

産業分野에서의 히트펌프의 利用

최근에 히트펌프가 각종 産業分野에서 많이 사용되고 있다. 히트펌프는 空調用, 冷暖房用으로 보급이 되었기 때문에 마치 냉난방용의 설비와 같은 느낌이 있다. 여기에는 이유가 있으며 히트펌프가 가진 冷却機能과 加熱機能을 冷房과 暖房의 두 가지 용도에 이용할 수 있다는 것. 暖房時의 加熱溫度도 비교적 낮아 效率的인 운전을 할 수 있다는데 기인하고 있다.

그러나 최근에는 히트펌프機器와 制御技術의 개발, 개량에 의한 適用範圍의 대폭적인 확대가 진전되어 空調用뿐만 아니라 일반 산업용, 프로세스用으로서 事業, 製造分野에서 사용이 시작되고 있다.

히트펌프는 종래의 보일러를 主流로 하는 加熱設備보다 약간 복잡한데 利用시스템을 충분히 검토함으로써 보일러시스템보다 數倍의 高効率化를 期할 수가 있다. 또한 그 결과 러닝코스트도 數分の 1로 삭감하는 것도 가능하다.

히트펌프의 이용은 앞으로 확대될 것이며 가동시간이 긴 産業分野에서도 에너지節約機器로서 충분히 기대가 되고 있는 것이다.

1. 壓縮式히트펌프의 原理

히트펌프는 別名 熱펌프라고도 하며 水펌프와 마찬가지로 熱을 낮은 곳(低溫部)에서 높은 곳(高溫部)으로 운반한다.

熱이 보일러 등에서 연료의 연소에 의하여 발생하는 것이 아니고 熱의 移送의 결과로서 발생한다. 低溫部에는 冷熱이, 高溫部에는 溫熱이 만들어지므로 결과적으로 에너지의 利用效率이 매우 우수한

것이 된다. 低溫部와 高溫部의 양쪽을 동시에 히트펌프로 결합시켜 사용할 때 열의 利用效率은 최대로 된다.

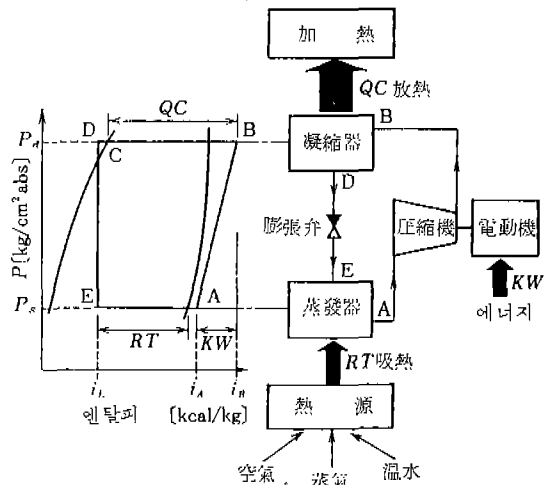
그림 1과 같이 프론 등을 作動媒体로서 壓縮-凝縮-膨脹-蒸發이라고 하는 冷凍사이클을 이용하여 증발부에서 吸熱하여 凝縮部에서 吸收한 熱과 이송하는데 要하는 動力을 放熱한다. 이때 壓縮機를 사용하는 것을 壓縮式, 動力 대신 리튬브로마이드(LiBr)와 물의 吸收, 發熱作用을 사용하는 것을 吸收式 히트펌프라고 한다. 여기서는 壓縮式에 대하여 설명하기로 한다.

그림 1의 모리엘線圖에 따라 사이클을 설명한다.

(i) A→B: 壓縮機에 吸入된 冷媒蒸氣는 압축되어 壓力, 溫度, 엔탈피가 증대한다.

