

# 공기 냉동 시스템 “파스칼 에어” 소개

최근 자연냉매화로의 움직임에 힘입어 완전한 자연 냉매인 공기를 이용하여  $-50^{\circ}\text{C}$  이하의 초저온영역에 대응 가능한 냉동기 시스템 파스칼 에어에 대하여 소개한다.

## 머리말

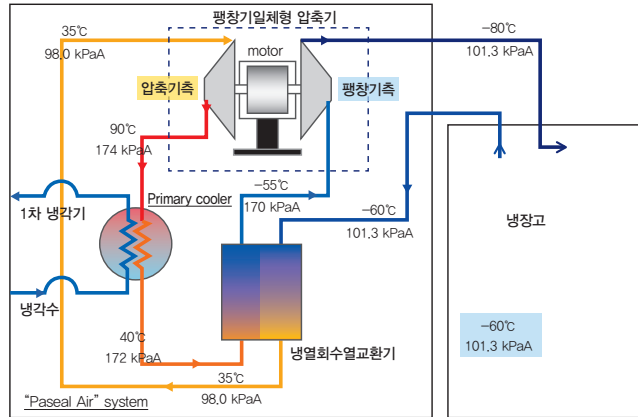
식품, 농·수산업, 음료, 유업 등의 산업용 냉동·냉장 시장에서 이제까지 사용되고 있는 냉매인 수소불화탄소(HFCs)가 오존층 파괴와 지구온난화에 크게 영향을 끼치고 있는 것은 명백한 사실이며 그 대책 마련이 시급한 실정이다.  $-40^{\circ}\text{C}$ 까지의 온도영역은 암모니아와  $\text{CO}_2$ 를 이용한 자연냉매 전환이 진행되고 있으나,  $-50^{\circ}\text{C}$  이하의 초저온 영역에서는 대책 마련이 지연되고 있는 상황이다. 현재 HFC23/HCFC22의 증기 압축식 이원 냉동 방식이 사용되고 있으나, HCFC22는 몬트리올 의정서의 규제 대상 물질이며, 일본에서는 2010년에 신규설비가 사용 금지, 2020년에는 전폐된다. HFC23은 오존층 파괴 계수 ODP는 0이지만, 지구온난화 계수 GWP가 11,700으로 높으며 HCFC22의 제조 공정에서의 부산물이라는 이유로 HCFC22 전폐 후에는 수급에 곤란이 예상되고 있다. 이러한 배경을 근거로 당사는  $-50^{\circ}\text{C}$  이하의 초저온 영역을 대상으로 한 궁극적인 자연 냉매「공기」를 이용한 냉동기 시스템「파스칼 에어」를 개발했다.

이시즈카 노부야

(주)마에카와제작소

생산그룹 생산기술팀

nobuya-ishitsuka@mayekawa.co.jp



[그림 1] 파스칼 에어의 흐름도

### 공기 냉동 시스템의 개요

#### 시스템 개요

공기는 우리에게 가장 친숙한 기체로, 오존층 파괴 계수인 ODP와 지구 온난화 지수인 GWP가 모두 0이며 독성, 가연성도 없기 때문에 궁극적인 자연냉매라고 할 수 있다. 또한, 본 냉동 사이클은 일반적인 브레이튼 사이클의 방열과 흡열이 반대로 작용하는 역브레이튼 사이클이며, 상변화가 없는 가스 사이클이다. 단열 압축한 후 방열, 단열 팽창 후에 흡열한다. 당사가 개발한 공기 냉동 시스템 「파스칼 에어」는 냉동·냉장고 내의 초저온 공기를 직접 냉매로서 순환시키는 시스템이며, 팽창기 일체형 압축기, 1차 냉각기, 냉열 회수 열교환기

의 3개의 기기로 구성된다. 그림 1은 고내 -60°C에서의 개략적 흐름을 나타낸다.

① 고내에서 흡입한 대기압, -60°C의 공기는 냉열 회수 열교환기로 보내진다. ② 냉열 회수 열교환기에서는 1차 냉각기에서 40°C로 냉각된 공기와 열교환되어 35°C의 공기가 된다. ③ 35°C의 공기는 팽창기 일체형 압축기의 압축기측에서 압축되어 174 kPa·90°C의 공기가 된 후, 1차 냉각기에서 40°C까지 방열된다. ④ 40°C의 공기는 냉열 회수 열교환기에서 고내로부터 흡입한 -60°C의 공기와 열교환하여 -55°C로 냉각된다. ⑤ 170 kPa·-55°C의 공기는 팽창기 일체형 압축기의 팽창기측에서 단열 팽창되어 101.3 kPa·-80°C의 공기가 되어 냉장고 안으로 분출된다.

