



[요약문]

열교환기는 대부분의 플랜트에서 공정효율을 결정하는 핵심기자재이다. 이에 따라 플랜트 전체 효율을 향상시키기 위한 고효율 열교환기에 대한 연구개발이 꾸준히 이루어지고 있으며, 최근 들어 심해저플랜트 등의 고압환경용, 가스액화 플랜트 등에 적용되는 극저온용, 가스터빈 등에 적용되는 초고온용 등 극한환경에서 사용되는 플랜트용 고신뢰성 열교환기에 대한 니즈가 증가하고 있다. 따라서, 국내업체들의 플랜트 기자재 시장 진입 및 점유율 확대를 위해 이러한 극한환경용 열교환기에 대한 원천기술 확보 전략이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 플랜트용 열교환기 기술현황에 대해 살펴보고자 한다.

1. 서론

열교환기는 고체 벽으로 분리된 공간으로 흐르는 두 유체 사이에 열에너지를 전달하는 기기로 플랜트 공정효율에 큰 영향을 미치는 핵심기자재이다. 플랜트용 열교환기는 당연히 플랜트 시장에 따라 열교환기 시장규모가 영향을 받으므로 최근 플랜트 시장의 성장에 따라 그 규모가 확대되고 있다. 해외 플랜트 발주는 연평균 7%대의 지속적인 성장이 예상되고 있으며 플랜트 기자재 업체들도 수혜를 받고 있다. 그림 1에 나타난 산업연구원 자료에 따르면 플랜트 중 기자재 비중과 기자재 수요가 동반하여 증가하고 있으며 2015년까지 플랜트 기자재의 총 수요는 17%까지 성장할 것으로 예상된다.

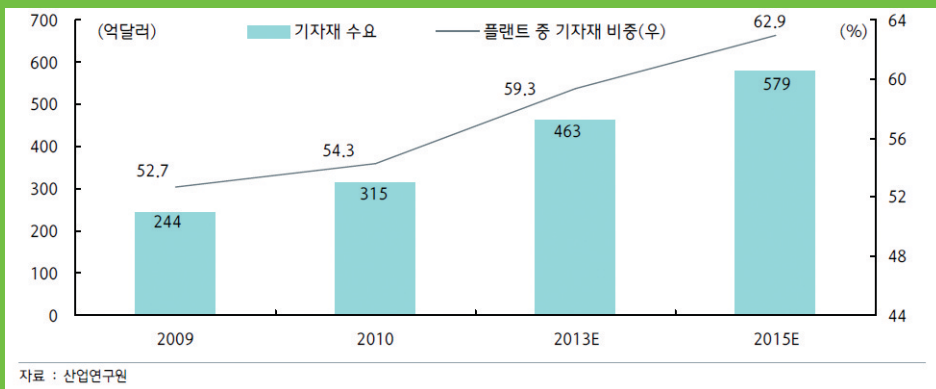
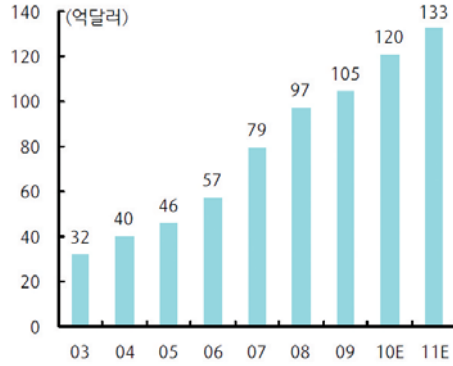


그림 1. 해외 수주에 따른 향후 플랜트 기자재 수요 전망

전세계 열교환기 시장규모만 살펴보면 그림 2와 같이 2003년 32억달러에서 2011년 133억 달러로 4배 이상 확대될 정도로 가파르게 성장하고 있음을 알 수 있다. 전세계 열교환기 시장에서 2007년 국내 열교환기 업체의 전체 수출액은 6억9천만 달러이며, 수입액은 1억2천만 달러로 열교환기는 우리나라의 대표적인 수출형 플랜트 기자재이



다. 대표적인 수출국은 일본(4천9백만 달러), 중국(3천4백만 달러) 등이며, 대표적인 수입국은 EU(7천8백만 달러)이다. 표 1에 2007년 우리나라 열교환기 수출입 동향을 나타내었다.



