



심부지열에너지를 이용한 지역냉방

전종욱

(사) 한국냉동공조인증센터
수석연구원

1. 심부지열의 활용

심부지열은 날씨와 기온 등에 영향을 받지 않고 연중 일정한 에너지 생산이 가능하여 기저부하를 담당할 수 있는 신재생에너지 자원으로 알려져 있다.

화산성 고온 지열지역이 아닌 우리나라에서도 지역적으로 약 70 ~ 80도 정도의 고온지열수가 생산되는 곳이 더러 존재한다. 물론 시추기술의 향상으로 심도 5 km에서 기대되는 최대 약 180℃ 이상의 온도를 확보하면 최근 개발 중인 인공 지열 저류층 생성 기술(EGS; Enhanced Geother-

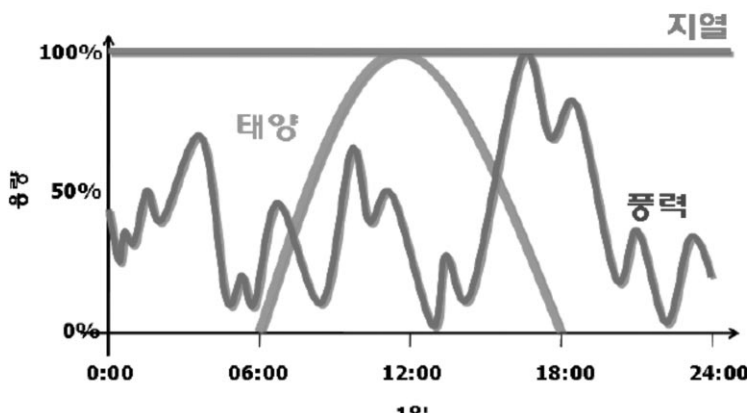
mal System)을 통한 상업적 지열발전도 가능하다. 하지만 지열온도 상승을 위한 과도한 시추 깊이는 아직까지 충분한 경제성을 확보하기에 걸림돌이 되고 있다.

지열수온도가 약 73℃를 선회하는 석모도는 대표적인 고온온천수를 생산하는 지역이나 발전을 하기에는 높은 효율을 기대하기 어려운 지열수온도이다.

여름철 전력소비량이 크게 늘어나 국가적으로 대책마련이 한참인 시기에 전력생산량을 늘리는 방법보다는 현재의 소비전력량을 줄이는 방법이 더욱 장기적인 효과를 거둘 수 있을 것이다.

100도 미만의 지열수는 지열발전으로 활용할 경우 높은 효율을 기대할 수 없으나 그 정도의 온도면 중온수 흡수식 냉방시스템에서는 고효율 운전이 가능하다.

본 일반원고에서는 지열중온수(70 ~ 90℃)를 이용한 흡수식 냉방시스템 적용에 대한 내용을 서술한다. 이를 위해 히트펌프를 사용하여 지열을 이용하기에 익숙해진 독자들에게 흡수식냉동기의 원리와 심부지열에 적용 가능한 1중 효율 2단 중온수 흡수식 냉동기를 소



[그림 1] 신재생에너지 원별 유용성 상대적 비교

개하였다. 끝으로는 증온수를 이용한 지열 바이너리 시스템을 간단히 보였다.

