

# 초고효율 수냉 스크류 히트펌프

· 출처 : Refrigeration, April, 2000  
 C. Watanabe, Chubu Electric Power Co., Inc.  
 N. Kanzaki, Kobe Steel Ltd.  
 (Japan Society of Refrigeration and Air Conditioning Engineers)

윤 정 인

1997년 12월에 개최된 지구온난화 방지 교도회의에서 각국이 책임질 온난화가스의 삭감율이 정해졌다. 이것을 받아들여 국가, 기업, 개인 레벨에서 다양한 관점의 시책이 제안되고 있다.

냉동, 공조분야에 있어서는 온난화계수(GWP)가 작은 자연냉매의 채용이 제안되고 있다. 그러나 대형열원기기에 있어서 온난화계수가 큰 냉매를 사용해도 이 냉매가 누설함에 따른 온난화 경향과 운전 에 수반하는 에너지 소비에 의한 온난화 영향을 비교하면 후자가 압도적으로 크므로 기기를 고효율화하여 에너지 소비량을 절감하는 것이 가장 효과적이다. 신에너지·산업기술총합개발기구(NEDO)가 개발한 SHP(슈퍼히트펌프)는 대폭적인 고효율화를 달성했지만 열교환기의 내구성과 코스트면에서 문제가 있다.

이 글은 일본의 Chubu전력과 Kobe제강소가 공동으로 개발, 시험제작하여 에너지 절약 및 지구온난화 억제에 큰 효과가 있다고 알려진 초고효율 수냉 스크류 히트펌프(ultra high efficiency의 머리글자를 취해 UHE시리즈라고 한다)의 원리, 특성 및 기술현황을 소개한다.

## 개발컨셉 및 고성능화 원리

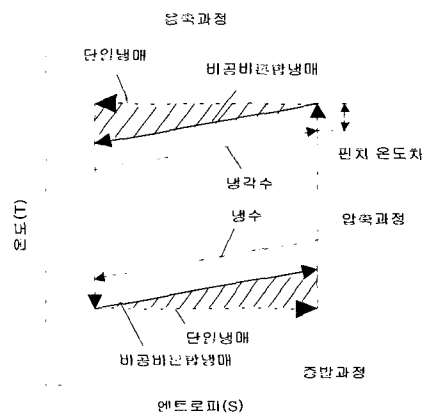
UHE는 차세대 냉매인 HFC냉매(오존층 파괴지수제로 냉매)를 사용한 고효율 로렌쯔 사이클을 실용화하고, 종래 기계에 비해 1.4~1.5배의 고성능을 확보하는 것을 개발 컨셉으로 했다. 이것 외에 상품화를 위해 메인テナンス 프리, 저소음 등의 특별한 장점도 첨가했다.

## 냉동사이클의 로렌쯔사이클화

압축식 냉동사이클은 냉매가스의 압축, 응축, 팽창, 증발의 각 과정으로 구성된다. 그림 1에 냉동사이클을 온도(T), 엔트로피(S) 선도로 나타내었다. T-S 선도에서는 둘러싸인 면적이 소요동력을 나타낸다. 단일성분 냉매 또는 공기혼합냉매를 사용한 경우 응축, 증발의 상변화시 온도는 일정하다. 이것은 역카르노 사이클이라 불리고 T-S선도에서는 장방형으로 표시된다.

응축기, 증발기에서 냉매와 열교환하는 냉각수, 냉수(브라인)는 보통 5~7℃의 출입구 온도차가 있기 때문에 역카르노 사이클에서는 상변화의 개시와 종료에서 매체간의 온도차가 다르다.

한편, 상변화시 거의 5~6℃의 온도차(온도구배)를 가지는 비공비혼합냉매를 사용하면 열교환기 내의 어느 장소에 있어서도 매체간 온도차가 거의 같은 열교환이 된다. 이것은 로렌쯔 사이클이라 불리고 T-S선도에서는 마름모형으로 표시된다. 편차 온도차(매체



[그림 1] 온도-엔트로피 선도

윤 정 인 부경대학교 기계공학부 (yoongi@dolphin.pknu.ac.kr)

간의 최저근 온도차)가 양 사이클이 동일하다면 로렌츠 사이클은 사선부 면적 상당의 이론 동력이 감소된다. UHE는 로렌츠 사이클화로 응축기, 증발기의 전열성을 극한까지 높이고 핀치온도차를 극소화함으로써 성능 개선을 도모하고 있다.