그림 2는 파스칼 에어(PAS30-R)의 외관사진을 나타낸다.



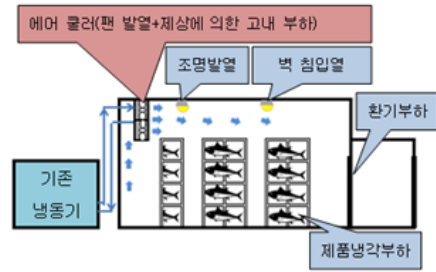
[그림 2] 파스칼 에어 외관사진

#### 시스템 특징

주요 기기는 팽창기 일체형 압축기, 냉열 회수 열교환기, 1차 냉각기로 3개이다. 팽창기 일체형 압축기는 중앙에 내장 모터를 배치하고 압축기와 팽창기를 동축 구조로 하였다. 또한, 냉매를 단열 팽창할 시에 얻는 에너지를 모터를 통해 압축기의



[그림 3] 팬창기 일체형 압축기



[그림 4] 기존 시스템

보조동력으로 사용함으로써 압축기 동력을 약 2/3로 하여 고효율 운전이 가능하도록 하고 있다. 그림 3은 팬창기 일체형 압축기의 사진을 나타낸다.

파스칼 에어는 0.1 MPa 이하로 운용되므로 저압용기이며 안전한 시스템이다. 이제까지의 시스템에서 사용되고 있는 냉매, 수소불화탄소(HFCs)는 공기보다 무겁기 때문에 누설 시 지표면에 머물게 되어 최악의 경우 기계실 내에서 직원의 산소 결핍 사고가 일어날 가능성도 있다. 파스칼 에어의 경우에는 냉장고 내의 공기를 직접 사용하는 개방 사이클이므로 누설되더라도 공장 주변에 환경오염이 없고, 지역 주민이나 사용자 직원에게도 매우 안전하다.

또한, 전기설비, 냉각수 배관, 공기 덕트 공사만으로 냉장고 내에 공기를 투입시킬 수 있기 때문에 기존 설비를 운용하면서 공사가 가능하며 단기 리

뉴얼 공사도 가능하다.

표 1은 파스칼 에어의 제원을 나타낸다.

### 파스칼 에어와 기존 시스템과의 비교

그림 4는 기존 시스템의 개략도, 그림 5는 기존 냉장고의 사진을 나타낸다. 또한, 그림 6은 파스칼 에어 시스템의 개략도, 그림 7은 파스칼 에어를 납입한 냉장고 사진을 나타낸다.

기존 냉동 시스템은 냉매로부터 열을 냉장고로 전달하기 위해 고내에 에어 쿨러가 설치되어 있다. 에어 쿨러에 탑재되는 팬 모터의 발열은 냉장고의 냉각부하의 한 요인이다. 또한, 에어 쿨러에는 서리가 부착되어 열교환 효율을 저하시키므로 정기적인 제상을 할 필요가 있다. 고내 제상 방식에는 여러가지 있지만, 어느 방식이라도 고내온도를 상승시키

<표 1> 파스칼 에어 제원

구분	PAS15	PAS30
냉매	공기	
냉동능력*	15 kW	30 kW
압축기 축동력	30 kW	60 kW
전원전압(동력)	3φ 200/220 V	3φ400/440 V
전원전압(제어)		3φ200/220 V
운전 회전수 범위	10,000~25,000 rpm	10,000~18,000 rpm
유닛 치수	L5,000 x W2,200 x H2,800	L4,500 x W2,200 x H2,800
유닛 중량	4,900 kg	5,900 kg

\* 폐사 조건에 따른 고내온도 -60℃의 경우.



[그림 5] 기존 냉장고



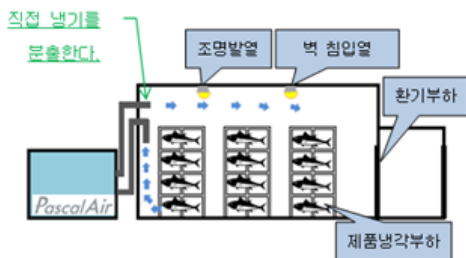
[그림 7] 파스칼 에어 냉장고

며 이것도 냉동 부하 증가의 한 요인이 된다.

그림 4에서 기존 냉장고는 고내에 대형 에어 쿨러가 설치되어 외기 및 물품에서 혼입되는 수분으로 인해 에어 쿨러에 다량의 서리가 부착되어 있음을 알 수 있다.