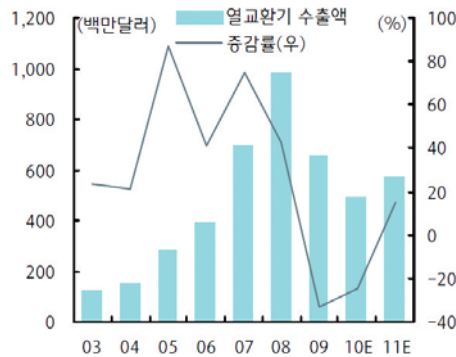
자료 : UN DATA, 토러스투자증권

그림 2. 글로벌 열교환기 시장 규모

표 1. 2007년 우리나라 열교환기 수출입 동향

	전체		일본		EU		중국		미국	
	수출	수입	수출	수입	수출	수입	수출	수입	수출	수입
million US\$	691	120	49	5	18	78	34	7	11	16

플랜트용 열교환기는 주로 Shell & Tube type이 많이 사용되고 있고, 국내 업체들의 주요 수출 품목 역시 Shell & Tube type 열교환기가 주종목이다. 그러나 비교적 제작이 용이한 Shell & Tube type 열교환기는 중국 및 인도업체가 급속히 추격하고 있어 가격경쟁력이 떨어지고 있다. 그림 3에 나타낸 바와 같이 국내 열교환기 수출 추이가 2009년 글로벌 경제위기를 기점으로 급격히 하락하였으며 아직까지 이전 수준으로 회복되지 않고 있다. 최근 유가 상승에 따라 초고효율 가스액화 플랜트, 연료전지 발전 플랜트 등의 신기술 에너지 플랜트의 확대로 초고온/초고압 환경에 사용되는 열교환기, 초고효율 컴팩트 열교환기 등 고부가가치 열교환기에 대한 니즈가 증가하고 있다. 따라서 고부가가치 열교환기 원천기술 개발에 의한 국내업체들의 경쟁력 향상이 시급하다.



자료 : KOTIS, 하나금융경영연구소 전망

그림 3. 국내 열교환기 수출 추이 및 전망

2. 플랜트용 열교환기

2.1 Shell & Tube type heat exchanger

플랜트용 열교환기는 그 형태에 따라 구분할 수 있는데 플랜트에 주로 사용되는 열교환기는 Shell & Tube type, Plate type, Plate-fin type 등이 있다. Shell & Tube type은 원통다관식 열교환기로 불리며, 그림 4에 나타낸 바와 같이 동체 내부에 다수의 전열관을 배치하고 전열관벽을 통해 동체측 유체와 관내 유체간에 열전달이 이루어지는 형태이다. 제작이 용이하고 가격이 저렴하나 밀집도가 낮아 부피가 크고 부가가치가 낮은 단점이 있다.