每時冷媒循環量 1kg當

$$i_b - i_a = KW \times 860 \text{ [Kcal/h]}$$



〈그림-1〉 冷凍사이클(모리엘線圖)

(ii) B-(C)-D : 凝縮器에 들어간 高溫高壓 冷媒蒸氣는 被冷却流体에 凝縮熱을 放熱하고 자신은 냉각되어 凝縮, 液化된다. 被冷却流体는 加熱된다. C→D는 凝縮液의 過冷却度를 표시한다.

$$\text{加熱熱量 } QC = i_b - i_c \text{ [Kcal/h]}$$

(iii) D-E : 같은 엔탈피에서 冷媒는 팽창하여 低溫 低壓의 氣液混合體가 된다.

$$i_b = i_e$$

(iv) E-A : 증발기로 들어간 冷媒蒸氣는 冷却流体에서 열을 얻어 자신은 液体에서 氣體로 증발하여 완전히 증발이 종료된 A點에서 압축기에 다시 吸入된다. 冷却流体는 熱을 빼앗겨 냉각된다.

$$\text{冷却熱量 } RT = i_a - i_e \text{ [Kcal/h]}$$

이상에서 冷却熱量和 加熱熱量에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$\begin{aligned} QC &= i_b - i_b \\ &= (i_b - i_a) + (i_a - i_e) \\ &= KW \times 860 + RT \end{aligned}$$

또한 압축기의 動力을 기준으로 成績係數를 표시하면 다음과 같이 整理된다.

加熱成績係數 : C. O. P. H

$$\begin{aligned} \text{C. O. P. H} &= QC / KW \times 860 \\ &= (i_b - i_b) / KW \times 860 \\ &= \{(KW \times 860) + RT\} / KW \times 860 \\ &= 1 + RT / KW \times 860 \end{aligned}$$

冷却成績係數 : C. O. P. C

$$\text{C. O. P. C} = RT / KW \times 860$$

이에 의하여 C. O. P. H = C. O. P. C + 1

2. 히트펌프의 特性

(1) 히트펌프用 壓縮機

冷媒用 압축기로서 현재 사용되고 있는 것은 速度形과 容積形으로 구분된다. 速度形의 대표적인 압축기는 터보(遠心式) 壓縮機이다. 기타 軸流터빈壓縮機도 이 速度形에 속하는데 히트펌프用으로서는 일반적이 아니다.

容積形은 往復動式과 回轉式으로 區分된다. 往復動式에는 多氣筒式, 立型, 橫型 등이 있다. 回轉式에는 스크류壓縮機 로터리壓縮機가 있다.

이들 압축기 중에서 大容量 히트펌프用에 많이

사용되는 것은 多氣筒式, 스크류式이다.

터보壓縮機도 變動條件이 적은 용도에 약간 사용되고 있다. 로터리式은 오직 小形 空調用으로서 사용되고 있다.

히트펌프用 壓縮機로서 필요한 조건은

○大形에서 小形에까지 대응할 수 있다.

○여러 가지의 용도나 變動條件에 따라 넓은 溫度條件, 壓力條件에도 性能이 좋고 耐久性이 우수하다.

등의 점에서 레시프로式, 스크류式 壓縮機가 현재는 主流를 이루고 있다. 또한 이들 압축기는 冷凍機로서 사용되고 있는데 히트펌프用으로서 메카니즘, 性能, 效率이 개량된 것을 사용하는 것이 일반적이다.

특히 히트펌프用 壓縮機로서 스크류壓縮機가 주목되어 사용되기에 이르고 있다.

스크류壓縮機의 특징으로서는 다음과 같은 點을 들 수 있다.

(i) 어떤 冷媒가스도 압축할 수 있다. 壓力, 溫度, 冷媒의 종류를 막론한다.

(ii) 往復動部分이 없으므로 진동이 적다.

(iii) 高速回轉으로 운전되므로 大容量化가 용이하고 또한 小形, 콤팩트하다.

(iv) 起動토크가 작고 토크變動도 작으므로 驅動機에 무리가 없다.

