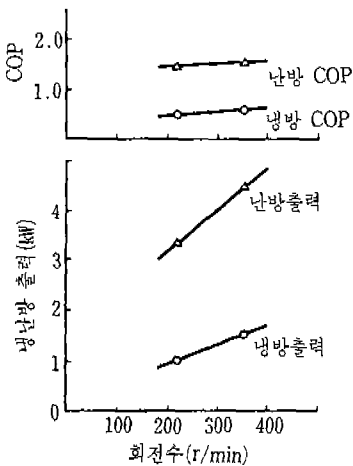
高溫空間가스溫度	730℃
中溫空間가스溫度	50℃
低溫空間가스溫度	-3℃
冷房用循環水供給溫度	12℃
暖房用循環水供給溫度	30℃

난방출력 4,430W를 얻을 수 있었다. 냉방 1에 대하여 난방 2.9의 비율이다. 한편, COP는 냉방에서 0.58, 난방에서 1.54가 얻어졌다.

이상을 총괄하면 난방에 대해서는 매우 높은 성능이지만 냉방 COP나 比出力에 대해서는 그 개선이 필요하다고 말할 수 있다. 현재 이들 과제를 해결해서 실용화하려고 그 기술개발을 추진중에 있다. 開發에 있어서 燃料基準의 COP 성능목표로서 냉방에서 0.7, 난방에서 1.2레벨을 구상하고 있다.

4. 化學式 空調機

化學式 空調機는 吸收式, 吸着式, 反應利用 케미컬式으로 크게 3분류 된다. 본문에서는 그중 吸收式과 케미컬式을 채택해서 그 개발상황을 소개



<그림 6> 冷·暖房出力과 COP

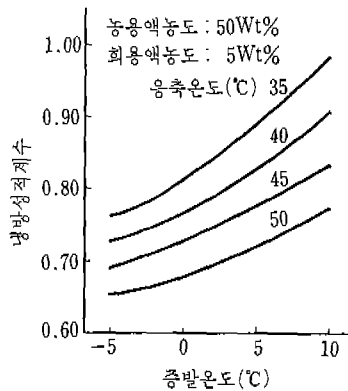
한다.

4.1 吸收式 空調機

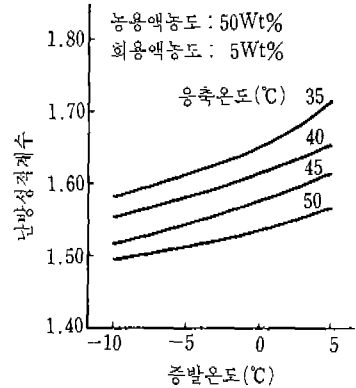
일반적인 空氣調和用으로 많이 이용되고 있는 지금까지의 吸收式 冷溫水機는 리튬브로마이드 (LiBr)를 吸收劑로, 물을 냉매로 이용하고 있다. 이 때문에 吸收式 사이클을 따라서 운전되지만, 난방시에 히트펌프를 동작시키면 외기온이 낮은 때에는 증발온도가 0℃ 이하가 되어 물이 管路中에서 동결해 버리는 문제가 있다. 그래서 난방은 통상, 발생증기를 직접 溫水의 加溫에 사용하는 보일러方式으로 난방효율은 0.8~0.9밖에 안된다.

난방에서 外氣를 熱源으로 이용한 히트펌프 動作을 실현하기 위해서는 물을 吸收劑로 암모니아 (NH₃)를 냉매로 하는 경우가 가장 유망하다. 冷媒인 암모니아는 沸騰點이 -33.4℃이며 외기온이 낮은 때에도 동결할 염려는 없다.

다만, 吸收劑와 냉매의 沸騰差가 적고 발생기에서 나오는 수증기중에 吸收劑가 混入하는 것을 방지하기 위하여 精溜部를 설치하는 등의 노력이 필요하다.