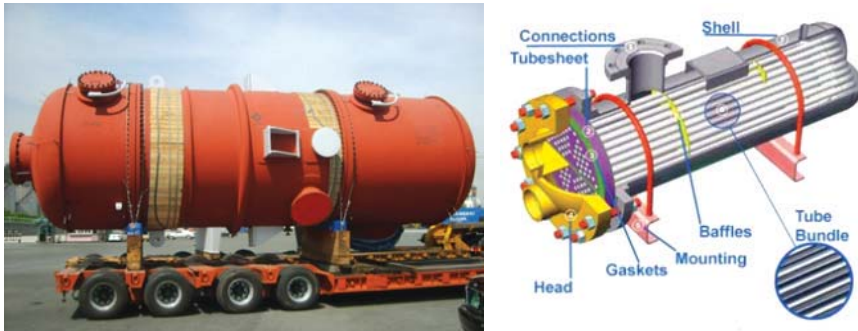


그림 4. Shell & Tube type heat exchanger

2.2 Plate type heat exchanger

판형 열교환기(Plate type heat exchanger)는 그림 5와 같이 요철형으로 프레스 성형된 전열판을 포개어 교대로 유체가 흐르게 하는 구조를 가지고 있다. 개스킷 형은 전열판을 분해하여 완전한 청소가 가능하므로 스케일에 의한 성능감소를 방지할 수 있으며, 전열판 매수의 가감이 용이하여 용량 조절이 가능하다.

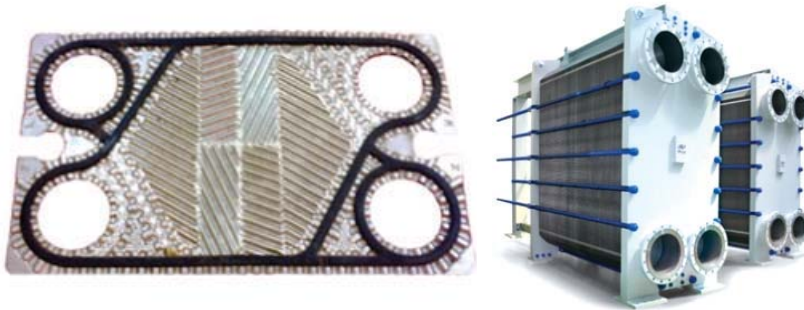


그림 5. 플랜트용 판형 열교환기

판형 열교환기 주요 업체로는 Alfa Laval(Sweden), GEA(Germany), Hisaka (Japan), APV(UK), SWEP(US) 등이 있으며, 이중 스웨덴의 Alfa Laval사가 세계 판형 열교환기 시장의 60% 이상을 점유하고 있다. 각 제작 회사마다 개스킷의 구조, 전열판의 형상 등에 대해 차별화된 기술과 적용 분야를 가지고 있다. 판형 열교환기 최근 기술 개발 동향으로는 전열판 면적이 4.0m²에 이르는 초대형화 제품 개발, 미세 박판을 이용한 초고효율 판형 열교환기 개발, 고압/고온에 적용 가능한 판형 열교환기 개발 등이 있다. 대용량 고집적형 판형 열교환기는 체적효율이 설비비에 큰 영향을 미치는 해양모듈에 특히 중요하며, 고압/고온에 적용 가능한 판형 열교환기는 해양온도차발전, 폐열회수



발전 등에 적용될 수 있다. 초고효율 판형열교환기는 선박용, 발전 시스템 등에서 기존의 shell & tube type를 대체하여 시스템의 소형화에 기여할 수 있다.

국내 판형열교환기 기술은 중소기업 중심으로 개발되고 있으며, 건물 냉난방용 개스킷형 판형 열교환기와 소형의 용접식 판형 열교환기가 주 생산품이다. 전열판 설계기술은 선진국 수준에 가까우나, 전열판의 대면적화와 고온/고압 환경에 적용가능한 제품 개발이 과제로 남아있다.

2.3 Plate-fin type heat exchanger

플레이트 핀 열교환기(Plate-fin type heat exchanger)는 콤팩트 열교환기로 분류되며 고효율/고집적 형태로 소형경량화가 가능하며 극저온/항공분야에 많이 사용된다. 플레이트 핀 열교환기는 그림 6에 나타낸 바와 같이 플레이트와 핀으로 이루어진 열교환기이다. 극저온 분야로는 고효율 열교환기가 필요한 천연가스 액화 플랜트의 주냉각액화용 열교환기로 사용된다. 아직까지는 LNG 플랜트 시장을 절대적으로 지배하고 있는 APCI사의 spiral wound type heat exchanger(그림 7)가 극저온 가스액화용 열교환기의 대부분을 차지하고 있지만, 플레이트 핀 열교환기는 APCI 프로세스 다음의 점유율을 가지고 있는 cascade 프로세스의 주냉각 열교환기로 사용되며 APCI사에 의해 독점 생산되는 spiral wound type heat exchanger에 비해 생산 가능한 회사가 많고 액화천연가스 생산량 증설시 병렬로 열교환기를 추가하여 상대적으로 용이하게 용량을 늘릴 수 있는 장점이 있다. 또한 액화공정의 예냉(precooling) 영역에서는 spiral wound heat exchanger보다 우수한 열전달 특성을 가지고 있으므로 주액화 열교환

