삼중효용 흡수식 시스템 기술개발 현황

고효율 흡수식 시스템 개발을 위해 삼중효용 흡수식 시스템의 현재까지의 기술개발 현황을 소개하고자 한다.

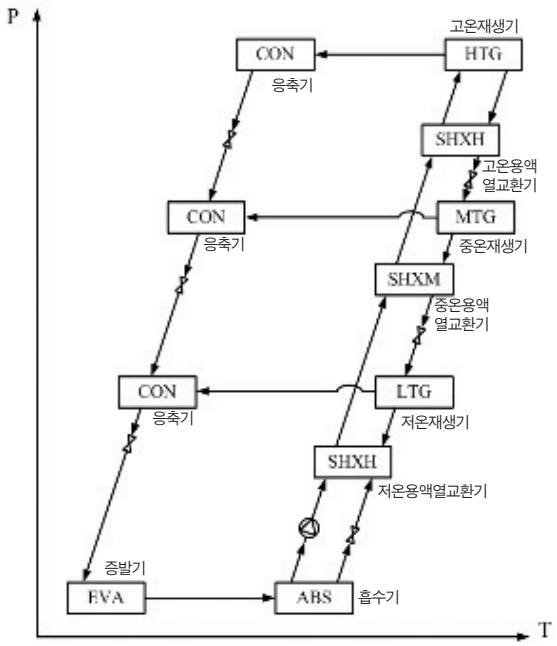
정청우
고려대학교 기계공학부 대학원
funosy97@naver.com
강용태
고려대학교 기계공학부
ytkang@korea.ac.kr

흡수식 시스템은 환경친화적인 냉매를 사용하고 전력 피크 수요를 감소시킬 수 있는 장점을 갖는다. 하지만 기존의 압축식 시스템보다 효율이 낮기 때문에 흡수식 시스템의 성능을 향상시키기 위한 많은 모델이 제안되었다[1]. 그 대표적인 흡수식 시스템의 예로는 이중효용 시스템, 삼중효용 시스템, GAX 시스템 등을 들 수 있으며, 이들은 모두 단일효용 시스템보다 흡수식 성능을 향상시키기 위한 목적으로 수행되었다[2]. 최근 삼중효용 시스템은 흡수식 시스템의 성능을 크게 향상시키는 방법으로 한국과 일본에서 활발한 연구가 진행 중이다. 기본적인 삼중효용 흡수식 냉동기는 이중효용 흡수식 냉동기에 추가적인 재생기와 열교환기를 추가한 것으로 이중효용 시스템에 비하여 약 30%의 COP가 상승한다.

본 연구에서는 삼중효용 흡수식 냉동기 사이클의 기본 원리와 현재까지 제안된 사이클의 특성을 살펴보고 앞으로 기술개발의 전망에 대하여 알아보고자 한다.

삼중효용 흡수식 시스템

삼중효용 흡수식 시스템은 이중효용 흡수식 시스템에 하나의 고온 재생기와 열교환기를 추가한 시스템으로 냉매의 흐름에 따라 직렬흐름(Series flow), 병렬흐름(Parallel flow), 역흐름(Reverse flow), 변형

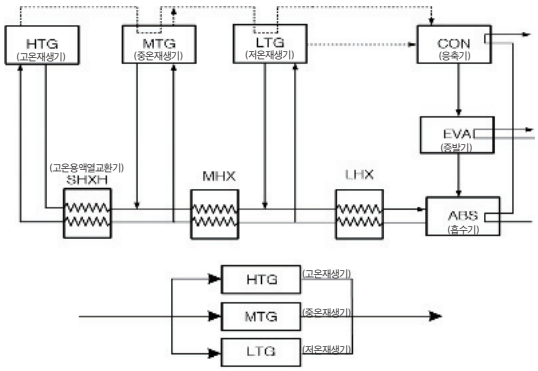


[그림 1] 삼중효용 흡수식 시스템

역흐름(Modified reverse flow)의 네 종류의 흐름으로 구분한다. **그림 1**은 일반적인 삼중효용 흡수식 사이클로서 고온 재생기에서 발생된 증기는 고온 응축기에서 응축하면서 바로 아래 단의 중온 재생기에 열을 가해주고 여기에서 발생된 증기는 다시 중온 응축기에서 응축하면서 다음 단의 저온 재생기를 가열한다. 고온응축기, 중온응축기, 저온응축기에서 응축된 냉매는 증발기에서 증발하며 냉동 효과를 얻는다.

