

NH₃/CO₂를 적용한 NewTon3000의 에너지절약효과

■ 아사노 히데요 / (주) 마에카와 제작소, hideyo-asono@mayekuwa.co.jp

일본의 마에카와 제작소에서 개발한 자연냉매를 사용하는 에너지 절약형 냉동장치인 NewTon3000을 소개하고 냉동창고에 이 시스템을 적용했을 때에 총에너지 소비량이 획기적으로 저감됨을 설명하고자 한다.

서론

현재 우리는 세계적으로 지구 환경 문제에 직면하고 있으며 산업용 냉동장치 분야에서도 그 대응을 강요당하고 있다.

일본에서는 오랜 세월에 걸쳐서 HCFC-22를 냉매로 하는 냉동 설비가 건설되어 냉장창고나 냉각 기용으로 이용되고 있으며 약 13,000대가 가동되고 있는 것으로 추정된다.

그러나 HCFC-22는 몬트리올 의정서에 의해 오존층파괴 규제 물질로 선정, 2020년 전폐될 예정이며 그 시기가 가까워짐에 따라, 수많은 HCFC-22 냉각 설비를 대체할 대책 마련이 시급하게 되었다. 이에 마에카와제작소에서는 일본 환경성의 지원을 받아 자연 냉매를 사용한 에너지 절약형 냉동 장치, NewTon3000을 개발하게 되었다.

본 원고에서는 NewTon3000의 특징과 실제 납입 사례를 소개하고 사례를 바탕으로 에너지 절약 효과에 대해 검증하도록 한다.

Newton3000의 개발의 목적

냉동창고의 온도역중에서도 가장 수요가 많은 F급(창고 내 온도 -25℃)용으로써 「NewTon3000」

을 개발하는 것에 즈음해 다음의 목표를 세웠다.

- 오존층 파괴나 지구 온난화에 기여하지 않는 자연 냉매를 사용한다
- 에너지 기원의 CO₂ 배출량을 삭감하기 위하여 기존 제품대비 에너지 소비량을 20% 절약한다.
- 사용자가 안심하고 사용할 수 있는 장치를 개발한다.

암모니아(NH₃) 냉매

자연 냉매 중에서 가장 일반적이고 범용적인 냉매가 NH₃이며 그 열특성은 뛰어나 HCFC-22보다 고효율로 운전하는 것이 가능하다.

한편 독성을 가지기 때문에 「안전한 NH₃ 냉동장치」을 실현할 필요가 있어 다음의 기술 과제를 해결할 필요가 있었다.

간접 냉각 방식

NH₃ 냉매가 누설 되었을 때 작업자나 피냉각물에 영향을 끼칠 수 있는 리스크 발생을 방지하기 위해서 2차 냉매를 사용한 간접 냉각 방식을 채용하고 있다. 이 방식을 채용함에 따라 NH₃는 기계실 내부에서만 순환하게 되며, NH₃의 충전량은 직접 냉각 방식의 약 1/5로써 줄어들게 되었다.

표 1은 대표적인 2차 냉매인 염화 칼슘의 물성치를 기준으로 하여, 염화칼슘, 기산계(콜드 브라인)과 CO₂를 2차 냉매로 이용할 경우의 특성을 비교하고 있다. 표에서 나타내는 바와 같이 CO₂는



<표 1> 2차 냉매의 특성 비율

종류	점도	열밀도	유량	펌프동력
염화칼슘	1.00	1.00	1.00	1.00
기산계	0.44	1.05	0.96	0.68
CO2	0.01	113.5	0.033	0.10

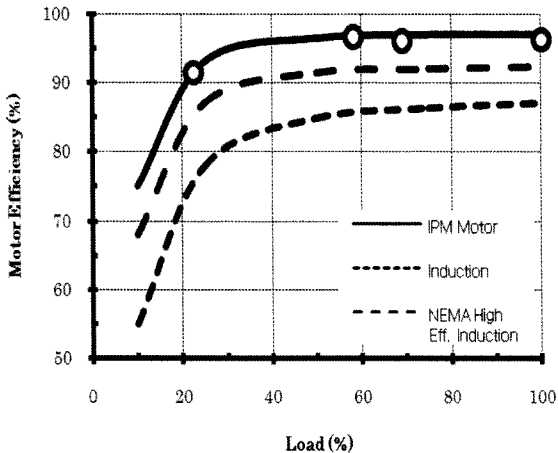
열밀도가 가장 높은 반면 점도와 펌프 동력 소비가 가장 낮으면서도 인체에 무해하므로 최적의 2차 냉매라고 판단된다.

