

# 열펌프형 빙축열장치에 의한 부하평준화

열펌프형 빙축열장치의 적용을 통하여 에너지절약과 전기부하평준화에 기여할 수 있는 방법인 ACES에 대하여 소개하고자 한다.



우 정 선

## 머리말

금후의 에너지공급은 환경문제, 석유, 천연가스 등 부존 에너지의 고갈, 전력수요의 급증, 발전소 입지선정의 어려움, 주야간, 계절간 수요격차의 심화 등 안정적 공급에 불안요소가 크다.

주야간, 계절간 전력 수요격차가 심화되는 중요한 원인중의 하나는 하절기 냉방부하의 급증에 기인한다. 동절기에도 난방용으로 전기를 많이 사용하고 있으나, 난방용 열에너지발생이 전기를 이용하기 보다는 가스나 등유 등 화석에너지의 연소에 따른 열에너지를 대부분 사용하고 있기 때문에 동절기에 비하여 하절기의 첨두전기부하가 문제가 된다. 이런 관점에서 보면, 하절기 냉방수요를 없애면 그만큼 발전설비의 건설을 줄일 수 있을 것으로 판단할 수 있으나, 하절기 냉방수요를 없애면 다음에 대두되는 것이 동절기 난방수요이기 때문에 다시 겨울철 난방수요를 대비한 발전설비의 건설이 필요하게 된다. 이러한 사실을 감안 할 때, 합리적인 것은 하절기 수요와 동절기 수요가 같은 수준이 되도록 억제 또는 분산시키는 것이 바람직하기 때문에 하절기 냉방수요를 억제하기 위한 합리적인 목표치는 하절기 최대전력수요와 동절기 최대전력

수요의 차가 된다.

따라서 첨두부하억제를 위한 심야부하 혹은 계간부하로의 이전효과가 큰 축냉설비(냉수축열, 빙축열) 보급을 위한 조치가 매우 중요하다.

본 고는 국내에는 적용실적이 없는, 열펌프형 빙축열장치를 동절기에 가동하여 응축기로 부터의 온열은 난방과 급탕에 사용하고 증발기로 부터의 냉열은 계간빙축열 저장하여 냉방기에 이용하는, 냉방부하의 계간이전이 가능한 ACES(annual cycle energy system)의 개념과 유용성 등을 고찰하고자 한다.

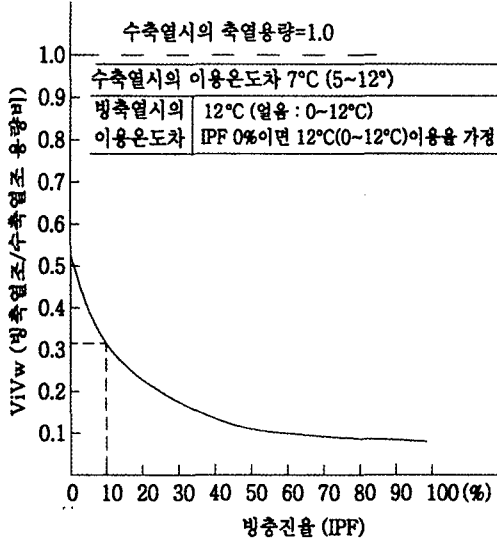
## 열펌프형 빙축열장치

### 빙축열시스템

냉방부하의 증가에 기인한 첨두전기부하의 이전을 위한 수단으로서 심야전력을 이용하는 냉수축열(현열축열)방식과 빙축열(잠열축열)방식이 이용되고 있으며, 특히 빙축열방식은 보다 효과적인 방식으로 권장되고 있다.

빙축열시스템은 1970년대 후반에 미국에서 비교적 대규모적인 축열시스템으로 개발이 시작되었으며, 우리나라에 도입이 된 것은 1990년경으로서, 정부의 지원제도가 수립되어 시행되면서

우 정 선 한국에너지기술연구소 에너지절약연구부(jswoo@kier.re.kr)



〈그림 1〉 축열조용량과 얼음충진율

본격적인 보급이 이루어지기 시작하였다. 현재는 국내에도 빙축열시스템을 제작 공급하는 회사가 십여개사에 달하며, 열원장치와 축열조를 일체화 하는 유니트형 제품이나 현지에서 조립하는 현장시공형 등으로 제작되고 있다.