(a) 난방성적계수(계산예)



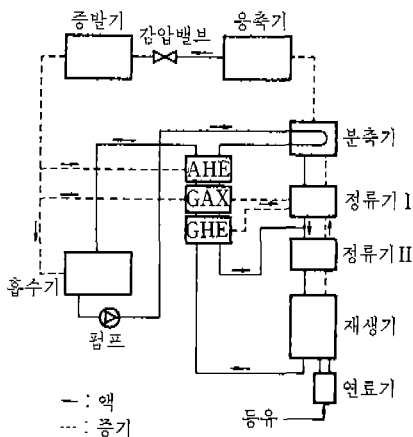
(b) 냉방성적계수(계산예)

<그림 8> 시뮬레이션 計算結果

물/NH₃를 이용한 吸收式 空調機의 연구는 石油産業活性化센터로부터의 보조금을 받아 연차적인 계획을 추진하고 있다. 연료는 燈油이며 주택 용에 소형·고효율인 空氣冷却 시스템을 검토하고 있다. 최종적인 목표치는 냉방/난방능력이 6.997/9.070W{6.000/7.800kcal/h}, 成績係數(COP)가 冷房/暖房에서 각각 0.7/1.3이다. 더욱이 환경면을 중시해서 NO_x 値는 60ppm(O₂=0) 이하이며 低騒音의 장치를 지향하고 있다.

4·1·1 原理

이 空調機의 사이클은 고효율의 GAX 사이클이며 그 구성을 그림 7에 표시한다. 암모니아 증발에 의하여 냉열을 얻는 증발기, 이 증기를 稀溶液에 흡수시키는 吸收器, 암모니아를 발생하는 재생기, 수분을 제거하는 精溜器 및 分縮器, 암모니아를 액화하는 凝縮器, 그리고 AHE, GAX, GHE의 열회수 열교환기로 구성된다. 이 사이클은 재생기에서의 암모니아 濃度變化幅을 크게 잡고 內部熱回收量을 크게 하는 것이 특징이다. AHE는 고온의 흡수열로 흡수기로부터의 濃溶液



<그림 7> 吸收式 空調機 GAX 사이클의 機器構成

을 昇溫하고, GAX는 高溫吸收熱, GHE는 稀溶液의 顯熱을 각각 이용하는 것으로서 재생기의 부하를 경감해서 고효율화를 실현한다.

4·1·2 概況

(1) 傳熱流動 實驗

吸收器에서는 큰 熱通過率을 얻는데 대하여, 증발기에서는 열통과율이 약 350W/m²·K{약 300 kcal/m²h°C}와 낮은 傳熱促進管의 필요성이 확실해졌다.

(2) 抽氣技術

材料腐蝕으로 발생하는 水素가스를 제거하기 위하여 水素의 選擇透過性이 있는 팔라듐을 검토했다. 약 200°C에서의 간이실험에서 2×10⁻⁵~2×10⁻⁴(kg/cm²)/s의 抽氣性能이 확인되어 팔라듐 利用의 유효성이 판명되었다. 금후는 實材料의 부식 시험 결과 등에서 不凝縮가스 발생량을 추산해서 最적인 抽氣裝置를 설계한다.

(3) 再生器

溶液濃度の 재생기 출입구에서의 큰 변화폭(15~20Wt%)에 대응하고 더욱이 精溜機能을 부가한 다단구조의 신형재생기의 試作·試驗을 거쳐 설계치에 근사한 성능을 얻었다.

(4) 사이클 시뮬레이션

그림 7에 표시한 GAX, GHE, AHE의 각 熱交換器와 精溜器에서의 物質 이동을 고려한 시뮬레이션의 계산결과를 그림 8에 표시한다. 응축온도가 낮고 증발온도가 높을수록 COP가 높아지는 경향에 있고 冷房 COP(냉방능력/재생기 열입력)는 蒸發溫度 5°C, 凝縮溫度 45°C, 濃溶液濃度 50 Wt%, 稀溶液濃度 5Wt%의 조건에서 약 0.78이 얻어졌다.

