

히트펌프 적용 판형 열교환기의 기술 동향

열교환 효율이 높고 소형화에 유리한 판형 열교환기를 히트펌프에 적용하기 위한 노력들과 최신 기술동향에 대해 소개하고자 한다.

판형 열교환기의 원리와 구조

판형 열교환기는 그림 1과 같이 요철형태로 프레스 성형된 전열판을 교대로 적층시켜 다른 종류의 유체가 흐르며 열교환을 할 수 있도록 배치한 형태의 열교환기이다. 판형 열교환기를 전열판을 접합하는 방식에 따라 구분해 보면 개스킷 판형 열교환기와 브레이징 판형 열교환기, 용접식 판형 열교환기로 나누어진다. 개스킷 판형 열교환기는 그림 2에 나타낸 바와 같이 전열판 사이에 개스킷을 끼워 유체를 밀봉시키고 프레임에 넣어 조립하는 형식이며 분해조립이 쉬워 세척 등의 유지보수가 용이하고 전열판 매수를 조정하여 손쉽게 용량가감을 할 수 있다. 최대 사용압력은 10~25 bar 사이이며 개스킷의 재질에 따라 사용할 수 있는 유체의 종류와 사용온도가 달라진다. 브레이징 판형 열교환기는 그림 2에 나타낸 바와 같이 브레이징 방법으로 전열판을 접합하여 만드는 열교환기로 누설의 우려가 없고 개스킷이 없으므로 사용 가능한 유체가 다양하며 최대 사용압력은 30~45 bar 사이로 개스킷 판형 열교환기보다 높으나 화학적 세척만이 유일한 세척방식이고 전열판 매수조절이 불가능하다. 용접식 판형 열교환기는 전열판을 레이저용접으로 밀봉한 열교환기로 고온고압 및 고부식성의 위험한 유체 등 제한된 용도에 사용된다. 판형 열교환기는 일반적으로 셸-튜브 열교환기에 비해 1/3 이상 소형 경량화가 가능하므로 크기가 제한된 히트펌프 내부에 설치하기가 유리하며 압축기 등으로 인해 다양한 진동이 발생하는 히트펌프에 설치될 경우 내구성에서도 장점을 가진다. 히

윤석호

한국기계연구원
극한기계부품연구본부
선임연구원
shyoon@kimm.re.kr

송찬호

선임연구원
sch@kimm.re.kr

김육중

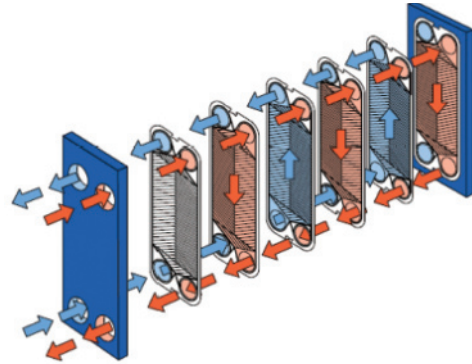
책임연구원
ojkim@kimm.re.kr



[그림 1] 판형 열교환기의 다양한 전열판(출처: www.gea-phe.com)



[그림 2] 개스킷 및 브레이징 판형 열교환기의 외형
(출처: www.alfalaval.com)

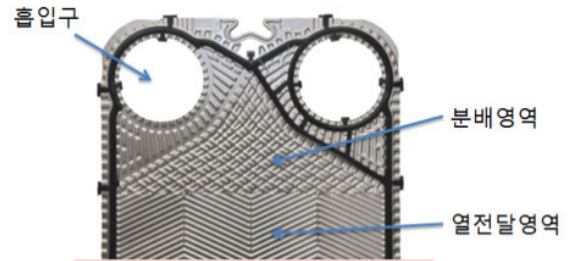


[그림 3] 판형 열교환기의 일반적인 유체 흐름

트럼프에는 부식성이 있는 냉매가 사용되고, 냉매 종류에 따라 응축압력이 25 bar 이상인 경우가 있으므로 주로 브레이징 판형 열교환기가 사용된다.