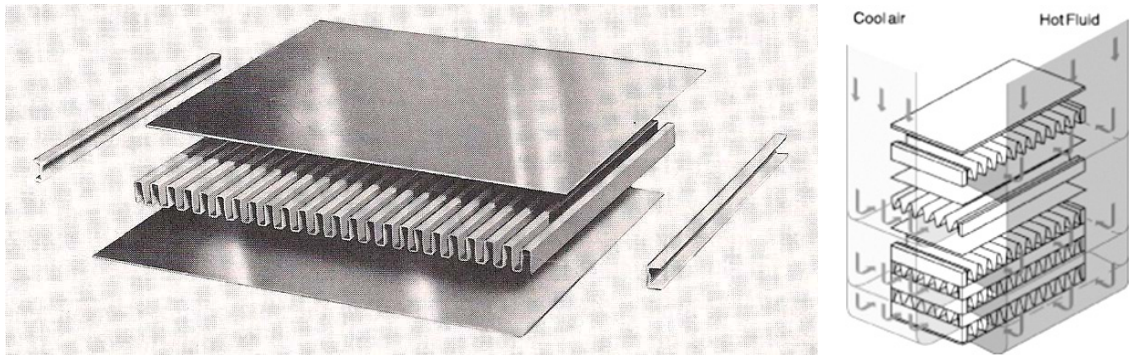


그림 6. Plate fin heat exchanger 개념도



그림 7. Spiral wound type heat exchanger

기로 spiralwound type을 사용하는 공정에서도 precooling용으로는 플레이트 핀 열교환기를 사용하는 경우가 있다. 그림 8에 LNG 플랜트에 사용되는 플레이트 핀 열교환기의 외형을 나타내었다.



그림 8. 극저온용 플레이트 핀 열교환기 외형(좌), 콜드박스에 장착되고 있는 모습(우)

고온용 플레이트 핀 열교환기는 주로 고온부 열원으로부터 열을 회수하여 저온부의 열원에 공급하는 재생 사이클 열교환기(recuperator)로 사용되며 복합화력 발전 및 항공기, 선박용 가스터빈에 적용된다. 주로 GE, Rolls-Royce 등의 업체가 가스터빈 시장을 주도하고 있으며 Sumitomo, Serck Como, HS Marston 등이 고온용 플레이트 핀 열교환기를 공급하고 있다. 항공용 가스터빈 엔진에서는 공냉식 오일 쿨러(air-cooled oil cooler) 또는 공냉식 IDG 오일 쿨러(air cooled integrated drive generator oil cooler) 등에 플레이트 핀 열교환기가 사용되고 있으며, 선박용 엔진에서는 인터쿨러 및 재열기에 플레이트 핀 열교환기가 사용되고 있다.

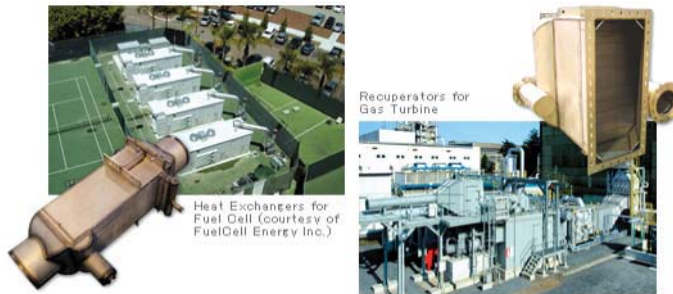


그림 9. 고온용 플레이트핀 열교환기 (출처: 스미토모 사 홈페이지)