냉매는 5~6℃의 온도차를 가지고 HFC 냉매 중에서도 온난화계수가 작은 R407E(성분비 R32 25%, R125 15%, R134a 60%)를 채용하였다.

로렌츠 사이클을 가능하게 하기 위해서는 1패스 대향류형 열교환기가 필수적이다. 대향류형에서 전열성능이 좋고 내식성이 뛰어난 플레이트식 열교환기가 기초 시험에 있어서 최적하다고 판정되었다. 또 플레이트식 중에서도 2매의 플레이트의 외주를 레이저 용접하여 그 사이를 냉매통로로 한 카세트 타입의 플레이트를 채용했다.

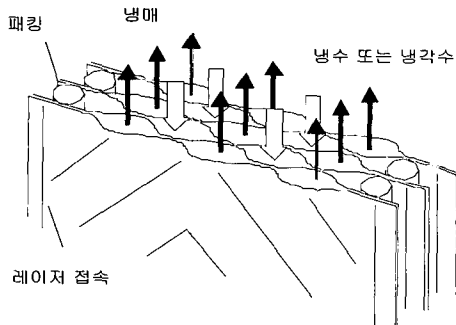
이 타입은 냉매 누설의 완전방지가 가능하다. 그림 2에 카세트 타입 플레이트식 열교환기의 개략도를 나타내었다.

### 응축액의 과냉각화

비공비혼합냉매는 상변화시에 온도구배가 생기기 때문에 응축액을 과냉각하면 과냉각이 없을 때에 비해 증발개시 온도가 저하한다. 그림 3의 p-h선도가 이 상태를 보여준다.

과냉각이 없을 경우 증발개시온도가  $T_2$  이지만 과냉각하는 것에 따라  $T_1$ 까지 내려간다.

실온전 사이클에서는 증발개시온도는 증발기의 특



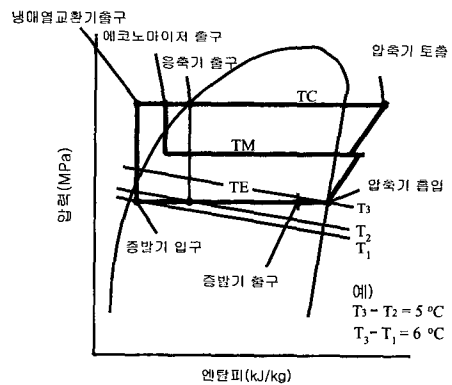
[그림 2] 카세트 타입 플레이트식 열교환기 개략도

성으로부터 거의 동일온도로 되고 증발압력쪽이 오르기 때문에 냉각능력이 증대한다.

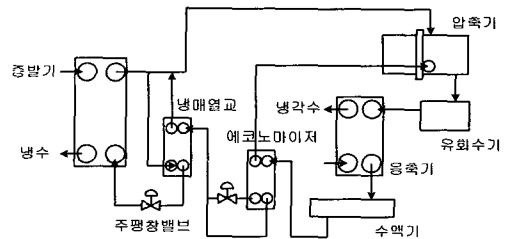
또한 과냉각은 다음에 말하는 단단 에코노마이저 시스템과 증발기를 통과하는 미증발액을 활용한 액과냉각시스템의 2단계에 의해 행해진다. 그림 4에 이 시스템의 계통을 나타낸다. 후자의 시스템에서 증발기 출구는 습증기상태가 되기 때문에 증발기의 전열성을 대폭 높이는 효과도 있다.