2. 흡수식냉동기 냉동원리

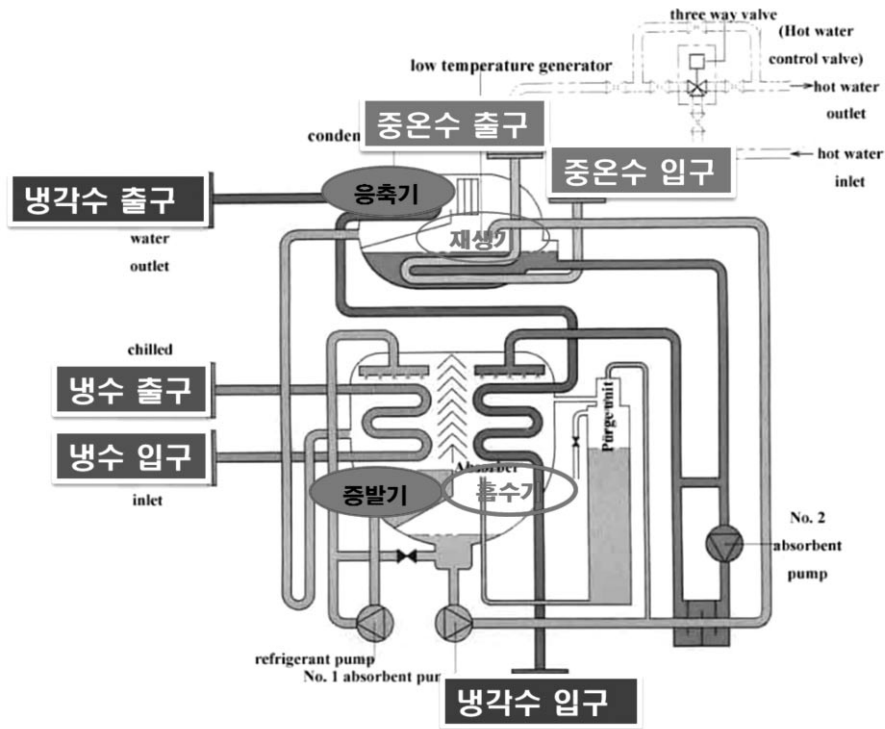
흡수식냉동기는 낮은 압력조건에서 포화증기온도가 낮아지는 원리를 이용하여 낮은 압력의 냉매를 저온에서 증발시켜 증발잠열로 방열원을 만들어낸다. 냉매가 채워진 공간내부(냉방열원)를 냉수배관이 관통하고 냉매는 냉수배관 내의 냉수로부터 열을 빼앗아 증발잠열에너지로 활용한다. 냉매 증발을 지속적으로 유지시키기 위해선 증발기의 압력을 포화증기압 이하로 떨어뜨려야하고 이를 위해 냉매증기를 흡수액으로 흡수해야 한다. 냉매증기를 흡수하는 흡수액은 재사용이 가능해야 하므로 흡수한 냉매를 분리시켜 흡수액의 농도를 떨어뜨려야 한다. 흡수액과 냉매는 포화증기

온도가 다른 것을 취하여 열이 가해졌을 때 냉매만 상변화가 일어난다. 냉매의 기화로 농축된 흡수액은 증발기에서 냉매가 계속 증발할 수 있도록 냉매증기를 흡수하는 역할을 다시 수행하게 된다.

흡수식냉동기는 흡수액을 재사용할 수 있도록 가열원이 반드시 존재해야 한다. 아이러니하게 냉방을 위해서는 고온의 열원이 필요한 냉방사이클로 최근 하절기 전력피크를 줄이기 위한 방안의 하나로 여겨지고 있다.

열을 이용하여 냉방을 한다는 이론에서 태양열을 이용한 흡수식냉동기가 많은 연구 끝에 현재는 상용화되어있다. 여름철 한낮의 태양열을 이용한 냉방은 아주 이상적인 조합이다.

이젠 더 나아가 날씨와 시간에 영향을 받지 않는 심부지열을 이용한 냉방시스템도 고려해볼 만한 시기이다.



[그림 2] 흡수식 냉동기 원리 개략도

3. 흡수식냉동기 종류

냉매는 물로 사용하고 흡수액은 리튬브로마이드 용액을 사용하는 시스템이 건물냉방용으로 가장 널리 사용되고 있으며, 물이 흡수액으로 사용되고 냉매는 암모니아를 사용하는 흡수식냉동기도 공기냉각 혹은 물냉각 방식으로 사용되기도 한다.

암모니아를 이용한 흡수식 냉동사이클은 무동력 사이클로 구성하면 정음운전이 가능하여 고급 소형냉장고에 사용되기도 한다.

열원의 온도에 따라 흡수식냉동기의 구성요소가 변하여 다른 형상의 흡수식냉동기로 나타나기도 하는데 열원으로 흡수액을 가열하여 냉매를 재생시키는 횟수에 따라 한 번이면 일중효용이고 두 번이면 이중효용, 세 번이면 삼중효용 흡수식냉동기라 칭한다. 흡수식냉동기로 유입되는 열원의 온도가 높을수록 열에너지를 받는 냉매 및 흡수액의 열교환 횟수가 증가하고 재생기의 숫자가 달라질 수 있다. 보통의 경우 섭씨 약 90도에서 120도의 열원이면 일중효용, 140도에서 155도이면 이중효용, 180도에서 190도의 열원이 유입되면 삼중효용 흡수식냉동기가 제작 가능하다.