2.4 PCHE(Printed Circuit Heat Exchanger)

현재 활발히 플랜트에 사용되고 있는 유형은 아니지만 비교적 최근에 개발되고 있는 열교환기로 인쇄회로판형 열교환기(printed circuit heat exchanger, PCHE)가 있다. PCHE는 전자회로에 회로를 인쇄하는 방식과 유사하게 열교환기



환유로를 금속 박판에 화학적 에칭(chemical etching)으로 마이크로 채널 형태를 식각하기 때문에 붙여진 이름으로 그림 10에 마이크로 채널을 식각한 SUS 박판을 나타내었다. 이러한 방식으로 열교환유로를 금속박판에 식각하면 레이저 등을 이용한 정밀가공 기술로 마이크로 채널을 제작하는 것보다 제조비용이 적게 들고 대량 생산이 용이한 장점이 있다.

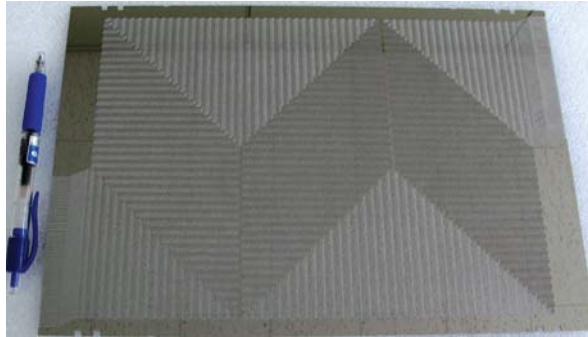


그림 10. 마이크로 채널을 식각한 SUS 박판

이렇게 만들어진 박판을 적층하여 접합을 하여 열교환코어(core)를 만드는데 브레이징(brazing) 방식 또는 확산접합(diffusion bonding) 방식을 사용한다. 극저온/초고온 또는 고압 환경 등의 극한환경에서 사용되는 열교환기를 만들기 위해서는 주로 확산접합 방식을 사용한다. 확산접합이란 금속판재를 적층한 후 용융시키지 않은 상태에서 이종 금속을 투입하지 않고 원자 간의 금속결합을 이용하여 접합시키는 방식이다. 확산접합 방식은 모재와 접합부가 거의 동일한 조직과 성질을 가지게 되므로 극저온 또는 초고온 환경에 강하고 그림 11에 나타낸 바와 같이 기존 브레이징 판형 열교환기에 비해 내압성이 월등히 우수하고, 온도차에 의한 열충격에 강해 허용 온도범위가 넓다.

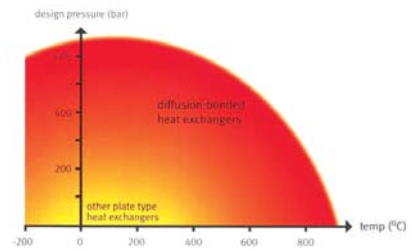


그림 11. 확산접합 방식으로 제작된 열교환기의 허용 압력 및 온도범위

또한, PCHE는 유로 가공이 용이하기 때문에 주로 고집적 형태로 만들 수 있는 마이크로 채널 구조로 유로를 제작하게 된다. 마이크로 채널 구조는 단위 체적당 전열면적이 크기 때문에 소형화가 가능하다는 것이 가장 큰 장점이다. 대용량의 열교환기가 필요한 플랜트 일수록 소형화로 인한 플랜트 건설 및 유지보수 등의 비용 절감 효과가 크게 나타난다. LNG-FPSO에 사용되는 액화 플랜트처럼 공간의 제약이 큰 플랜트 환경에서도 열교환기의 소형화는 필수적이다.