### 단단 에코노마이저 시스템

주 액관으로부터 분기된 일부 냉매를 사용하여 주액관을 과냉각하는 시스템이다. 분기냉매는 중간냉각기에 상당하는 에코노마이저에서 증발하여 스크류로터의 중간압력로터에 흡입된다. 이것을 단단 에코노마이저 시스템(다효 압축, 1단 팽창사이클, 그림 3 및 그림 4 참조)이라 부르고 이것에 의해 7℃냉수 취출 운전에서 약 3%, 제빙운전에서 약 8%의 COP상승이 얻어진다.



[그림 3] 운전상태의 p-h선도



[그림 4] 냉각시스템 계통도

**고성능 반밀폐 압축기 탑재**

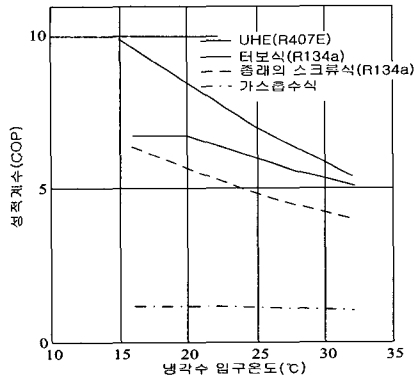
압축기는 신개발된 고성능 반밀폐 압축기를 탑재했다. 고성능 신로터의 채용, 고효율 모터의 채용, 가스 누설 틈의 근소화 등에 의해 세계 최고 레벨의 성능을 달성한 압축기이다.

또 본압축기는 전축수를 축수화하므로써 유펌프, 유냉각기가 필요 없는 시스템을 채용할 수 있어 시스템의 간략화뿐만 아니라 유펌프 동력이 발생하지 않아 에너지 절약에도 기여할 수 있다.

**UHE의 성능과 특성**

**열원기기 중에 최고 레벨의 성능이다.**

그림 5에 냉수 취출온도 7℃에서 냉각수 온도를 변화시킨 경우의 각종 열원기기의 COP를 나타내었다.



[그림 5] 각종 열원기기의 성적계수(냉각능력/입력)

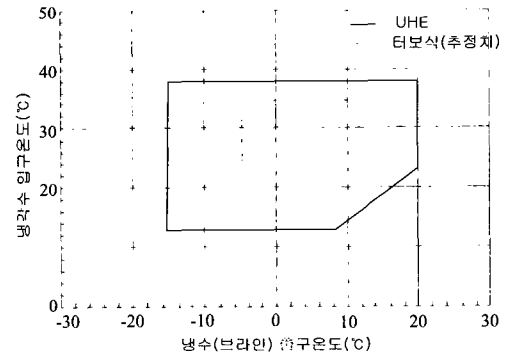
타기종과 비교한 UHE의 성능 특성을 다음 두가지라 할 수 있다.

첫째, 전냉각수 온도 범위에 있어서 타기종보다 COP가 높고, 또한 냉각수 온도가 저하했을 때의 COP증가율이 높다. 둘째, 터보, 흡수식보다 낮은 냉각수 온도에서 운전이 가능하다는 점이다. 운전 가능 범위를 그림 6에 나타내었다.

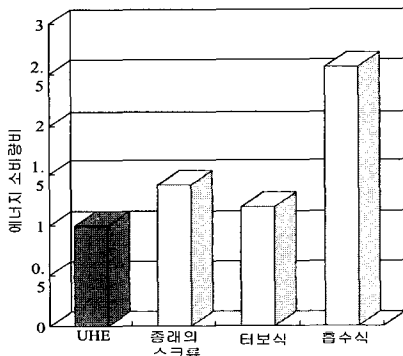
위의 두가지 특성은 프로세스 냉각시스템과 같이 연간운전되고, 평균냉각수 온도가 낮은 경우 지하수, 하천수 등의 저온 열원이 사용될 수 있는 경우에는 에너지를 대폭 절약할 수 있고 온난화 방지가 가능하다.

또한 이들 특성은 제빙운전, 저온 브라인 운전에 있어서도 동일하다.