고온의 열원을 받을수록 재생횟수가 증가하고 열역학적 관점에서 이론적인 효율이 커진다. 삼중효용으로 갈수록 절대효율이 커지는 것은 어렵지 않게 예상할 수 있으나 마찬가지로 들어오는 열원수의 온도에 따라 한계 최대효율이 존재한다는 것도 이해할 수 있다. 유입되는 열원수의 온도에 따라 실운전에 따른 적정 최대효율이 다르므로 유입온도가 다른 시스템들은 최대효율을 비교할 수 없게 된다.

중저온의 지열수에 적용할 수 있는 흡수식냉동기로는 물과 리튬브로마이드를 이용한 1중 효용 흡수식냉동기이다.

1중 효용 흡수식냉동기는 다시 시스템구성에 따라 1단과 2단 흡수식 냉동기로 나뉠 수 있다. 2단 중온수 흡수식냉동기는 증발기 흡수기가 두

개의 단으로 나뉘어 운전하게 되어 있고 부하변동에 따라 2단과 1단의 운전여부가 결정된다.

4. 심부지열수를 이용한 중온수 흡수식냉동기

지열발전이 활성화된 것이 고온의 지열수를 더 많이 발견해서가 아니라 중저온의 낮은 온도의 지열수를 이용하여 발전할 수 있는 기술의 발달 때문인 것처럼, 점차적으로 고효율화 되고 있는 중저온 흡수식 냉동기는 중저온 지열에너지를 활용한 냉방시스템의 도입을 앞당길 것이다.

현재는 섭씨 70도에서도 냉방성능이 확보되는 흡수식 냉방시스템이 개발되고 있어 지열수를 이용한 대규모 냉방시스템의 도입이 머지않았음을 알 수 있다.

열원정도에 따른 분류로 보면 일중효용 흡수식 냉동기로 분류되는 중온수 흡수식냉동기는 이미 집단냉방공급 시스템으로 빠르게 확산되고 있다.

중온수를 이용한 흡수식냉동기가 집단에너지사업자들과 소비자들에게 환영을 받는 이유는 여러 가지가 있을 수 있다.

집단냉방을 공급하는 집단에너지공급사업자들 중 가장 대규모인 한국지역난방공사의 경우 발전소의 폐열을 열원으로 사용한다. 여름철 피크전력 생산을 위해서 최대부하로 운전되는 발전소의 경우 터빈효율의 향상을 위해 냉각수를 최대한 낮게 유지시켜야 한다. 고온다습한 여름에 낮은 냉각수온도를 만들기 위해서는 냉각탑에서 소요되는 소요전력이 증가할 수밖에 없다. 때문에 터빈 효율과 반비례하는 냉각탑 소비전력을 모두 고려하여 적절한 발전효율을 유지하여야 한다. 발전소에서 냉각되어야 하는 냉각수의 열원을 이용하여 여름철 냉방에너지에 사용한다면 일석이조의 이익이 발생하는 격이다. 여름철 날씨가 더울수록 많은 사람들이 냉방용량을 필요로 할 것이고 냉방용량의 사용이 증가할수록 발전소의 냉각탑 운

전율은 줄어들어 발전효율은 크게 향상될 것이다.