그림 3에 판형 열교환기 내부를 흐르는 유체의 흐름을 나타내었다. 전열판 한 장씩 교대로 고온 유체와 저온 유체가 흐르면서 전열판을 통하여 열교환을 수행하게 되고, 입출구 배관의 연결에 따라 평행류 및 대향류를 선택하여 설치할 수 있다. 판형 열교환기의 성능은 전체 전열면적을 많이 이용할수록 좋아지기 때문에 특정 전열판에 유체가 물리지 않고 고르게 흐를 수 있도록 하는 유동분배 기술이 중요하다. 판형 열교환기를 히트펌프에 적용할 경우 히트펌프 전체 냉매회로의 체적이 작아져 냉매충전량이 핀-튜브 열교환기를 사용했을 경우와 비교하여 1/5 까지도 감소하므로 냉매비용이 절약되고 환경에도 긍정적 영향을 끼칠 수 있다.

그림 4에 판형 열교환기 전열판의 구조를 나타내었다. 흡입구를 통하여 전열판에 유입되는



[그림 4] 전열판의 구조

유체가 열전달 영역에 해당하는 전열판 전체에 고르게 흐를 수 있도록 분배영역을 설계하는 것이 매우 중요하다. 전열판의 폭이 넓어질수록 유동의 불균일이 심해지므로 설계한 용량이 나오도록 균일한 유동분배에 주안점을 두고 설계하여야 한다. 열전달 영역은 난류강도를 증가시켜 열전달계수를 증가시켜야 하지만 압력강하 역시 커지므로 최적점이 존재한다. 세브론 각이 크면 난류형성이 잘되어 열전달계수가 크나 압력손실이 높고, 세브론 각이 작으면 압력손실이 작으나 열전

달계수가 동반 감소하는 것이 일반적으로 알려져 있다. 따라서 중간적인 전열특성을 나타내도록 두가지 종류의 전열판을 혼합하여 사용하는 경우도 있다.

판형 열교환기의 외관은 업체간에 큰 차이가 없이 모두 유사하게 보이나 이와 같이 유동을 고르게 분포시키는 기술, 압력손실이 작으면서도 높은 열전달계수를 갖도록 하는 전열판 설계 기술, 열전달 성능을 향상시키기 위해서 전열판 두께를 최대한 얇게 제작하면서도 구조적 강성은 유지하는 기술, 온도변화 및 고압환경에서 변형 및 누설이 없도록 하는 접합 기술 등 품질과 성능의 차이를 발생시키는 많은 요소들이 있다.

모든 열교환기에서 마찬가지로이지만 전열판 사이에 열전달 및 유동을 방해하는 스케일이 형성되는 오염문제는 판형 열교환기에서도 중요한 문제이다. 히트펌프 시스템에서 증발 및 응축 열교환기의 효율 저하는 시스템 전체의 성능에 큰 영향을 미치는 경우가 많다. 특히 분해를 통한 물리적 세척이 불가능한 브레이징 판형 열교환기를 주로 적용하며 플렌지를 사용한 연결보다는 용접을 통해 제품내부에 열교환기를 장착하는 히트펌프 시스템에서는 제품의 수명기간 동안 유지보수

자체가 어려운 경우가 많이 있을 수 있기 때문에 최대한 스케일 형성을 억제하는 방향으로 연구를 진행하여야 한다.