빙축열잠열의 이용은 물의 이용에 비교할 때 5~8배의 고밀도 축열특성을 기대할 수 있는 장점이 있다. 〈그림 1〉은 축열조용량과 얼음충진율과의 관계를 나타낸다. 상온의 물을 0°C 얼음으로 저장하게 되면 단위 중량당 6배 이상의 냉열 저장장이 가능하여 축열조 용량으로 보면 냉수축열조에 비하여 약 16%의 용적으로도 동일 열량을 저장할 수 있는 특징이 있으며, 냉수축열에서는 5~12°C의 온도차를 이용할 수 있으나, 빙축열에서는 0~12°C의 온도차를 이용할 수 있는 특징이 있음을 알 수 있다.

기존의 냉방시스템에 비하여 빙축열시스템은 냉동기의 증발온도가 낮기 때문에 효율이 낮아 총전력소모량은 증가하지만 하절기의 냉방에 기인하는 첨두전기부하를 심야시간대로 분할 이전하여 발전기의 부하율을 용이하게 평균화시킬 수 있는 등의 장점이 있다. 또한 한국전력공사에

서는 심야시간대의 전기에너지단가를 싸게 차등 적용하고 있으므로, 소비자 입장에서는 전력단가가 싼 심야전력을 이용하여 냉방기 운전비를 절감시키는 이점이 있으며, 한국전력공사에서 지원하는 초기투자비에 대한 지원금을 이용할 수 있으므로 초기투자비회수기간도 단축시킬 수 있는 등 여러 가지 이점이 있다.

이외에 빙축열장치는 냉수축열장치에 비하여 축열조용적의 감소, 표면적의 감소에 따른 열손실의 감소, 사용되는 냉열온도의 안정화, 냉열 이송동력의 상대적인 감소 등 많은 장점이 있다. 그러나 빙축열량이 증가할수록 냉동기의 효율은 저하하므로 축열조의 빙충진율과 냉동기의 성능계수 등 관련되는 여러 가지 인자의 상호관계를 보다 충분히 고려하여 시스템을 설계할 필요가 있다.

#### 열펌프형 빙축열장치

빙축열시스템은 증발기에서 얼음을 생산하는 동안 응축기에서는 증발기에서 생산되는 열량보다도 많은 온열에너지가 만들어지고 있으나, 국내에서 생산 보급되고 있는 빙축열장치는 대부분 이러한 응축기로 부터 발생하는 많은 양의 온열에너지가 냉각탑을 통하여 대기중으로 혹은 냉각기를 통하여 응축수로 버려지고 있다. 빙축열시스템의 효율은 응축온열을 사용할 수 있도록 형식을 개선함으로써 가능하며, 이와 같이 증발기로 부터의 빙축열냉열과 응축기로 부터의 응축온열을 이용할 수 있는 열펌프형식을 ice-maker heat pump system 혹은 ice storage heat pump system이라 하며 이하 열펌프형 빙축열장치라 부르기로 한다. 기존의 빙축열장치의 COP가 “증발기로 부터 얻어지는 빙축열냉열/압축기에 소요되는 동력”인데 비하여 열펌프형 빙축열장치의 COP는 “[증발기로 부터 얻어지는 빙축열냉열 + 응축기로 부터 얻어지는 온열]/압축기에 소요되는 동력”이므로 COP가 크게 높아진다. 다만 온열을 유효하게 사용하기 위하여는 보다 높은 온도로 승온하여 질을 높이거나 시스템 구

성을 다소 복잡하게 해야 하므로 시스템의 COP를 간단하게 비례하여 비교할 사항은 아니다. 이와 같은 열펌프형 빙축열장치는 선진국에서는 상용화되어 사용되고 있으며, 기존의 장치에 비교할 때 에너지성능이 크게 높은 것으로 알려지고 있다.

그러나 열펌프형 빙축열장치를 효율적으로 적용하기 위하여는 빙축열냉열은 물론 발생되는 응축기로 부터의 온열을 적절하게 사용할 수 있는 사용처가 필수적으로 있어야 한다.

## ACES

### 개요

ACES는 연중 발생하는 에너지부하를 평균화시키기 위한 시스템으로서 전기에너지, 열에너지를 포함하여 가능한 종류의 에너지를 대상으로 연중에 소요되는 에너지부하를 평균화시킴으로써 에너지의 공급과 수요를 일정하게 유지하기 위한 기술 개념으로 해석된다.

ACES를 냉방과 난방 목적에 국한하면, 1년을 주기로 하여, 동절기에 필요한 난방에너지와 하절기에 필요한 냉방에너지를 동절기나 하절기에 국한하지 않고 연중에서 생산 및 사용효과를 최선으로 얻을 수 있는 시기에 냉난방장치를 운전하여 필요한 에너지는 사용하고 남는 에너지는 저장하여 필요한 시기에 사용하는 시스템 개념이다. 생산되는 모든 에너지는 가능하면 빨리 사용할 수 있는 유용한 사용처가 있는 것이 최선의 효과를 얻을 수 있는 것은 물론이다.