(v) 0~100%의 범위의 無段階容量制御를 할 수 있다. 回轉數制御와 함께 高效率로 폭 넓은 部分負荷運轉을 할 수 있다.

(vi) 部品點數가 적어 摺動部分이 베어링, 메카니칼실 이외에는 없으므로 보수점검까지의 기간이 길며 오래 사용할 수 있다.

(2) 히트펌프의 驅動方法

히트펌프의 驅動方式을 대별하면 다음과 같다.

○電動機驅動

○엔진驅動(디젤, 가스 등)

電動機驅動은 大小를 불문하고 일반적인 것인데 최근 인버터를 사용한 可變速모터를 사용하는 예가 출현하고 있다. 熱의 變動條件에 폭 넓게 대응시키는 용도에는 매우 큰 효과가 있다.

또한 엔진驅動 히트펌프가 재인식되어 사용되기 시작하고 있는데 엔진驅動 히트펌프의 우수성은 다

음과 같은 점에 있다고 하겠다.

(i) 엔진의 排熱을 이용할 수 있으므로 히트펌프의 熱出力에 더하여 效率이 대폭적으로 높아진다.

(ii) 回轉數制御를 용이하게 할 수 있으므로 部分負荷時에도 高效率로 사용할 수 있다.

(iii) 稼動時間이 적은 용도에도 러닝코스트가 싸다(電氣式의 基本요금이 不要)

(3) 히트펌프의 成績係數

히트펌프의 熱效率를 표시하는 指標로서 成績係數(C. O. P)가 사용된다. 成績係數의 표시방법에도 數種類가 있으며 専門적인 技術者 이외에는 이해에 혼란이 생기는 수도 있다.

히트펌프시스템의 熱效率를 표시할 경우에 비교할 경우에는 어떤 값을 사용하는지 正確하게 이해해야 된다. 다음에 表示方法을 든다.

(a) 軸動力基準 成績係數 L의 모리엘線圖로 표시한 바와 같이 히트펌프시스템을 움직이는 에너지는 壓縮機의 驅動力이다. 壓縮機의 軸動力을 기준으로 한 熱出力의 비율이 이 成績係數이며 다음식과 같이 表示된다.

軸動力基準C. O. P

$$\frac{\text{熱出力[Kcal/h]}}{\text{軸動力[KW]} \times \text{일의 熱當量(860[Kcal/KW])}}$$

이 成績係數는 히트펌프사이클 그 자체의 熱效率를 평가하는데 가장 일반적인 것으로 다른 成績係數를 표시할 때의 基本데이터로서도 사용된다.

成績係數는 冷媒의 종류, 사용방법(冷却側, 加熱側)의 온도, 압력)에 따라 變化한다.

그림 2에 프론 12, 그림 3에 프론 114의 壓縮機 軸動力基準의 成績係數를 들었다.

(b) 消費電力基準 成績係數 電氣入力 基準 成績係數라고도 하며 오직 電動式 히트펌프에만 사용한다.

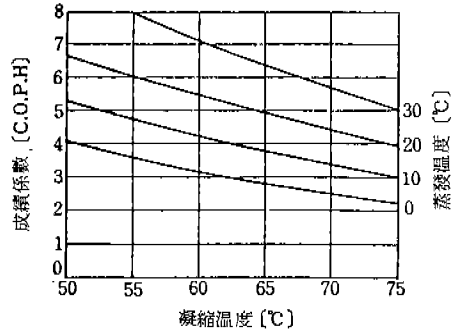
電動式 히트펌프에서 소비되는 電力은 驅動 모터의 效率의 低下만큼 많이 공급해야 된다. 이 경우의 消費電力은 다음 식으로 表示된다.