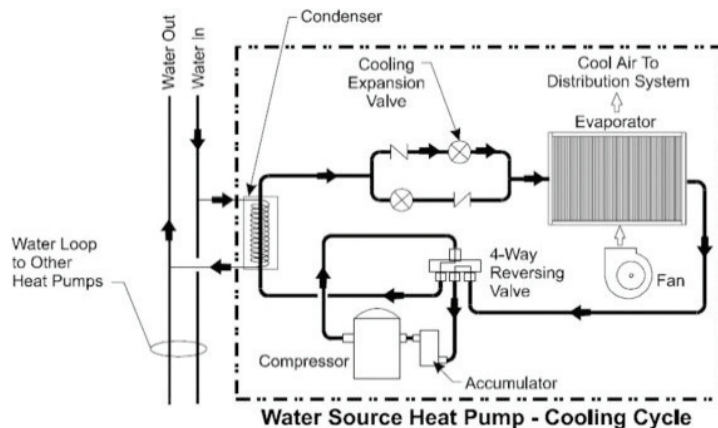
판형 열교환기의 히트펌프 적용

수열원 히트펌프

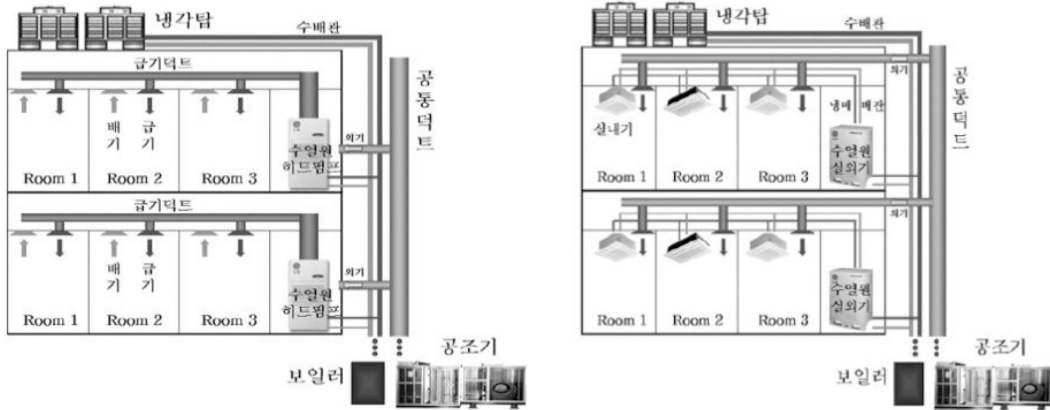
수열원 히트펌프는 증발기 또는 응축기의 2차 유체 열원을 물(지하수, 폐수 등)로부터 얻는 히트펌프이다. **그림 5**는 열교환 매체로서 물은 난방 시에는 응축기의 열원으로 작용하고, 난방 시에는 증발기의 열원으로 작용한다. 이때, 히트펌프의 작동 유체인 냉매와 물의 열교환을 위해서 공랭식에서 사용되던 핀-튜브 열교환기 대신에 판형 열교환기가 사용된다.

수열원 시스템에어컨

물을 열원으로 하여 공조를 하는 수열원 시스템 에어컨은 실외기와 실내기가 하나의 유닛으로 구성된 일체형 수열원 히트펌프와 응축기 유닛과 증발기가 분리된 멀티형 수열원 히트펌프로 구분할 수 있다. 이러한 수열원 시스템에서는 대향류 방식의 냉매-물 열교환기를 채택하고 있으며 이



[그림 5] 수열원 히트펌프 시스템 구성도



[그림 6] 수열원 시스템에어컨 구성도

경우 판형 열교환기를 채택하여 공랭식 시스템 대비 50% 높은 성능계수를 얻을 수 있는 것으로 보고되고 있다(그림 6 참조).

지열 히트펌프

지열 히트펌프는 수열원 히트펌프와 동일한 개념으로 열원으로 땅속의 열을 이용하는 시스템이다. 땅속의 열은 지중 열교환기에서 순환수와 열교환되며 바로 이 순환수와 히트펌프 시스템의

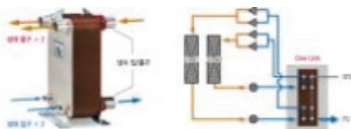
증발기 또는 응축기와 열교환되는데 이때 판형 열교환기를 사용하여 냉매와 순환수가 열교환된다. 그림 7은 회사별 판매되고 있는 지열 히트펌프 제품이고, 그림 8은 LG전자의 지열 히트펌프 시스템용 판형 열교환기이다.