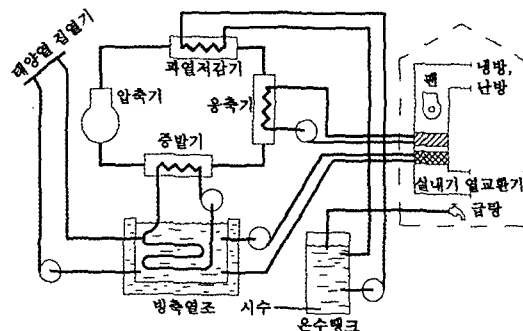
ACES에 열펌프형 빙축열장치를 이용하는 방법은 열펌프형 빙축열장치를 하절기에 가동하여 빙축열 냉열은 냉방에 사용하고 응축열은 급탕 등의 목적에 사용하며 잉여열은 축열하여 동절기의 난방 및 급탕열(혹은 난방 보조열원)로 사용하는 방식과, 반대로 열펌프형 빙축열장치를 동절기에 가동하여 응축열은 난방 및 급탕에 사용하고 증발기로 부터의 냉열은 빙축열하여 하

절기의 냉방에 사용하는 방식이다. 앞의 빙축열장치를 하절기에 가동하는 방식은 잉여열의 잠열축열도 가능하지만 특히 대용량의 경우 현재로서는 잠열재의 사용은 경제성이 적으므로 수축열방식의 현열축열방식의 적용이 불가피하여 저장조의 용량이 크게 필요하며, 또한 열손실에 따라 온도레벨이 변하기 때문에 사용시점인 동절기에는 승온을 통하여 질을 높여야 하는 등 큰 단점이 있다. 반면에 열펌프형 빙축열장치를 동절기에 가동하는 방식은 증발기로 부터의 냉열을 이용하여 빙축열방식의 잠열축열이 가능하므로 현열축열에 비하여 저장조의 용량이 작아지며, 냉열의 사용시점인 하절기까지도 온도레벨을 안정하게 유지 할 수 있는 장점이 있다.

또한 열펌프형 빙축열장치는 냉동사이클 특성상 증발열에 비하여 응축열이 많으며, 따라서 응축열은 사용하고 증발냉열을 저장하는 방법이 장기저장에 따른 열손실을 줄일 수 있다.

이상과 같은 관점에서 보면 ACES에는 응축열은 이용하고 증발냉열은 빙축열 저장하는 난방 부하추종방식이 효율적인 방식으로 판단된다.

<그림 2>는 ACES 개념도의 일예를 나타낸다. 이와 같은 ACES에의 적용을 위한 열펌프형 빙축열장치는 빙축열량을 냉방부하에 최적화시킬 수 있는 시스템 개발, IPF가 큰 빙축열조 형식의 선정 및 최적용량의 빙축열조 설계가 중요하다. 빙축열조가 작은 경우에는 실내의 쾌적성이 문



<그림 2> ACES 개념도

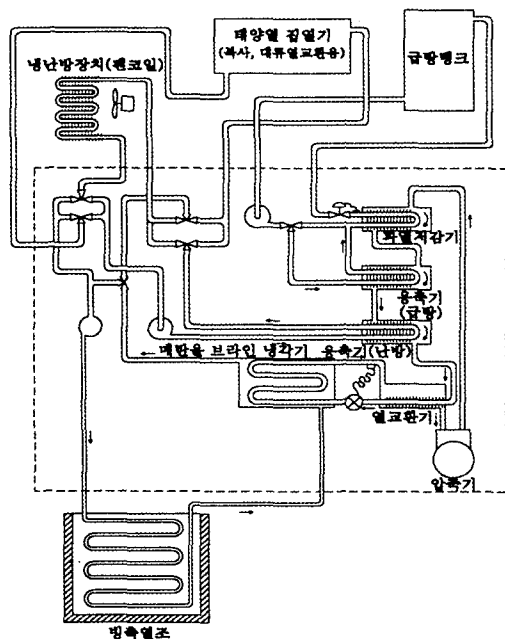
# 일 반 원 고

제가 되고 하절기에 보조가동이 불가피하며, 빙축열조가 큰 경우에는 초기투자비용이 높게되며 또한 필요 이상의 에너지가 저장되면 에너지의 낭비요인이 되기 때문이다. 즉, 필요로 하는 동절기 난방에너지와 하절기 냉방에너지를 적절하게 생산 및 저장하기 위하여는 최적시스템과 운전모드의 구성이 필요하다.