消費電力基準C. O. P

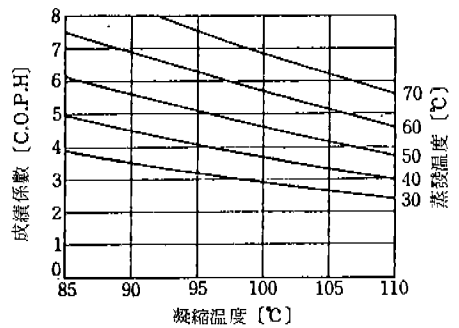
$$= \text{軸動力基準C. O. P} \times \text{모터效率}$$

電動式 히트펌프의 러닝코스트를 계산할 때에는 이 成績係數를 사용해야 된다.

(c) 시스템成績係數 히트펌프를 成立시키고 있



〈그림 - 2〉 R - 12中溫히트펌프成績係數



〈그림 - 3〉 R - 114 高溫 히트펌프成績係數

는 모든 動力(水펌프, 팬 등 全補助動力)을 포함한 投入에너지에 대한 熱出力의 비율로서 消費電力基準으로 표시된다.

(d) 1次에너지換算 成績係數 엔진驅動 히트펌프에 사용되는 成績係數로서 投入한 燃料(重油, 燈油, 가스)에 대한 熱出力의 비율로 다음 식과 같이 표시된다.

1次에너지換算成績係數C. O. P

$$= \frac{\text{熱出力[Kcal/h]}}{\text{燃料消費量}[\ell/h] \times \text{燃料發熱量[Kcal/\ell]}}$$

단, 燃料發熱量은 排氣가스의 熱量을 水分의 露點 이하까지 내려 回收할 때에는 高位發熱量을 사용한다. 그 이외에는 일반적으로 低位發熱量을 사용한다.

또한 이 表示方法을 채용한 成績係數를 PER (Primary Energy Ratio)로 略稱한다.

이밖에도 몇가지의 表示方法이 있으며 機器 특유의 값으로서 표시하는 수도 있으므로 내용을 잘 이해해야 된다.

표 1에 종래의 보일러와 히트펌프의 成績係數를

사용했을 때의 1000Kcal 당의 러닝코스트의 計算例를 들었다.

〈표 - 1〉 1000kcal 당의 러닝코스트比較

電氣히터	發熱量 860kcal/kWh	
	174.5원 效率 1 電氣代 150원 /kWh	$\frac{1,000}{860 \times 1} \times 30$
보일러	發熱量 8,000kcal/l	
	71.5원 效率 0.7 石油代 400원 /l	$\frac{1,000}{8,000 \times 0.7} \times 80$
히트펌프	COP 3의 경우	
	63원 效率 0.92 電氣代 150원 /kWh	$\frac{1,000}{860 \times 3 \times 0.92} \times 30$
	COP 5의 경우	
	38원	$\frac{1,000}{860 \times 5 \times 0.92} \times 30$

(4) 히트펌프의 利用可能溫度範圍

히트펌프는 冷暖房用으로서 개발되어온 것은 앞에서 記述한 바와 같다. 暖房用途에서의 온도는 비교적 低温이다.

이 경우 히트펌프의 昇溫溫度(取出溫度)는 낮아도 되며 效率는 높다. 현재 히트펌프를 사용한 溫水暖房시스템에서는 標準溫度 45℃ 溫水이다. 그러나 다른 용도에서는 좀더 높은 온도로 사용하고 싶은 경우가 많다. 히트펌프시스템의 取出溫度의 한계를 결정하는 요소는