급탕용 냉운수기

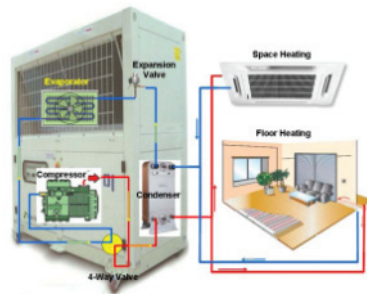
히트펌프를 이용한 급탕 및 난방수를 생산하는 시스템이 개발되고 있다. 국책과제로 진행되고 있는 고효율 히트펌프 냉운수기 개발은 LG전자와 삼성전자가 개발하고 있으며 air to water 시스템으로 온수를 생산하기 위하여 판형열교환기를 이용한다. 통상 hydro kit라는 별도의 유닛에



[그림 7] 다양한 지열 히트펌프 제품 (삼성전자, LG전자, 신성엔지니어링)



[그림 8] Dual circuit 판형열교환기(LG전자)



[그림 9] 히트펌프 냉운수기 개념도



[그림 10] 다양한 냉온수기 제품들

서 판형 열교환기를 이용하여 냉매와 물이 열교환된다. 또한, 고온수 제조를 위하여 캐스케이드 냉매-냉매 열교환기를 개발하는데 여기에 사용되는 것도 판형 열교환기이다.

판형 열교환기의 기술개발 동향

전열판의 개선

대부분의 판형 열교환기 전열판은 1950년대에 개발된 헤링본 형태를 따르고 있다. 하지만 전열판 설계를 변경하여 열전달계수의 향상과 압력손실 저감을 이루려는 노력은 계속되어 왔다. 덴마크 덴포스사에서 Micro Plate라는 이름으로 판매하고 있는 판형 열교환기는 전열판 형상을 **그림 11**과 같이 기존 헤링본 형태에서 덩플 방식으로 변경하여 10% 이상의 열전달 성능 향상과 35% 이상의 압력손실 저감을 가져왔다고 주장하

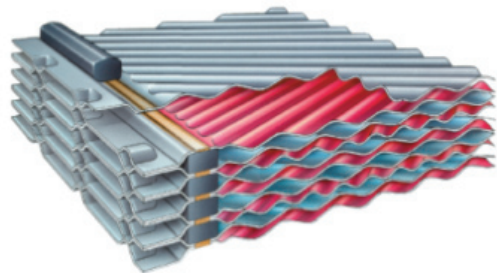
고 있다. 열수력적 성능향상 이외에 덩플 방식은 전열판 사이의 접촉면적이 넓어져 브레이징 강도가 강화되는 부수적인 효과도 있다고 한다.

접합 방식의 변화

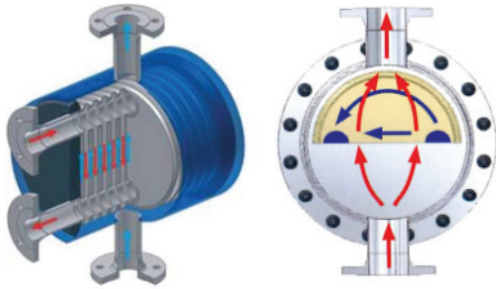
세척이 용이한 개스킷형 판형 열교환기와 밀봉성능이 뛰어난 브레이징 방식을 혼합하여 고부식성이 있는 유체와 스케일이 자주 발생하는 유체를 함께 사용할 수 있도록 구성된 반응접식 판형 열교환기도 개발되어 있다. **그림 12**에 나타난 알파라발사의 반응접식 판형 열교환기는 레이저로 용접된 채널과 개스킷 처리된 채널을 교대로 적층하여 구성하였으며, 히트펌프에 적용될 경우 냉매는 용접된 채널 내로 흐르고 물은 개스킷 처리된 채널로 흐르도록 구성할 수 있다. 수열원 히트펌프의 경우 물이 흘러 스케일이 발생하는 영역은 세척이 용이하며 냉매 누설없이 작동시킬