필요한 냉방에너지를 계간 이동시켜서 사용한다는 의미로서, 운전방식을 감안하여 이와 같은 열펌프형 빙축열장치를 이용하는 시스템을 ACES(annual cycle energy system)라 부르며, 이하 동 시스템의 적용목적을 감안하여 계간부하 평준화시스템이라 부르기로 한다.

### 운전방식

〈그림 3〉은 열펌프형 빙축열장치를 효율적으로 적용하기 위하여 미국 ORNL에서 수행한 ACES의 개요도를 나타낸다.



〈그림 3〉 ORNL의 Annual cycle energy system 개요도

그림에서 보는 바와 같이 기존시스템은 압축기, 냉매-브라인 열교환기(냉열 및 온열 열매체로 브라인을 사용하므로 4개), 팬코일 유니트, 태양열 집열기, 급탕탱크, 빙축열조, 기타 배관 설비로 구성되었다.

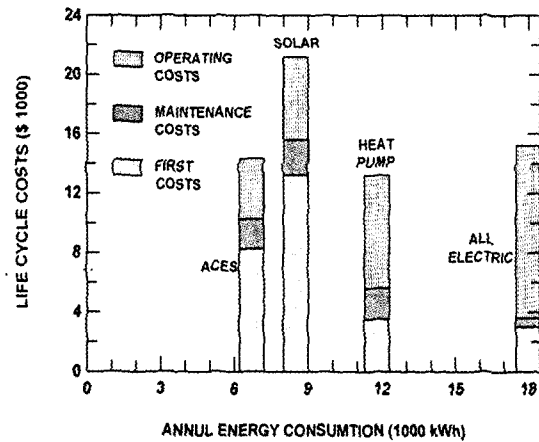
여러 가지 밸브류를 이용하여 필요한 각 모드의 운전이 가능하다. 운전모드의 종류는 난방, 냉방, 급탕, 빙축열 얼음의 용해, 응축온열의 방열, 방+빙축열 얼음의 용해, 급탕+빙축열 얼음의 용해, 냉방+급탕, 냉방+응축온열의 방열의 9가지가 있다. 난방모드 운전에서는 압축기와 모든 펌프, 팬이 가동된다. 이때 난방용 유체는 응축기(난방용)에서 생산되어 팬코일 유니트로, 급탕은 과열저감기와 응축기(급탕용)에서 생산되어 급탕탱크로 공급된다. 급탕용수는 난방과 동시에 자동적으로 생산이 되며, 급탕용수가 많이 필요한 특수한 경우에는 급탕모드 단독으로도 운전이 가능하다. 난방모드와 급탕모드 운전시에 증발기를 통과하여 냉각된 저온의 브라인을 빙축열조로 순환시킴으로서 빙축열조로 부터 열이 회수되며, 얼음이 생산된다. 냉방모드 운전에서는 팬과 빙축열 탱크를 통하여 순환되는 브라인 순환용 펌프만이 가동된다. 난방과 급탕운전을 통하여 생산, 빙축열 된 빙축열조 내의 냉열이 예측되는 하절기의 냉방부하를 만족시킬 수 있는 정도의 양이 되면 더 이상의 운전은 불필요하게 된다. 이와 같이 난방에 필요한 온열량과 냉방에 필요한 냉열량을 정확하게 맞도록 설계하고 운전하는 것은 이상적이기는 하나, 실제로는 차이의 발생이 불가피하므로 다른 보조수단(장치)의 설치가 필요하다. 이와 같은 보조수단(장치)으로 설치된 것이 〈그림 2〉와 〈그림 3〉에 표시된 태양열집열기(복사, 대류열교환용)로서 기능을 설명하면 다음과 같다. 북쪽지역(난방부하가 큰 지역)에서는 불가피하게 생산된 얼음의 일부를 녹여서 빙축열 냉열량을 조절(축열량을 줄이는 조치)이 필요한 경우가 발생할 수 있으며, 남쪽지역(냉방부하가 큰 지역)에서는 반대로 빙축열 냉열을 모두 냉방에 사용하여 냉열량이

부족한 경우에는 불가피하게 추가로 얼음의 생산이 필요한 경우가 발생할 수 있다. 그림에 표시된 태양열집열기(복사, 대류열교환용)는 전자와 같은 빙축열량을 줄일 필요성이 있는 경우에 대응하기 위한 수단(장치)으로 설치되는 것이다. 빙축열 냉열량의 조절(축열량을 줄이는 조치)이 필요한 경우에는 외기온도가 0°C 이상일 때나 태양열의 이용이 가능한 주간에 태양열집열기에 빙축열 열매체로 사용하는 브라인을 순환시켜 태양열을 흡열시킴으로서 목적을 달성하며 반대로 하절기에 빙축열 냉열을 모두 냉방에 사용하여 추가로 얼음의 생산이 필요하고 급탕용 온수가 충분한 경우에는 응축기로 순환되는 온열매체를 태양열집열기(복사, 대류열교환용)에 순환시켜 방열시킴으로서 목적을 달성한다. 즉, 태양열집열기(복사, 대류열교환용)는 목적에 따라 집열기 및 방열기의 역할을 하게 된다.