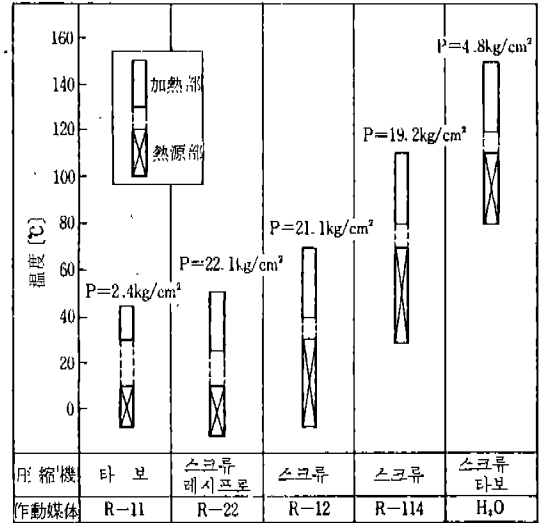
- (i) 冷媒의 熱安定性 및 使用壓力에서 오는 限界
- (ii) 壓縮機의 종류 구조에서 오는 限界
- (iii) 使用時의 熱의 상승점온도와 사용온도의 效率의 限界
- (iv) 다른 加熱手段(보일러 등)과의 경제성 比較에 의한 限界이다.

그림 4에 종래의 空調分野에서 최근의 産業分野에 적용하는 高溫度域까지 히트펌프로 가능한 범위를 표시했다.

3. 히트펌프의 使用事例

(1) 溫泉, 沐浴湯에서의 사용

이 事例는 低温溫泉을 熱源으로 한 히트펌프에 의



〈그림 - 4〉 壓縮機作動媒体別에 의한 히트펌프의 溫度域

하여

(i) 浴湯에서 사용하는 湯(浴槽用, 행구는 湯用)의 제조

(ii) 浴槽의 保温

의 두 가지를 처리하고 있다.

設備概要

히트펌프形式 마이컴크리슈퍼 CS50-JSC

熱出力 140000kcal/h

取出溫度 53℃

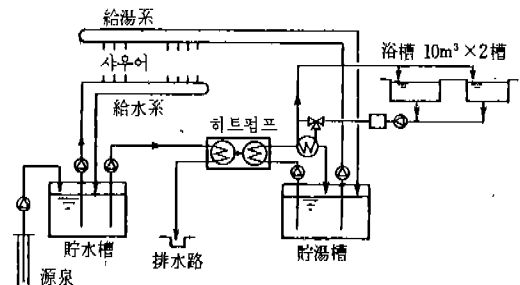
電動機 37KW 高效率모터

壓縮機 MYCOM-F 6 A (레시프로식)

熱源 20℃ 低温 溫泉水

시스템의 系統을 그림 5에 들었다.

이 事例는 신규설비이며 보일러設備는 없다. 보



〈그림 - 5〉 溫泉 히트펌프系統圖

일터를 설치한 경우와 히트펌프의 러닝코스트를 비교하면 히트펌프는 보일러의 54.7%에 불과하다.

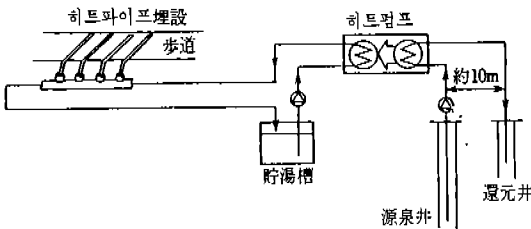
(2) 히트펌프에 의한 歩道融雪

이 사례는 歩道の 消雪시스템의 모델케이스이다.

設備概要

消雪規模	延長 141m
面積	390m ²
加熱能力	144000kcal/h
放熱部	히트 파이프
熱源	地下水 18℃, 190C/min
히트펌프	電動式 42.5KW
消雪能力	20cm/日

이 예의 시스템系統圖를 그림 6에 들었다.



〈그림-6〉 消雪시스템系統圖

道路의 消雪에 地下水散布가 많이 채용되어 왔다. 이 방법은 코스트가 싸고 확실한데 大畧의 지하수를 소비하기 때문에 地盤沈下의 2次災害가 발생하거나 지하수가 고갈되거나 하기 때문에 앞으로 무제한으로 증설할 수는 없다. 또한 그밖에 電熱線埋立加熱에 의한 로드히팅도 많이 실시되어 왔는데 경제성면에서 難點이 있는 것이 현상이다.