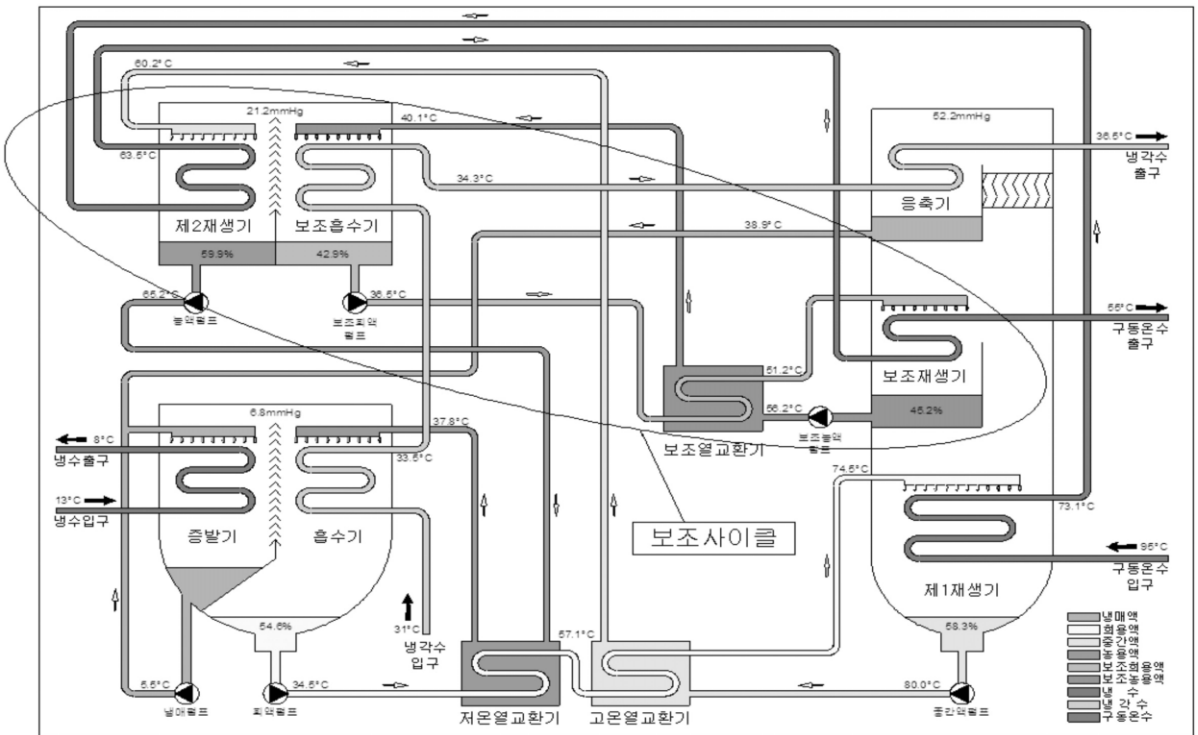
지열발전의 경우에도 일정이상의 고온 지열수가 지중으로부터 확보될 경우 발전효율의 향상을 위해 응축기에서 최대한 많은 냉각이 필요하다. 이때는 위에서 언급된 지역냉방에서의 발전효율향상 방안이 그대로 적용될 수도 있다. 발전터빈효율 향상을 위해 냉각수의 온도를 떨어뜨리는 것도 중요하지만 지상과 지중의 환경을 고려하여 사용한 지열수를 100% 다시 지중으로 재주입해야 하는 최근의 지열발전시스템들은 지열수가 재주입 전에 충분히 냉각되어야 한다. 중온수 흡수식 냉동기는 응축기를 냉각하는 냉각탑의 역할을 해줄 수 있을 뿐 아니라 재주입 지열수 냉각장치로 사용되면서 필요한 냉수를 생산할 수 있다.

지열수의 생산온도가 낮을수록 여름철 외기온도 상승에 따라 발전효율이 더 크게 떨어진다. 현재 국내에서 생산가능한 고온의 지열수온도는 섭씨

70도에서도 운전가능하도록 개발한 중온수 흡수식 냉동기 운전에 적절한 온도이다. 지열수를 이용하여 연중 전력을 생산하는 것도 좋은 방안이나 여름철에는 냉방부하를 담당할 수 있는 시스템으로 개발하는 것도 심부지열시스템의 효율향상 방안으로 생각할 수 있다.

5. 2단 중온수 흡수식 냉동기 원리

- ① 응축기에서 내려온 냉매(물)는 압력이 낮은 증발기로 유입되어 낮은 포화증기온도를 갖는다. 냉매는 상대적 높은 온도로 유입되는 냉수에서 열을 빼앗아 증기로 변하고 흡수기로 유입된다. 냉매의 증발잠열만큼 열에너지를 빼앗긴 전열관 내부에 흐르는 냉수는 약 7~8℃로 냉각된다.