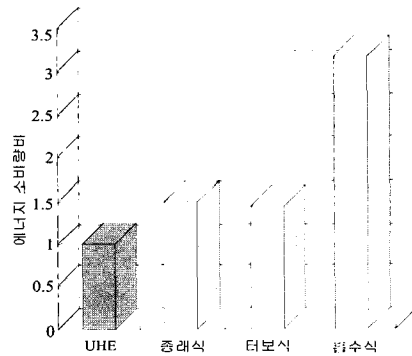
그림 7에 일반적인 냉방운전조건, 그림 8에 프로세스 냉각 등의 연간 일정부하운전비율 UHE 및 경합기



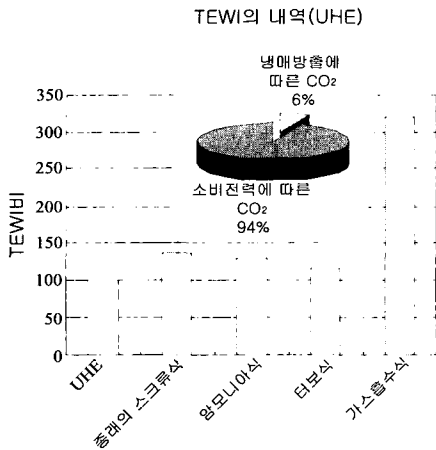
[그림 6] 운전가능범위



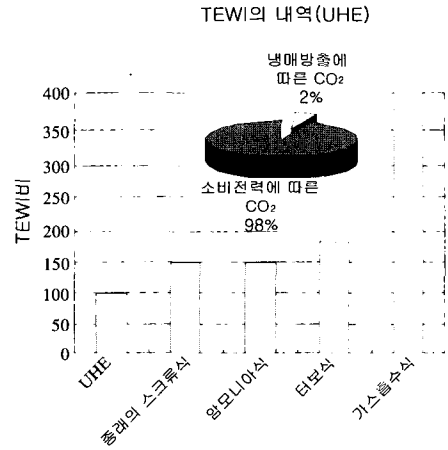
[그림 7] 에너지 소비량 비교(냉방조건 운전시간 1500 시간/년)



[그림 8] 에너지 소비량 비교(연간 일정부하 운전시간 8000 시간/년)



[그림 9] 지구온난화영향(TEWI) 비교(냉방조건 운전시간 1500 시간/년)



[그림 10] 지구온난화영향(TEWI) 비교 (연간일정부하 운전시간 8000 시간/년)

중 에너지 소비량을 보여준다.

특히 연간 일정부하비율에 비교하면 타압축식 열원 기기의 약 70%, 가스 흡수식의 약 30%의 일차에너지 소비량(전기의 에너지 비율을 35%로 계산)이다.

**지구 온난화 영향이 작다.**

지구온난화영향의 저감은 운전에 따른 소비에너지를 극소화하는 것이 가장 효과적이다. 특히 운전시간이 긴 대형열원기기는 현저하다. 7℃ 냉수를 취출하는 운전조건인 각종 열원기기의 지구온난화 영향을 TEWI(총등가 온난화영향; 냉매누설에 따른 온난화영향 + 1차 에너지소비에 따른 온난화영향)에서 계산한 결과를 그림 9에 운전시간 1500 시간/년, 그림 10에 8000 시간/년의 2가지 예를 나타내었다. 막대 그래프는 각종 방식에 따른 총등가 온난화영향(TEWI)을 나타내고 있으며, 원그래프는 소비전력과 냉매방출에 따른 CO<sub>2</sub>방출비를 나타낸다.

UHE는 종래칠러인 터보칠러, 암모니아칠러에 비해 30~50%정도 CO<sub>2</sub>를 삭감한다. 암모니아칠러는 온난화계수가 제로인 자연냉매를 사용한다. 온난화영향이 작게 평가되는 UHE의 상정냉매누설량까지 계산한 냉매측의 온난화영향은 TEWI의 수%에 지나지 않기 때문에 UHE와 동등레벨의 성능이 아니면, 온난

화영향이 작다고는 말하지 않는다.