그림 12. 확산접합 방식으로 제작된 인 쇄 기 판 형 열 교환 기 (한국 기계 연구원)

현재 영국의 Heatric사의 PCHE가 상업적으로는 가장 앞서있다. Heatric사에서 제작한 플랜트용 대용량PCHE를 그림 13에 나타내었다. 주로 고온/고압 환경에서 작동해야 하는 가스 및 오일 플랜트, 발전 플랜트, 화학반응기, 심해저 플랜트 등 다양한 용도로 PCHE를 제조하여 공급하고 있으며 최고 내압성능은 600bar, 최고온도조건은 900℃까지의 제품을 개발하였다.



그림 13. 영국 Heatric사에서 제작한 플랜트용 PCHE

3. 결 론

플랜트용 열교환기의 시장동향과 현재 주로 사용되고 있는 몇가지 대표적인 플랜트용열교환기 유형에 대해 살펴 보았다. 지속적으로 성장하고 있는 플랜트 시장에서 열교환기는 전체 공정의 효율에 큰 영향을 미치는 동시에 플랜트 기자재 중 가격적으로도 많은 비중을 차지하는 핵심기자재이다.

현재 국내업체들의 주력 수출 품목인 Shell & Tube type 열교환기, 효율 향상과 소형화를 동시에 꾀하면서 현재 기술수준으로 바로 Shell & Tube 열교환기를 대체할 수 있는 Plate type 열교환기, 초고효율 컴팩트 열교환기로 극저온 액화용 및 초고온 리큐퍼레이터로 사용되는 Plate-fin type 열교환기, 초고온/극고압 환경에서 월등한 신뢰성을 보여주는 확산접합형 PCHE 까지 열교환 밀집도(전열면적/열교환기 체적)가 증가하는 순서대로 배열하여 그 특징과 기술동향을 알아보았다.

현재 플랜트용 열교환기에 대해서는 고부가가치 플랜트의 극한 사용환경에 적용 가능하도록 소재, 가공, 제작기술에 대해 수준 높은 기술이 요구되며, 설계를 위해서 극한조건에서 열교환하는 유체의 거동 및 열전달 현상에 대한 많은 연구가 필요하다. 현재는 이러한 기술을 소수의 선진업체들이 독점하고 있으며 플랜트 라이선스와 연계하여 후발업체들의 시장참여를 제한하고 있다. 그러나 첨단 플랜트용 열교환기에 관한 설계 및 제작기술을 확보한다면 역으로 독자 플랜트 라이선스를 개발하는 단초가 될 수도 있으므로 플랜트용 열교환기에 대해 적극적으로 원천기술을 개발하여 플랜트 산업의 시장진입 가능성을 높여야 할 것이다.

❁ 참고 문헌

[1] G5 대한민국 플랜트 강국 보고서, KOPIA, ADL, mbn, 라이트북닷컴, 2007

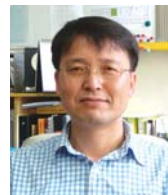


- [2] 온실가스감축기술 전략로드맵 2011, 한국에너지기술평가원
- [3] Eco-Ener 플랜트 경쟁력 확보사업 최종보고서, 2009, 지식경제부
- [4] 2010년 플랜트 수주 300억불 달성을 위한 플랜트 수출산업 증장기 발전방안 연구, 산업연구원, 2004
- [5] 윤석호, 최준석, 박상진, 마이크로채널 기반의 극저온용 열교환기 개발, 2009, 설비저널, Vol. 38, No. 3, pp 24-27.
- [6] 가스플랜트사업단 상세기획보고서, 2008, 국토해양부.
- [7] Heatric사 홈페이지, <http://www.heatric.com>



윤 석 호

- 한국기계연구원 극한기계부품연구본부
열공정극한기술연구실 선임연구원
- 관심분야 : energy plant, heat pump system,
new and renewable energy
- E-mail : shyoor@kimm.re.kr



이 공 훈

- 한국기계연구원 극한기계부품연구본부
열공정극한기술연구실 책임연구원
- 관심분야 : energy plant, heat exchanger,
high-efficiency thermofluidic system
- E-mail : konghoon@kimm.re.kr