병렬 연결 삼중효용 흡수식 냉동 사이클

그림 2는 병렬 사이클의 개략도를 나타낸 그림이다. 이 시스템에서는 흡수기 출구를 빠져나온 용액이 고온, 중온, 저온 재생기로 동시에 분지된다. Kaita[3]의 모사 결과에 의하면 병렬 흐름은 높은 COP를 갖지만 고온 재생기의 용액 온도가 높아 부식 문제를 유발할 수 있는 단점을 갖는 것



[그림 2] 병렬연결 삼중효용 흡수식 냉동 시스템

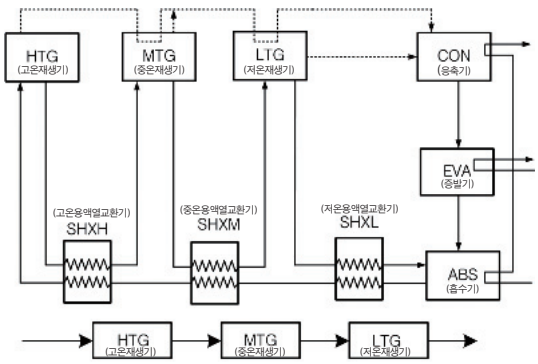
으로 평가되었다.

직렬 연결 삼중효용 흡수식 냉동 사이클

그림 3은 직렬 사이클의 개략도를 나타낸 그림이다. 이 시스템에서는 흡수기 출구를 빠져나온 용액이 고온, 중온, 저온 재생기로 순차적으로 흐른다. Kaita의 모사 결과에 의하면 직렬 사이클은 네 가지 종류의 사이클 중 COP나 고온 재생기의 용액 온도 면에서 큰 장점이 없는 시스템으로 평가되었다.

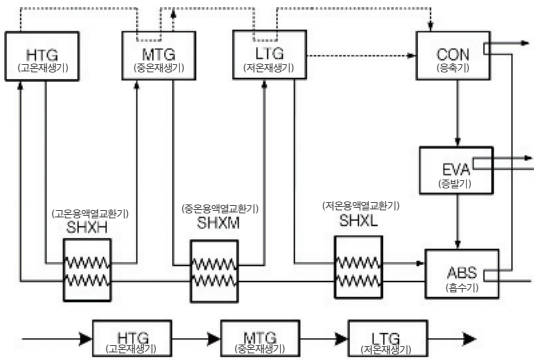
역흐름 연결 삼중효용 흡수식 냉동 사이클

그림 4는 역흐름 사이클의 개략도를 나타낸



[그림 3] 직렬연결 삼중효용 흡수식 냉동 시스템

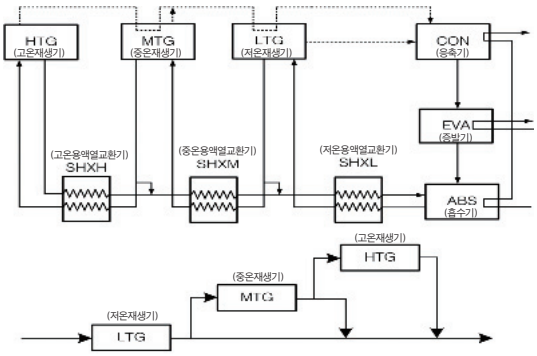
그림이다. 이 시스템에서는 흡수기 출구를 빠져나온 용액이 저온, 중온, 고온 재생기로 순차적으로 흐른다. Kaita의 모사 결과에 의하면 역흐름 사이클은 낮은 고온 재생기 용액 온도와 낮은 COP를 갖는 시스템으로 평가되었다.



[그림 4] 역흐름 연결 삼중효용 흡수식 냉동 시스템

변형 역흐름 연결 삼중효용 냉동 사이클

그림 5는 변형 역흐름 사이클 개략도이다. 이 시스템에서는 흡수기 출구를 빠져나온 용액이 저온, 중온, 고온 재생기로 순차적으로 흐르되 저온과 중온, 중온과 고온 재생기 사이에 용액의 일부가 분지되어 흡수기로 돌아가는 시스템이다. Kaita의 모사 결과에 의하면 변형 역흐름 사이클