이 히트펌프에 의한 사례에서는 위의 欠點을 기본적으로 개선한 것이다. 즉

(i) 地下水는 이용하는데 히트펌프의 熱源으로 한 후에는 地下로 환원하고 있다.

(ii) 히트펌프이기 때문에 電熱히터의 4~8 배의 熱出力을 얻을 수 있다. 러닝코스트를 대폭적으로 절약할 수 있다는 점에서 크게 메리트가 있다.

(3) 塗裝工程의 히트펌프

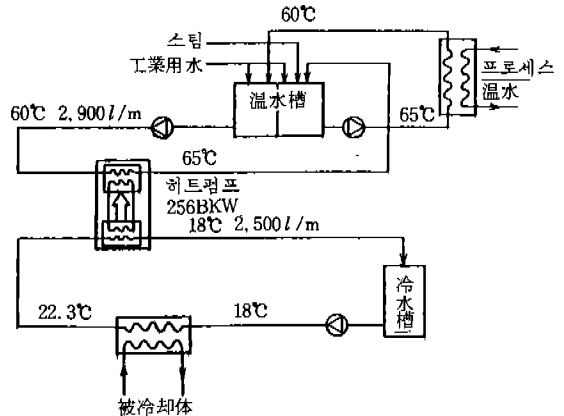
이 사례는 自動車工場의 塗裝라인, 塗裝工程에 히트펌프를 채용하여 熱의 효과적인 이용을 기도한 예이다.

시스템의 系統圖를 그림 7에 들었다. 이 시스템은 히트펌프가 가진 냉각과 가열의 두 가지의 機能을 동시에 사용하는 가장 效率인 사용방법이다.

종래까지 이 工程은 塗裝의 前處理段階의 洗淨用 溫水를 보일러에서 만들어 塗料의 溫調用 冷却水를 냉동기에서 별도로 만들고 있었다. 여기에 히트펌프를 채용함으로써 보일러와 冷凍機의 양쪽이 필요 없게 되며 설비도 작아져 낭비가 전혀 없어지게 되었다.

設備概要

加熱能力	860000kcal/h 65℃
冷却能力	645000kcal/h 18℃
軸動力	256KW
壓縮機	MYCOM-F250S 스크류壓縮機



〈그림-7〉 塗料溫調히트펌프系統圖

(4) 메타놀 精留工程의 히트펌프

메타놀의 精留에서 塔頂에서의 메타놀蒸氣를 凝縮, 液化하는 과정에서 熱回收를 하여 高温히트펌프에서 昇溫하여 150℃의 高温水를 만들어 塔底의 리보일러의 熱源으로 한다.

시스템系統圖를 종래의 것과 비교하여 그림 8에 들었다.

시스템條件

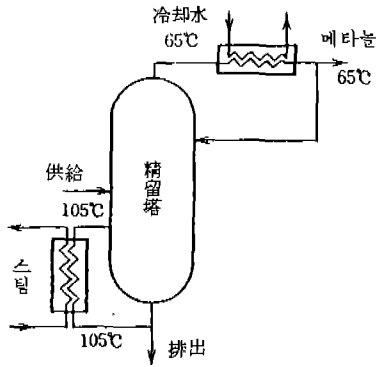
메타놀蒸氣量: 5000kg/h

메타놀凝縮潛熱: 266.7kcal/h

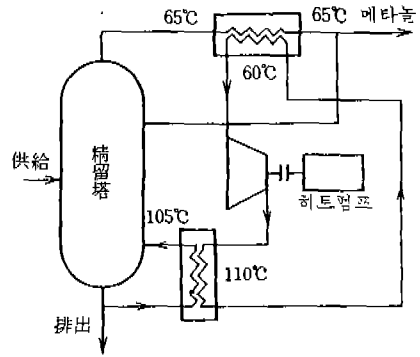
메타놀凝縮熱量:

$$5 \times 10^3 \times 266.7 = 1334000 \text{kcal/h}$$

溫水出入口溫度: 105℃ → 100℃



(a) 히트펌프 부착 전



(b) 히트펌프 부착 후

〈그림 - 8〉 메타놀精留工程에서의 히트펌프

히트펌프의 凝縮溫度: 110°C

히트펌프의 蒸發溫度: 60°C

設備概要

加熱能力 1720000kcal/h

回收能力 1334000kcal/h

軸動力 446KW

壓縮機 MYCOM-F250L 스크류壓縮機

히트펌프가 産業分野에서 사용이 시작된 후로 아직 日淺한데 亦例에서 설명한 바와 같이 현재 있는 프로세스를 재검토함으로써 여러 가지 用途에 적용

시키는 것이 可能하다는 것이 서서히 인식되어가고 있다. 보일러시스템과 같이 歷史가 깊어 누구의 머리에 도 정확하게 이해가 되고 있는 것과는 다른 새로운 기술이다.

高温의 히트펌프가 개발된지는 아직 數年밖에 되지 않았다. 단지 덩어리는 것이 아니고 반드시 熱의 回收가 필요하다는 사용상의 연구가 필요하나 앞으로의 産業發達에는 반드시 필요한 에너지節約技術로서 보급되어 갈 것은 틀림없는 사실이다.

*

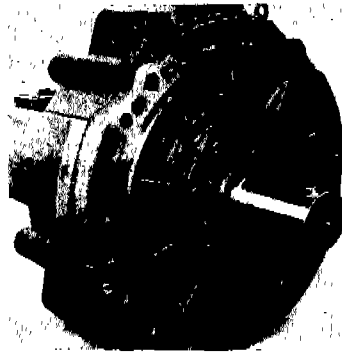
〈해외 신제품〉

高扭矩의 低速 油圧모터

HIGH-TORQUE, LOW SPEED HYDRAULIC MOTORS

● 메이커: Sauer United Kingdom Ltd, Doddington Road, Lincoln, England LN6 3RA. Tel: Lincoln (+44 522) 685244, Telex: 56381

起動회전력이 뛰어난 고성능의 低速 유압모터가 개발되었다. 이 유압모터는 최대 연속出力 定格이 245Kw, 최대 연속압력이 350바에 달하는 외에도 출력 손실이 극히 낮은 특징을 지니고 있다. 이 SMA모터는 회전케이스 또는 단일 및 2중, 3중의 變位방식을 선택적으로 활용할 수 있는 회전축을 갖는 9종의 프레임으로 구성되어 있다. 이 모터는 또 특수한 설계방식을 채택, 크랭크축에서 이동하는 偏心機에 설치된 실린더블록에서 放射狀으로 작동하는 5개의 피스틴袖管을 갖는다. 이같은 설계구조에 의해 피스틴과 크랭크축의 기계적 연결부품을 불필요하게 함으로써 출력손실을 크게 감소시킬뿐 아니라 유



압시스템에의 압력공급이 차단된 경우 모터가 거의 무시해도 좋은 저항을 받아 慣性에 의해 구동되는 自在輪의 기능을 할 수 있도록 하는 것이다. 모터에

대한 油圧의 공급이 재개되면 구동장치는 다시 連動하게 된다.

단일 變位방식의 모터는 모델에 따라서 分當 240~480회전의 최대 연속작동속도를 갖는다. 또 2중 變位 및 3중 變位식 모터의 최대 연속작동 성능은 分當 480~960회전에 달한다. 그밖에도 필요한 경우 일시적으로 보다 높은 회전속도로 작동시키는 것도 가능하다. 최대 變位조건에서 작동하는 경우 어느 방식의 모터에서나 이론적으로 5.40~55.81 Nm/bar 범위의 起動회전력을 제공해 줄 수 있다. 그러나 최소 變位조건에서 작동하는 2중 및 3중 變位式 모터의 경우 발휘되는 起動회전력의 출력범위는 2.05~21.26Nm/bar로 낮은 수준이다.