**유용성**

ACES는 기존의 난방 및 급탕시스템에 비하여 에너지소모가 작으며, 온실가스저감과 첨두전기부하를 줄일 수 있는, 현실을 고려할 때 여러 가지 매우 유용한 특징이 있다. 동 시스템(미국 Knoxville지역에서의 효과를 예로 하면) 전기저항식 급탕시스템과 열펌프를 적용하는 난방시스템에 비교하면 연간 약 51% 정도의 에너지절약이 가능하며, 전기저항식온풍기와 중앙집중식 공조시스템 그리고 전기저항식 급탕시스템을 이용하는 경우에 비교하면 약 63% 정도의 에너지절약이 가능한 것으로 보고하고 있다. 우리나라에서는 난방과 급탕에 전기저항식 보다는 가스 등 1차에너지를 사용하고 있으므로 직접 비교를 할 수는 없으나, 응축열을 유용하게 사용할 수 있으므로 에너지효율이 크게 높아지는 것은 분명하다.

또한 전기시설 측면에서의 특징은, 난방기간에는 외기온도에 무관하게 거의 일정한 높은 COP를 얻을 수 있고, 냉방기간에 계간 이동시킨 빙축열냉열을 사용하여 냉방을 하는 경우에는 냉수



〈그림 4〉 ACES와 기타 시스템의 LCC, 에너지소요량의 비교

를 이송시키는 펌프동력과 공조기의 팬동력만을 필요로 하므로 전기 사용을 최소화 할 수 있으며 (이와 같은 경우, 기존의 냉방시스템에 비하여 77~85% 정도 첨두전기부하를 줄일 수 있으며, 결과적으로 냉방운전 COP는 4~6배 정도 높다), 냉방기간에 계간 이동시킨 빙축열냉열을 다 사용한 경우에는 야간에 빙축열운전을 하여 주간의 냉방에 사용을 할 수도 있으므로(이와 같은 경우도, 기존의 냉방시스템에 비하여 주간의 첨두전기부하를 77~85% 정도 줄일 수 있다) 첨두전기부하를 크게 줄일 수 있다고 보고하고 있다.

〈그림 4〉는 ACES와 태양열시스템, 열펌프시스템, 전전기시스템의 LCC와 연간에너지소요량을 비교한 것이다. 연간에너지소요량이 다른 시스템에 비하여 크게 낮음을 볼 수 있다. 초기투자비가 열펌프시스템, 전전기시스템에 비하여 높은 것은 빙축열조가 커지는 것이 큰 원인이다. 그림을 통하여 태양열시스템의 효과와 비교하면 효율성의 가늠이 가능할 것으로 판단되며, 전기첨두부하의 이전은 물론 연간에너지소요량이 열펌프시스템의 절반수준임은 에너지절약, 온실가스저감이 요구되는 현실에서 관심을 갖을 필요가 있다고 판단된다.

## 맺음말

ACES는 에너지절약과 온실가스저감 효과가 크며, 하절기 부하평준화 및 동절기와 하절기의 계간부하평준화에 기여가 가능한 기술로 판단된다. 그러나 개선이 요구되는 부분에 대처할 수 있도록 시스템의 기능 전환 및 최적시스템 설계 등에 관한 기술개발이 필요하다고 판단된다. 동절기 난방과 동시에 얼음을 생산 계간저장하여 하절기에 사용한다는 이용방법에는 빙축열조의

크기를 연상하고 적용에 대한 유효성에 의구심을 가질 수도 있다. 그러나, 우리나라의 에너지사정과 <그림 4>에서 보는 바와 같은 기타 시스템과의 LCC, 에너지절약 등 효과 비교결과를 감안하면 동 시스템의 적용을 적극 고려해 볼 필요가 있다고 사료된다.

한국에너지기술연구소에서는 ACES에의 적용을 위한, 열펌프형 빙축열장치 형식 개발, 적용방법 등 관련 기술개발을 추진하고 있다. ㉔