[그림 3] 2단 중온수 흡수식 냉동기 원리 개략도

- ② 흡수 능력이 뛰어난 리튬브로마이드는 제2재생기에서 농축되어 흡수기로 보내지고 연결된 증발기에서 날려 온 냉매증기를 흡수하여 묽은 용액이 된다. 냉매증기 흡수는 흡수기내의 증기압을 증발기보다 낮게 유지시키고 냉매증기를 흡수기로 지속적으로 보내진다. 냉매를 흡수하는 과정이 발열과정이라 발생하는 열은 냉각수에 의해 냉각된다.
- ③ 흡수기에서 묶어진 흡수액은 제2재생기로부터 내려온 저온흡수액의 열을 저온열교환기에서 받고 제1재생기부터 내려온 고온흡수액의 열을 고온열교환기에서 받는다.
- ④ 제1재생기에서는 약 80℃ 지열수가 묽은 흡수액을 가열하여 포화증기온도가 낮은 냉매를 증발시킨다. 흡수액은 1차 농축이 이루어지고 2차 농축을 위해 제2재생기로 가는데 온도를 낮추기 위해 고온열교환기를 거친다.
- ⑤ 제1재생기를 지나 제2재생기로 들어오는 것은 흡수액뿐만 아니다. 제1재생기를 거친 후에도 여전히 충분한 열에너지 가진 지열수는 흡수액 루트와 마찬가지로 제2재생기의 내부 파이프를 유입된다. 지열수는 포화증기온도가 낮아진 흡수액에 열에너지를 가하여 흡수액 내의 냉매 증가를 더욱 가중시킨다. 냉매의 증발과 함께 농축된 제2 중간농도의 진한 흡수액은 제1재생기를 거쳐 나온 온수에 의해 가열되면서 냉매증기를 발생한다. 냉매증기를 발생하면서 농축된 진한 흡수액은 저온열교환기를 거쳐 흡수기로 간다.
- ⑥ 제2재생기에서 발생된 냉매증기는 압력이 낮은 보조흡수기로 유입되고 보조흡수기의 전열관 외부로 흐르는 흡수액에 흡수된다. 냉매증기를 흡수하여 묶어진 흡수액은 보조열교환기를 거쳐 보조재생기로 이동한다.
- ⑦ 보조재생기 내의 묽은 흡수액은 보조재생기

의 전열관을 흐르는 고온 지열수에 의해 가열되어 냉매 증기를 발생한다. 보조재생기는 고온 지열수의 열을 빼앗는 마지막 과정이다. 농축된 흡수액은 보조열교환기를 거쳐 보조흡수기로 간다.

- ⑧ 제1재생기와 보조재생기에서 발생된 냉매증기는 상부의 응축기 전열관 외부에 응축되어 증발기로 공급된다.