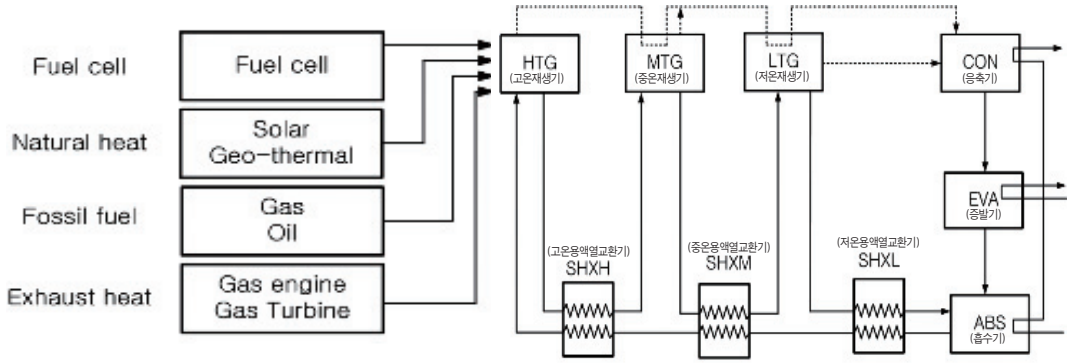


[그림 5] 변형 역흐름 연결 삼중효용 흡수식 냉동 시스템

은 COP 면에서나 고온 재생기의 용액 온도 면에서 유리한 장점을 갖는 시스템으로 평가되었다.

열원에 따른 삼중효용 흡수식 사이클

기존의 흡수식 시스템의 낮은 COP를 개선하기 위한 방법으로 제안된 삼중효용 흡수식 냉동 사이클은 높은 열원으로 구동된다는 단점을 가지고 있다. 또한, 근래에 들어 신재생에너지에 관한 연구가 증가됨에 따라 다양한 열원의 이용이 가능하게 되었다 따라서, 본 연구에서는 아래의 열원에 따른 사중효용 흡수식 사이클을 소개하고자 한다.



[그림 6] 다양한 열원으로 하는 삼중효용 흡수식 사이클

태양열을 열원으로 하는 삼중효용 시스템

신재생에너지 사용 의무화와 더불어 고효율 태양열 집열판의 개발로 인하여 태양열원을 이용한 다양한 산업 기기들이 증가되고 있는 추세이다. 흡수식 냉동 시스템의 경우 고효율 태양열 집열판으로 고온의 열원을 획득할 수 있어 높은 열원을 요구하는 삼중효용 흡수식 시스템에도 적용이 가능하게 되었다.

그림 7은 태양열을 열원으로 하는 삼중효용 흡수식 시스템 개략도이다. 태양열 이용 하이브리드 흡수식 삼중 효용 흡수식 시스템은 태양열 집열판, 보조 보일러, 삼중효용 흡수식 냉동기로 구성되며, 태양열 집열판에서 집열된 230℃ 이상의 고온의 스팀을 이용한다. 포화 증기는 흡수식 시스템의 열원으로 이용되며, 사용된 응축수는 다시 태양열 집열판으로 이동하는 시스템이다.

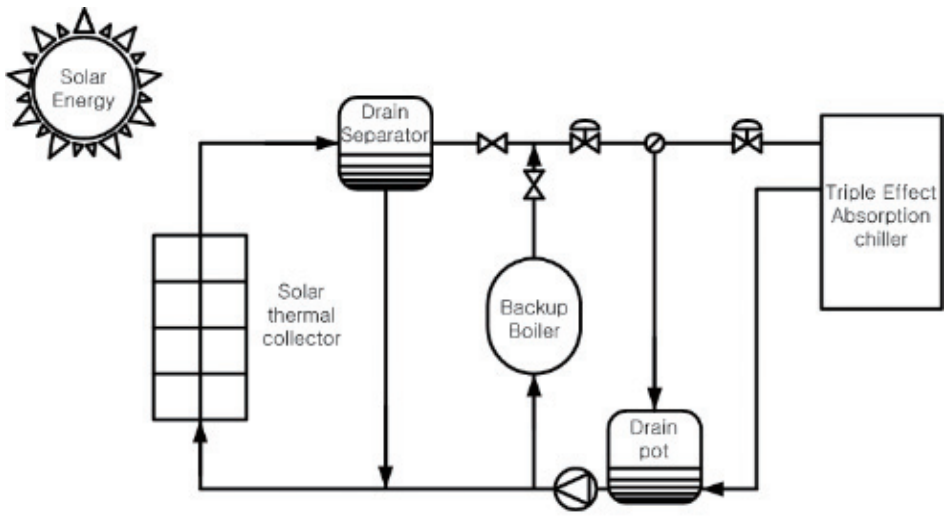
태양열 구동 흡수식 냉동 시스템은 증발기 온도를 -20~10℃ 넓은 범위에 적용 가능하다는 장점이 있다.[4] 또한, Pierres et al.[5]의 경우 저온의 열원(약 80℃)으로 저온(-40℃)이 가능한 냉동 시스템을 제안하였다.