4·1·3 今後の計劃

금후는 시스템 전체에 대한 연구에 치중하게 되지만 각각의 機器에 적절한 방식을 선정해서 우선 소형·고능률화, 다음에 저코스트화를 검토할 예정이다. 또 주택용이라는 관점에서의 운전제어성, 신뢰성도 검토과제로 하고 있다.

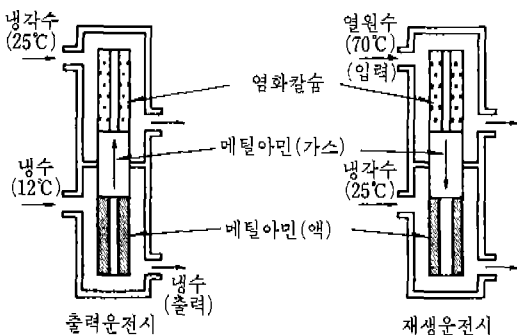
4·2 케미컬식 空調機

排熱回收用 기기에서는 이용할 수 있는 熱源 온도폭이 넓고, 보다 저온의 熱源溫度에서 동작하는 기기가 요망되고 있다. 이러한 점에서 반응을 이용하는 케미컬식 空調機는 熱入力形 중에서 가장 저온의 排熱을 이용할 수 있는 방식이다.

4·2·1 原理

케미컬식 空調機의 원리를 그림 9에 표시한다. 출력 운전시에는 상부에 冷却水, 하부에는 찬물이 흘러, 하부에 있는 메틸아민液이 증발함으로써 冷却를 발생한다. 한편, 재생 운전시에는 상부에 熱源水가 흘러서 염화칼슘에서 메틸아민이 분해하여 하부의 冷却水로 냉각되어 응축하여 液狀態로 축적된다.

이와 같은 두 모드의 운전을 2臺 1組로 해서,



<그림 9> 케미컬식 空調機 動作

서로 번갈아가며 되풀이함으로써 연속적으로 冷却를 取出할 수 있다. 應用 예의 하나로 磷酸型 燃料電池를 대상으로 한 排熱回收가 검토되고 있다. 이 경우 吸收式으로 高位排熱側의 약 85°C까지의 배열은 이용 가능하지만, 특히 低位側의 70°C의 배열에 대해서는 케미컬식이 불가피하다. 에너지의 이용을 최대로 진보시키기 위해서는 吸收式과 케미컬식의 캐스케이드 利用이나 併用이 유효한 시스템이다.

4·2·2 概況

1985년도부터 현재에 이르기까지 關西電力(株) 總合技術研究所와의 共同研究에 의하여, 空調 시스템에의 응용을 중심으로 하여 연구개발에 몰두해 왔다. 이 중에서 1991년도에 70°C의 低溫排熱을 熱源으로 한 6kW의 냉방출력을 가지는 케미컬식 空調機의 시험제작에 성공했다.

현재는 이 케미컬식 空調機와 100kW의 磷酸型 燃料電池와의 조합에 의한 열병합발전소의 實証化 研究를 추진중이다. 또 실용화에의 장애물인 小型化·低코스트화를 추진하는 목적으로 열교환기 구조 등의 연구에 주력하고 있다.

5. 結 論

脫프레온 冷凍·空調 시스템으로서 개발중인 技術에 대하여 그 특징과 현황을 보고하였다. 어느 편 技術도 아직 개발도상에 있지만 에너지使用 合理化, 프레온 規制, 電力平準化 등 사회적 요구에 부응하고 이에 공헌하기 위하여 노력해 나갈 예정이다.

本稿는 日本 三菱電氣(株)의 諒解下에 번역한 것으로서, 著作權은 上記社에 있고 翻譯責任은 大韓電氣協會에 있습니다.