누설방지 구조

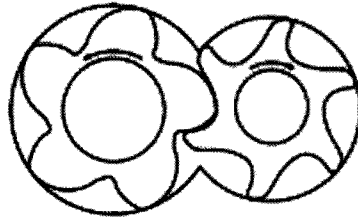
냉매 누설에 있어서 종래형의 NH₃ 압축기가 본질적으로 가지고 있는 과제는 축봉장치(샤프트 씸)를 가지고 있다는 것이다. NewTon3000에서는 NH₃ 냉매에 견딜 수 있는 특수한 재료를 사용한 반밀폐식 모터를 채용하는 것으로 이 문제를 근본적으로 해결하고 있다.

에너지 절약화 기술

지구 온난화 대책으로써 에너지 기원의 CO₂ 배출량을 삭감하는 것도 매우 중요하므로 NewTon 3000에서는 기존품 대비 소비 전력의 20% 삭감을 목표로 했다.



[그림 2] 모터의 효율 비교



[그림 1] 신형 로터 치형

새로운 로터치형(Profile)의 채용

고내온도 -25℃의 저온에서 이용되는 냉동기이므로 스크류 2단 압축기를 채용, 스크류 내부의 리크를 줄여 효율을 향상시키기 위해서 새로운 로터 치형(Profile)을 개발했다(그림 1 참조).

NH₃는 HCFC나 HFC와 대비 분자량이 작기 때문에 새기 쉬운 성질을 가지고 있다. 따라서 로터의 설선 길이를 짧게 하고, 또한 클리어란스를 가능한 작게 하는 것으로 효율을 향상시키고 있다.

IPM 모터

모터의 효율을 향상시키기 위해서 동기식의 IPM (Interior Permanent Magnet) 모터를 채용하고 있다. 통상의 유도식에 비해 약 5 ~ 10% 효율이 높다.

NH₃ 냉동기에 있어서 반밀폐형의 IPM 모터를 탑재하는 것은 세계에서 첫 시도이다(그림 2 참조).

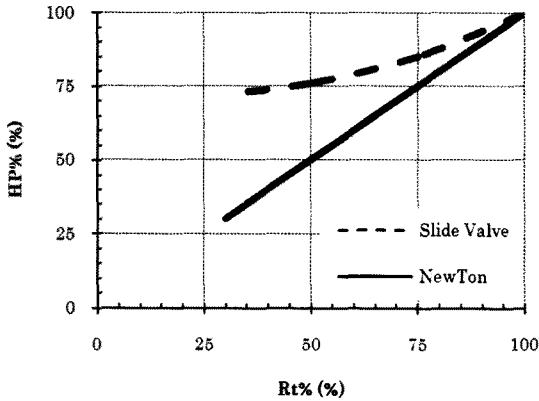
인버터 구동

동기식인 IPM 모터를 운전하기 위해서는 드라이버가 필요하게 된다. 이 드라이버로써 인버터를 사용하고 있으므로 부분 부하에 대응하기 위해서 무단계의 회전수 제어를 행하고 있다.

부분 부하에 있어서 종래의 슬라이드 밸브식과 비교했을 때 인버터에 의한 회전수 제어의 에너지 절감 효과가 월등히 우수하다는 것을 알 수 있다 (그림 3 참조).

더블 이코노마이저 (Double Economizer)

2단 압축에서는 응축기로 액화된 NH₃ 냉매액을 중간냉각기(Inter Cooler)에서 과냉각시켜 냉동 효과를 크게 하고 있다. 여기에 저단기의 이코노



[그림 3] 부분 부하 특성

마이저를 추가하여 더욱더 과냉각도를 증대시키는 것으로 냉동 능력과 효율을 향상시키고 있다.

그림 4는 중간냉각기(IC)를 채용했을 때와 저단 이코노마이저(EC)를 동시에 적용했을 때(더블 이코노마이저)의 냉동능력(Rt%), 동력(HP%) 및 성적 계수(COP%)의 비를 각각 나타내고 있다.