연료전지 폐열을 이용한 삼중효용 시스템

연료전지 이용 하이브리드 흡수식 시스템은 수소 결합 시 반응하는 반응열을 열원으로 하는 시스템이다. 연료전지는 공급받는 수소가스와 외부로부터 공급되는 공기가 반응하여 열을 발생하게 된다. 이때 600~700℃의 고온의 배기가스가 발생하며, 이 열을 이용하여 흡수식 시스템의 열원으로 사용 가능하게 된다. 이는 열과 전기를 동시에 생산 가능하며 냉동 시스템에 열원으로 이용 가능하다는 장점을 가지고 있다. Ratlamwala et al.[6]은 PEM(Proton exchange Membrane) 연료전지를 열원으로 하는 삼중효용 냉동 시스템을 제안하였다.

직접 가열식 삼중효용 시스템

직접 가열식 삼중효용 흡수식 시스템은 화석



[그림 7] 태양열을 열원으로 하는 삼중효용 흡수식 시스템

연료를 이용하여 재생기에 직접적으로 가열하는 방식으로 가장 기본적인 방식이다. 직접 가열 방식은 다른 방식에 비하여 효율이 가장 좋으나 고온재생기 압력이 0.2 MPa, 용액의 온도는 200℃ 이상이다. 따라서 고온, 고압을 위한 보일러가 필수적이며, 배관 및 재생기의 부식 방지를 위한 억제제가 필요하다. 일본 가와사키 냉열공업주식회사(KTE)에서는 천연가스를 열원으로 하는 H_2O/Libr 삼중효용 흡수식 냉동기를 상용화하였으며, 이때 COP는 1.74이다.

삼중효용 흡수식 냉동기 개발의 문제점

고효율 삼중효용 흡수식 시스템의 경우 고온재생기의 온도는 200℃ 이상이다. 용액의 온도가 상승함에 따라서 LiBr계열의 수용액에서는 급격한 부식이 발생하게 되고, 이는 기기의 내구성뿐만 아니라 기기 내부에 불응축 가스를 발생시켜 전체 시스템의 성능을 저하시키는 문제점이 있다. 현재 사용되고 있는 부식 억제제는 $LiCrO_4$, Li_2MoO_4, $LiNo_3$이며 200℃ 이상에서의 안정성에 관한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 이들의 고온 방식 특성에 대한 연구와 함께 새로운 부식 억제제에 대한 연구도 필요한 시점이다.

현재 일, 이중효용 흡수식 시스템에서 사용되는 계면활성제로는 노말옥틸알콜과 2-에틸헥실알콜이 있다. 계면활성제는 용액의 표면장력을 줄여 흡수기 전열관에서 젖음률을 증가시키고, 냉매의 표면장력을 감소시켜 응축전열 효과를 증대시킴으로써 전체 성능을 향상시키는데 목적을 두고 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 계면활성제의 경우 200℃ 이상의 온도에서는 열분해하여 손실되며 불응축가스를 발생시켜 시스템 성능 저하에 원인이 된다. 따라서 고온에서도 분해되지 않는 계면활성제의 연구 또한 필요하다.

결론

최근 들어 다양한 열원을 이용한 흡수식 시스템이 개발되었다. 본 연구에서는 태양열 이용과 PEM 연료 전지를 열원으로 이용한 삼중효용 흡수식 시스템에 대하여 소개를 하였다. 기존의 흡수식 시스템이 가지고 있는 단점들을 보완하기 위하여 앞으로 다양한 열원을 이용한 삼중효용 흡수식 시스템을 연구하여야 하며, 이를 이용한 고효율 흡수식 시스템이 개발될 것으로 생각한다.

참고문헌

1. Keith E. Herold, 1996, Absorption Chillers and Heat pumps, CRC Press, New York, pp. 113-241.
2. Grossman, G., Zaltash, A., 2001, ABSIM-modular simulation of advanced absorption systems, International Journal of Refrigeration, Vol. 24, pp. 531-543.
3. Kaita, 2002, Simulation results of triple-effect absorption cycles, International Journal of Refrigeration, Vol. 25, pp. 999-1007.
4. Khaliq A., Kumar R., Dincer I. Khalid F., 2014, Energy and Exergy Analyses of new triple-staged refrigeration cycle using solar heat source, Journal of solar Energy Engineering, Vol. 136, pp. 011004-1.
5. Pierres N.L, Stitou D. and Mazet N., 2007, New deep-freezing process using renewable low-grade heat : from the conceptual design to experimental results, Energy, Vol. 34, pp. 600-608.
6. Ratlamwala T.A. H., Gadalla M.A. and Dincer I., 2011, Performance assessment of

a combined PEM fuel cell and triple-effect absorption cooling system for cogeneration applications, FUEL CELLS, Vol. 11, pp. 413-423.