[그림 11] 덴포스사의 Micro Plate



[그림 12] 알파라발사의 반응접식 판형 열교환기



[그림 13] FUNKE사의 셸-플레이트 열교환기

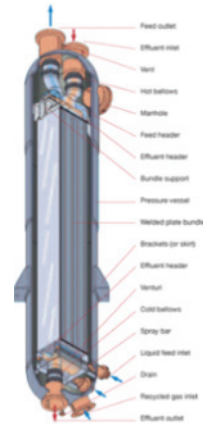
수 있는 장점이 있다. 하지만 현재 출시된 제품군은 수십~수백 kW이상의 대용량 제품으로 구성되어 있으며 가정용 소형 히트펌프에 적용하기 위해서는 소형화와 원가저감에 대한 추가적인 개발이 이루어져야 할 것이다.

외형 및 플레이트 형상 변화

그림 13에 나타난 독일 FUNKE사의 셸-플레이트(Shell & Plate) 열교환기는 용접된 원형의 전열관 패키지를 압력용기로 제작된 셸 내부에 삽입한 형태로 셸-튜브 열교환기와 판형 열교환기의 장점을 모두 취하도록 고안된 형태이다. 열교환 코어가 고압에 대응할 수 있는 압력용기 내부에 장착되므로 최대 150 bar까지 사용이 가능하며, 주로 고온고압의 특수공정에 적용된다. 원형으로 제작된 전열관은 고른 유동분배에 유리하며 설치 공간상 유리하다.

판형 열교환기의 확장

그림 14에 나타난 알바라발사의 Packinox라는 제품은 플랜트에 사용되고 있는 초대형 열교환기를 대체하기 위해 개발된 제품이다. 플랜트 전체 공정효율에 큰 영향을 미치는 열교환기의 효율을 끌어올리기 위해 100 MW 이상의 초대형 판형 열교환기를 제작하고 있는데 전열관은 프레스 작업이 불가능한 크기이므로 폭발 성형을 통



[그림 14] 알파라발사의 Packinox

해 제작하고 이를 용접 후 압력용기에 삽입하는 형태로 제작된다. 플랜트 공정효율을 획기적으로 증가시킬 수 있으므로 상당한 고가에 판매되며, 열교환기에서도 고부가가치 제품을 생산할 수 있다는 예가 되고 있다.

결론

밀집형 고효율 열교환기는 마이크로 채널 등 여러 가지 형태로 개발되고 있으나 전 산업분야에서 바로 적용될 수 있는 경제성을 갖춘 제품으로서 판형 열교환기는 그 적용분야가 계속 넓어지고 있다. 히트펌프의 열원이 다양해지고 기존 수배관을 이용하거나 보일러를 일부 대체하는 급탕 영역까지 그 사용범위가 확장되면서 히트펌프 시스템에 대한 판형 열교환기의 적용 역시 확대되고 있는 추세이다. 하지만 전열관 설계, 내압성 증가, 오염 대응, 소형경량화 등 개발의 여지가 많이 존재하고 있으며 개선된 판형 열교환기 기술은 공조분야뿐만 아니라 고부가가치 플랜트 분야로 확장시킬 수 있으므로 적극적인 연구개발이 필요하다.

참고문헌

1. Wang, L., Sunden, B., Manglik, R.M., 2007, Plate Heat Exchangers: Design, applications and performance, WITpress.
2. WattMaster WHP-Water Source Heat Pump Design, Installation & Operations Manual
3. 박재홍, 2009, 판형 열교환기의 특징과 적용, 한국마린엔지니어링학회지, Vol. 33, No. 6, pp. 801-811.
4. 설비저널 제36권 제2호, 2007년 2월호.
5. Alfa Laval사 홈페이지(<http://www.alfalaval.com>)
6. Danfoss사 홈페이지(<http://mphe.danfoss.com>)
7. FUNKE사 홈페이지(<http://www.funke.de>)
8. GEA사 홈페이지(<http://www.gea-phe.com>)