TC/TE= 40/-35℃일때 중간 냉각기에(IC)에 저단 이코노마이저를 추가하면, Rt%가 6.1%, HP%가 5.5% 증가하여 COP%도 1.0% 증가하는 것을 알 수 있다.

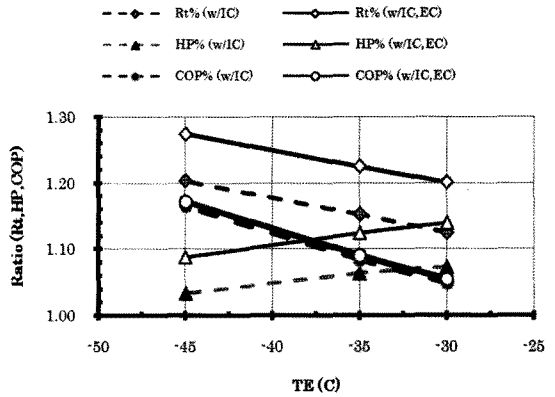
NewTon3000

앞서 설명한 신기술들을 집성하여 완성된 것이 바로 NewTon3000이다. NewTon3000 압축기를 그림 5에, NewTon3000 압축기를 탑재한 유닛을 그림 6에 나타내었다.

유닛의 NH₃ 계통은 전부 조립되어 있고 거기에 CO₂액화기, 수액기와 CO₂ 펌프도 설치되어 있다. 따라서 현장에서는 냉각수, 전원 및 CO₂ 라인을 연결하면 곧바로 가동이 가능하므로 공사기간이 단축 될 수 있다.

납입 사례와 에너지 절약 효과

NewTon3000은 2008년에 완성된 이래 많은 고객 들로부터 지지를 받고있으며, 2011년 2월 현재까



[그림 4] 더블 이코노마이저 효과

지 약 130대가 납입되었다.

이 장에서는 기존의 HCFC-22 냉동 설비의 교체 설비로써 설치된 리뉴얼 물건과 신규 건설된 냉장 창고에 설치된 납입 사례를 소개하고 납입 사례를 바탕으로 실제의 에너지 절약 효과에 대해 소개한다.

일본에서는 건축되어 20년 이상 경과된 낡은 냉동 창고가 전체 창고의 60%를 차지한다고 한다.

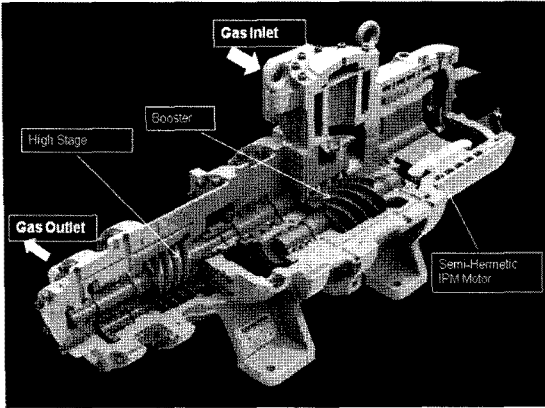
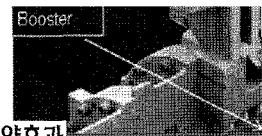
이러한 설비의 대부분이 HCFC-22 냉매를 사용하고 있을 뿐만 아니라 또한 교체시기가 도래하였으므로 NewTon3000으로의 교체 설치하게 되었다.

여기서 소개하는 사례는 2009년에 교체 설치된 4건의 냉장 창고이며, 1년간의 전력 사용량의 절감 효과를 조사한 결과는 표 2와 같다. 4건을 평균하면 NewTon3000으로 교체함으로써 31%의 에너지가 절약된 것을 알 수 있다.

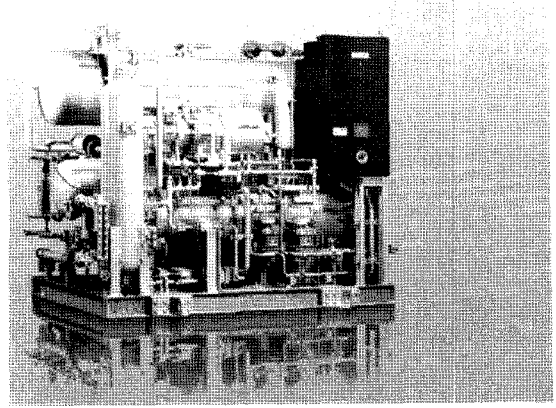
표 2의 전력 소비량은 사무실기기, 조명이나 방송 기기류도 포함된 냉동창고 전체의 전력 소비량이며, 전력회사의 청구서로부터 취득한 것이다.