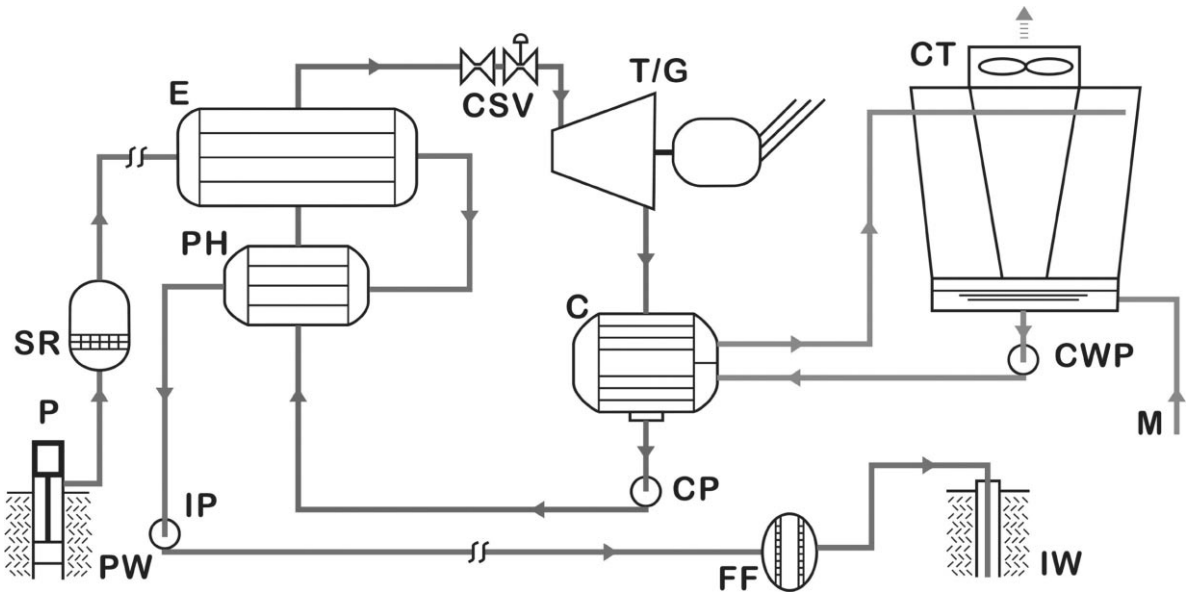
6. 심부지열을 이용한 증온수 바이너리 시스템

지열발전을 위한 온도가 부족할 경우에 즉, 180℃ 이하의 지열유체의 경우에는 터빈을 돌릴 정도로 증기 압력이 높지 않으므로 고온의 열수로 생산된다. 중저온의 지열수에서 열을 빼앗아 끓는점이 낮은 작동유체에 전달해 주고 이 열로 기화된 작동유체의 압력으로 터빈을 돌려 발전하는 바이너리 발전 방식이 우리나라와 같은 비화산지대에 사용된다.

바이너리 사이클 지열 발전은 고온의 증기를 이용하는 방식보다 효율이 상대적으로 낮기 때문에 유럽에서는 지역 난방(District heating)과 연계한 열병합발전 방식을 채택하여 경제성을 확보하는 경우도 더러 볼 수 있는데 여름철 많은 냉방에너지가 필요한 우리나라의 경우 지역냉방과 연계한 열병합발전 방식도 활용도 가능할 것으로 보인다.

바이너리 지열발전시스템

- 일반적으로 폐쇄형 루프의 열교환기를 통하여 중저온의 지열수(Geothermal fluid)를 순환시키고 지열수의 열을 이용하여 비등점이 낮은 작동 유체(Binary working fluid)를 가열하는 랭킨 사이클(Rankine cycle) 방식이 주로 사용된다.
- 지열수의 열에너지를 흡수하여 작동 유체가



[그림 4] 전형적인 지열 바이너리 시스템 개략도

가스 상태로 변환되며, 기상의 작동유체 압력에 의해 터빈을 돌려 전력을 생산한다.

- 중저온을 이용하는 바이너리 지열 발전 설비는 작동 유체에 따라 유기 랭킨 사이클 (Organic Rankine Cycle , ORC)과 칼리나 사이클 (Kalina Cycle)로 구분된다.
- 유기 랭킨 사이클은 유기 물질을 작동 유체로 하며, 프레온 계열의 냉매와 프로판 등의 탄화 수소계열의 가스가 주로 이용된다.
- 칼리나 사이클은 암모니아-물의 혼합물을 작동 유체로 이용하며, 메인작동유체인 암모니아를 물에서 분리시키고 다시 물로 흡수시키는 점에서는 흡수식냉동기와 유사한 원리로 볼 수 있다. 암모니아-물을 이용하는 원리에서 흡수식냉동기와 가장 큰 차이점은 잠열에너지를 주로 이용하는 것이 아니고 기상의 암모니아 압력을 사용하기 때문에 얼마나 고압으로 형성될 수 있는가가 효율을 좌우할 수 있는 가장 큰 변수이다.

7. 결론

인류가 지금보다 좀 더 육체적으로 힘든 생활을 하려한다면 그만큼 자연은 보존될 것이라는 말이 있다. 마찬가지로 미래를 위한 진정한 노력은 인간이 편하게 살기위한 발전노력을 하지 않는 것이라는 말이 있다.

틀린 말은 아니지만 우리는 언제나 이상만을 추구하며 살 수는 없다. 현실을 받아들이고 주어진 상황에서 최선이 불가능하다면 차선을 찾아 노력해야 한다. 부족한 에너지공급량을 아무리 걱정하여도 인류가 사용하는 총에너지사용량은 엔트로피와 같이 계속 증가할 수밖에 없다. 지열이라는 새로운 에너지를 활용하여 우리나라가 직면한 에너지부족 문제를 조금이라도 해결할 수 있는 방안 중 하나인 심부지열을 이용한 흡수식냉방시스템을 소개해 보았다.

참고문헌

1. 3중 효율 흡수식 냉동기 사이클 소개 및 기술 동향, 설비/공조 냉동 위생 2011년 3월호, 김현수.
2. 국내 흡수식 냉온수기의 현재 수준 및 기술동향, 설비저널 제38권 제8호, 남상철.
3. 일본의 고효율 흡수식 냉온수기, 설비저널 제38권 제8호, 윤정인.
4. 흡수식 냉동기의 해외 개발 동향 및 전망, 설비/공조 냉동 위생 2011년 3월호, 박찬우. 