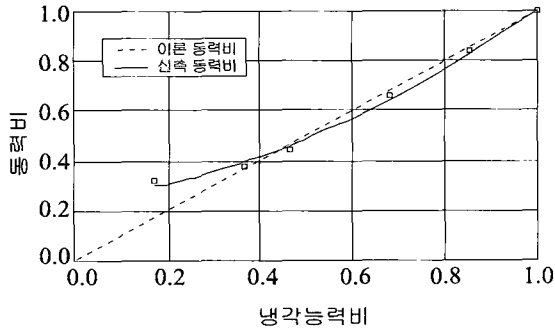
가스 흡수식은 하계전력의 피크컷에 큰 효과가 있고, 1차 에너지 소비량 및 온난화영향은 UHE의 3~4 배정도 크다. 액화천연가스 그 자체는 클린에너지이지만, 효율이 압축식에 비해 극단적으로 낮기 때문에 이러한 결과가 된다.

**미이용에너지가 활용될 수 있다.**

해수, 하천수, 하수 등은 열부존량이 크고 방대한 에너지원이다. 또, 이들을 열원으로 한 경우의 취득온도는 외기에 비해 여름에는 낮고, 겨울에는 높다. 더욱이 미이용에너지의 대부분은 겨울철의 동결문제가 없고, 이것을 활용함으로써 고효율 히트펌프 운전도 가능하다. 해수열원을 이용한 히트펌프 운전의 경우, 난방시에는 냉각수를 사용한 경우보다 약 20%높은 COP를 얻는다. 난방시에도 공기열원 히트펌프에 비해 약 2배 가까운 COP가 얻어진다. 또한 해수열원 UHE는 열교환기의 재질로써 내식성이 높은 티탄을 사용한다.

**광범위한 온도의 냉열을 취출한다.**

냉열취출온도는 15~20℃가 가능하며 빌딩·공장 공조, 빙축열공조, 지역냉난방, 공장프로세스냉각, 환



[그림 11] 부분부하특성(냉수취출온도 7℃, 습구온도 일정조건)

경실험장치, 가스터빈 흡기냉각 등의 다종다양한 용도에 대응된다. 또 종래 기계와 거의 동등사이즈이다.

**압축기 및 기기의 특성**

- 압축기는 밀폐타입으로 축봉기구가 없어 온난화영향이 있는 냉매누설을 완전히 방지한다.
- 유지보수관리는 40000 시간 또는 8년으로 스크류 압축기에서는 세계 최장레벨이다.
- 냉매의 토출가스온도는 50~60℃고 종래 기계보다 20℃정도 낮다. 유의 열화, 냉매의 열화가 거의 없다.
- 응축기로 플레이트식 열교환기를 사용하고 있지만, 냉각수 측은 난류이기 때문에 오염계수는 작아 장

기간 고성능을 유지한다. 다관식 오염계수의 1/3~1/5이다.

- 토출온도가 낮고, 스케일이 잘 부착되지 않는다.
- 그림 11은 부분부하특성을 나타낸 것으로, 공조기기의 운전은 일반적으로 풀부하보다 부분부하로 운전되는 경우가 많다. 따라서 부분부하의 운전범위 및 성능특성은 기기의 성능을 평가하는 중요한 요소이다. 그림에서 알수 있듯이 이 시스템은 용량제어범위가 20~100%로 매우 넓어 부하특성에 상당한 장점을 가지고 있다. 또 냉각능력별 부하특성에 대한 동력변화도 이상적인 직선과 거의 비례하고 있어 소비 동력면에서도 상당히 양호한 특성을 나타내고 있다.

**맺음말**

UHE시리즈는 에너지 절약, 지구온난화영향의 저감을 목표로 개발한 열원기기이다.

근년에 특히 지구환경문제에 대한 인식이 각방면에서 급속히 고조되고 있다. UHE가 지구온난화를 억제할 수 있어 효과적이라는 높은 평가를 받고 있다.

특히 연간 냉각부하가 있는 용도, 또 미이용에너지를 활용하는 히트펌프사양, 야간전력을 활용하는 빙축열시스템을 적용하는 경우, 소비전력, 온난화영향은 타열원기기에 비해 대폭 저감되어 차세대 열원기기로써 앞으로 많은 적용이 기대된다. ❁