일반적으로 냉동창고 전체의 소비전력중에서 냉각 설비가 차지하는 비중은 약60 ~ 70%이다. 따라서 이번 NewTon3000을 교체 설치한 4건의 냉동 창고에서 실제로 냉각 설비부분에서 소비하는 전력 사용량은 약 44 ~ 52%정도 절감되었다고 할 수 있다.

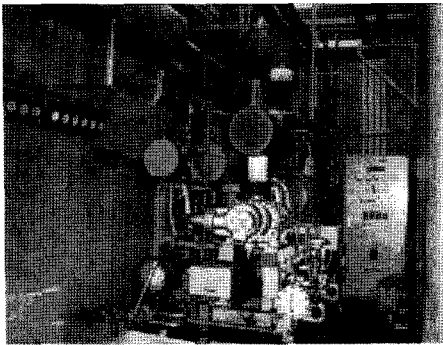
Case A의 리뉴얼 전후 기계실의 사진을 그림 7



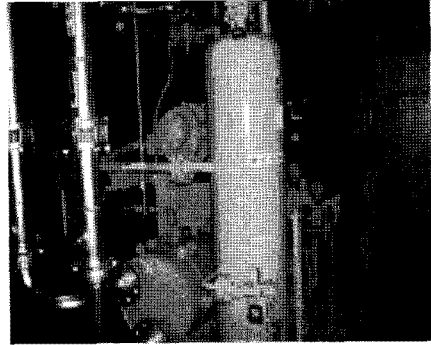
[그림 5] NewTon3000 압축기



[그림 6] NewTon3000 유닛



a) Existing Screw



b) NewTon3000

[그림 7] Case A의 기계실

에, 리뉴얼 전후의 전력 소비량 변화를 그림 8에 나타내었다.

Case A에서는 연간 평균 전체 전력 사용량의

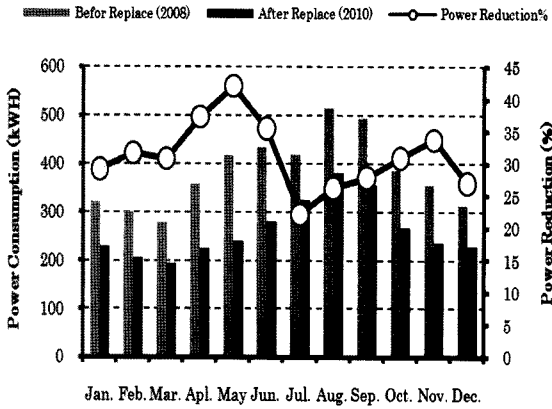
<표 2> 리뉴얼 사례 전력 사용량의 절감 효과

Case	Volume (m ³)	Age (y)	Existing		Reduction (%)
			Ref.	Comp.	
A	45,000	29	HCFC-22	Screw	31.1
B	10,000	33	HCFC-22	Screw	41.2
C	16,250	27	HCFC-22	Screw	24.9
D	6,125	38	HCFC-22	Screw	29.3

31.1%가 절감되었으며 냉각 설비 부분만 보면 약 50%의 에너지를 절약하는 효과를 가져왔다.

새롭게 건축된 냉동창고도 많은 사례가 있으므로 신규 설비의 도입에 있어서 에너지 절약 효과를 검증한다. 그림 9는 NewTon3000의 1호기 납입된 신축 냉동창고이다.

냉동창고의 경우에는 창고의 규모를 나타내는 창고 내용적(m³) 당 연간 소비 전력량(“원단위”라고 칭함)(kWh/year/m³)으로 에너지 절감율을 평가한다. 그런데 창고의 규모가 커지는 만큼 이 원단위는 작아지며, 보관형과 물류센터형에서는 보관품의 회전율이 높아지면 원단위가 높아진다고 알려져 있다.