파스칼 에어는 고내의 공기를 흡입하여 냉각하고 직접 분출하는 구조이므로 고내에 에어 쿨러가 없고, 내부 제상에 의한 온도 상승도 없다. 팬 모터의 발열, 고내 제상이 없으므로 최대 30%의 에너지 절약을 실현할 수 있다.

파스칼 에어의 냉장고 내에는 냉풍의 분출 덕트 및 흡입 덕트만이 배치되어 물품의 보관 공간을 약 10% 증대할 수 있다. 또한, 공기중의 수분으로 인한 서리에 관하여는 파스칼 에어 유닛 내 제상 처리가 가능하므로 에어 쿨러에서 발생하는 팬 동력분의 열부하나 서리로 인한 열교환 손실이 없어



[그림 6] 파스칼 에어 시스템

고내에 열을 투입할 필요가 없고 고내 온도가 일정하게 유지됨과 동시에 열손실을 대폭적으로 줄일 수 있다. 고내 온도와 분출 공기 온도의 차가 20℃ 나 되므로 기존 에어 쿨러에 의한 냉각방식(온도차 2~3℃)과 비교하여 고내 공기 순환량은 1/10이 되고 바람으로 물품을 건조시키지 않아 품질 유지 효과와 체감기온의 상승으로 인한 작업자의 부담을 경감시키는 효과도 있다.

### 납입실적

2009년 11월에 제1호 파스칼 에어를 참치·가물치용 초저온 냉장고(신설)에(공칭능력 8,000톤, 고내 온도 -55℃, 시즈오카현 아이즈시) 6대 납입하였다. 그 후, 일본 국내에 순조롭게 납입실적 대수를 늘려 2014년 9월에 해외에서 처음으로 한국 부산에도 3대 납입하였다. 2015년 3월 말에는 합계 50대를 납입할 예정이다. 주요 납입시장은 참치·가물치용 초저온 냉장고이나, 식품 동결 장치용에 3대, 제약 공장에도 2대의 납입실적이 있다.

### 맺음말

품질 유지를 위해 -50℃ 이하의 고내 온도를

필요로 하는 참치·가물치 보관 냉장고에서 사용 되는 냉각 시스템은 기존 냉매에 HCFC22를 사용한 증기 압축식 프레온 냉동 시스템, 또는 저원측 냉매에 HFC23, 고원측 냉매에 HCFC22를 사용한 증기 압축식 이원 냉동 시스템이 주류였으나, HFC23 및 HCFC22는 모두 프레온계 냉매이며 지구 환경 부하를 증대시키는 냉매이다. 전자는, ODP는 0이나 GWP가 11,700으로 매우 높으며 또한 후자는 ODP가 0.055이나, GWP가 1,700으로 지구 환경에 악영향을 미친다고 보이는 냉매로서 특히 HCFC22는 몬트리올 의정서의 규제 대상 냉매로서 2020년에는 전폐될 것으로 규정된 수명이 짧은 냉매이기도 하다. 파스칼 에어는  $-60\sim-100^{\circ}\text{C}$ 의 저온공기를 직접냉매로서 순환시키는 시스템이며, ODP도 GWP도 모두 '0'인 궁극적인 자연 냉매 공기를 사용하고 있으므로 지구 환경부하가 전혀 없다. 파스칼 에어의 적용 시장은, 주로 참치·가물치용 보관 냉장고 시장이 가장 유력할 것이라고 생각할 수 있으나 적용 가능 시장은 폭넓다. 향후 「식품 급속 동결 장치」, 「진공 동결 건조(freeze-dry)」, 「케미컬 프로세스 냉각」, 「의료·의약품 냉각」, 「반도체 제조공정」, 「가전 리사이클(동결파쇄)」 등, 지금까지 액체 질소 냉각 시장으로 알려진 이용 온도 영역

$-50\sim-100^{\circ}\text{C}$ 의 초저온 영역을 필요로 하는 산업 분야에의 인식 변화와 판매 활동에도 동시에 주력할 방침이다.

## 참고문헌

1. Machida, A., 2010, Development of an Air Refrigeration System Pascal Air, and application consideration to large ships, Proceeding of the 2010 JIME Annual Conference.
2. Machida, A. and Boone, J., 2011, Development of Air Refrigeration System Pascal Air, The 23rd IIR International Congress of Refrigeration.
3. Ishitsuka, N., Abe, K., and Mugabi, N., 2006, Development of a high performance dehumidifier air cycle using an advanced polymer sorbent, The international symposium on New refrigerants and Environments technology.
4. Ishitsuka, N. and Mugabi, N., 2014, A refrigeration system using Air as the working fluid, Asian conference on refrigeration and air conditioning. 