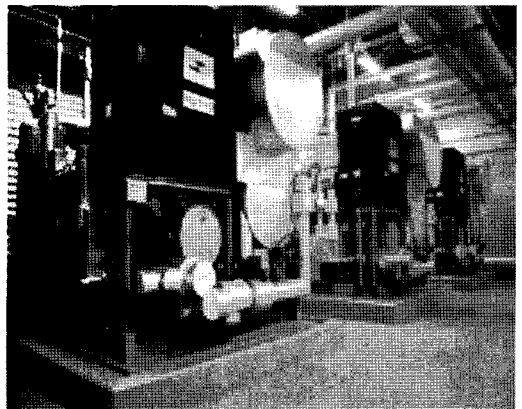
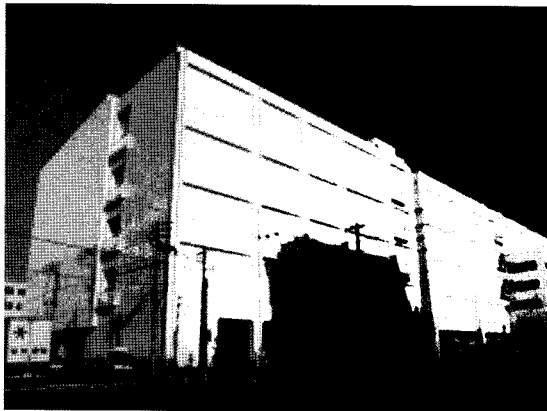


[그림 8] Case A의 에너지 절약 효과

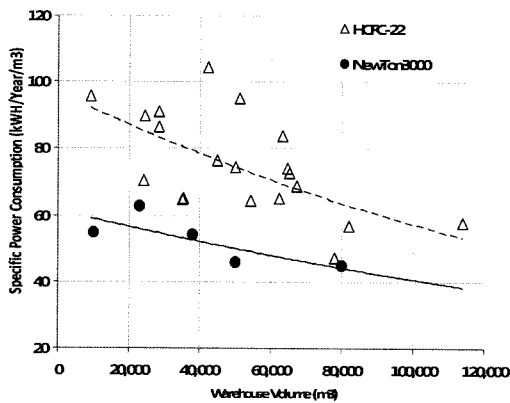
따라서 NewTon3000을 채용하고 있는 신축 냉동창고에 있어서의 에너지 절약성을 평가하기 위해서는 연구가 필요하다. 하나의 평가방법을 그림 10에 제안하고자 한다.

그림 10은 물류센터형의 냉장창고를 대상으로 조사한 결과이며, △는 HCFC-22를 사용한 비교적 새로운 설비를 설치한 경우의 원단위(kWh/year/m³)를 나타내고 ●는 NewTon3000을 설치한 경우의 수치이다.

이와 같이 창고의 용적을 가로축으로 하고, 세로축을 원단위로 하여 설비의 규모에 의한 영향을 배제하여 냉각 설비에 따른 차이를 찾아낼 수 있다.



[그림 9] 1호기가 납입된 냉동창고



[그림 10] 신축냉장창고의 에너지 절약성 평가

신축에 있어서도 HCFC-22 냉매 설비에 비해 NewTon3000을 사용한 냉장 창고에서 약30% 전력 사용량이 감소하고 있는 것을 알수 있다.

결론

산업용 냉동 업계에서 지구 환경 문제 해결에 대한 대책으로써 개발된 NewTon3000이 완성되었고 많은 납입 실적이 생겼으며 고객의 요구는 계속되고 있다. 개발 당시부터 목표로한 에너지 기원의 CO₂ 배출량 삭감을 위한 에너지 절약화에 대해서는 앞서 소개한 납입사례의 전력 사용량을 조사한 결과 리뉴얼과 신축의 케이스 모두 냉장 창



고 전체 대비 약 30%를 절감할 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

마지막으로 이 개발을 지원해 주신 일본 환경성, 일본 냉장창고협회 및 많은 고객 여러분께 본 원고를 통해 감사의 말씀을 전하고 싶다.

참고문헌

1. Quinn Vo, 2008, Design Considerations for an NH₃ System utilizing CO₂ as a Secondary Refrigerant, IIR Conference.
2. Nelson Mugabi, 2009, Semi Hermetic and Hermetic Compressor Packages, IIR Conference Macedonia.
3. J. Boone, 2009, Refrigerant Charge Reduction in Ammonia Refrigeration System, IIR Conference France. 