

# 축열시스템의 종류 및 열에너지 공급시스템에서의 역할

이동원\*, 조 수\*\*, 장철용\*\*\*

\*,\*\*,\*\*\*한국에너지기술연구원(dwlee@kier.re.kr, scho@kier.re.kr, cyjang@kier.re.kr)

## Classification and Function of the Storage System in the Thermal Energy Supply System

Lee, Dong-Won\*, Cho, Soo\*\*, Jang, Cheol-Yong\*\*\*

\*,\*\*,\*\*\*Korea Institute of Energy Research(dwlee@kier.re.kr, scho@kier.re.kr, cyjang@kier.re.kr)

### Abstract

---

For the efficient use of thermal energy and its related equipments, optimal energy in view of quality and quantity should be timely provided. The core of thermal energy storage technology deals with an energy efficiency for effective energy storage and supply. The relative importance of thermal energy storage technology has been underestimated so far, and the specific projects on this filed have been performed intermittently. For the efficient and systematic approach of the energy supply system projects on thermal energy storage technology, we conduct the survey on the current status of this field. Firstly, classify into the thermal energy storage and describing the recent research for each system. The necessity and importance of thermal energy storage technology is identified through this study. It reveals that the thermal energy storage is the mandatory technology to solve the difference of supply and demand in thermal loads. It would greatly contribute to the combined heat and power(CHP) system. The urgent technologies for the commercial value and the core technologies for the CHP system are classified with this study.

Keywords : 축열시스템(Thermal energy storage), 열병합발전(Combined heat and power), 온도성층화(Thermal stratification)

---

### 1. 서 론

축열시스템은 열에너지를 저장하였다가 공급하는 시스템으로써, 열에너지의 공급과 수요사이에 나타날 수 있는 시간적 또는 양적 격차를 해소하는 역할을 수행한다. 열에너지와 전기에너지를 동시에 공급하는 집단에너

지 공급시스템에서는 전기에너지 수요에 맞추어 기기를 운용할 수밖에 없는데, 이 때 축열시스템은 잉여 열에너지를 저장하였다가 수요에 맞추어 공급하는 기능을 하게 된다.

즉, 집단에너지 공급시스템에 접목된 축열기술은 전체 시스템의 안정적 운전을 가능하게 하여 효율을 향상시키며, 부가적인 열에

너지의 대기 중 방출을 최소화함으로써 에너지 절약에도 기여할 수 있다. 또한 집단에너지 공급시스템과 조화된 축열시스템은 수요자에게 안정적인 열에너지를 공급함으로써 보다 쾌적한 환경을 제공하고, 화석에너지 사용을 최소화함으로써 온실가스 배출 감소에도 기여한다. 태양열과 같은 재생에너지 또는 각종 배열을 회수하여 이용하고자 하는 경우에도 축열시스템은 필수적이며, 해당 시스템의 열적성능을 향상시키는데 큰 도움을 준다.

본 논문에서는 이러한 축열시스템의 종류와 집단에너지 공급 시스템에서의 역할에 대한 기술적 현황과 정보를 정리하였다.

## 2. 축열시스템의 분류

축열시스템은 저장되는 열의 온도에 따라 저온, 중온, 고온 열저장으로 분류될 수 있으며, 열저장 기간에 따라 단기, 장기 열저장으로 구분할 수 있다. 그러나 열저장 방법을 분류하는 가장 일반적인 방법은 저장하는 열에너지의 형태에 따라 현열축열, 잠열축열, 그리고 화학축열로 구분하는 방법이다.

### 2.1 현열축열

현열축열은 축열재의 열용량을 이용해서 열을 저장하는 방식으로 축열원리가 단순하여 기술적 문제점이 거의 없으며, 물, 자갈 등과 같이 잘 알려져 있고 안정된 축열재가 많다는 장점이 있다. 또한 거의 무한기간 축열 및 방열과정이 가역적이므로, 한번 축열시스템을 구성하면 별도의 개보수가 필요 없다는 장점도 갖고 있다. 그러나 단위부피당 열을 저장할 수 있는 열량이 적어 큰 용량의 축열조가 필요하며, 사용온도 이상의 고온 또는 그 이하의 저온으로 축열해야 하므로 열손실이 크다는 단점도 갖고 있다. 이 밖에도 축열조 내 온도성층화가 제대로

이루어지지 않는 경우, 저장된 열의 이용효율이 가변적이라는 문제점도 있다.

일반적으로 가장 많이 이용되고 있는 현열축열재는 액체인 물인데, 이것은 물이 밀도는 그다지 크지 않지만 비열이 커서 단위용적 당 축열량이 크며, 특히 쉽게 구할 수 있고 화학적으로 안정된 물질이기 때문에 혹시 누출되더라도 큰 문제가 발생하지 않는다는 장점을 갖고 있기 때문이다. 그러나 그 이용온도 범위가 0~100℃ 범위로 한정되기 때문에, 이 외의 온도가 필요한 시스템에서는 사용되기 어렵다는 단점을 갖고 있다. 이러한 수축열 시스템에서 앞으로 연구되어야 할 분야로는 저장용기의 경제적 제작방법과 소형화 또는 다조식 축열시스템, 그리고 효율적 이용을 위한 온도성층화에 관한 것을 들 수 있다. 온도성층화에 영향을 미치는 요소는 축열 및 방열과정에서 발생하는 난류, 부력, 축열조 벽면의 열용량, 다양한 mesh, baffles, 축열조 내 열원 등이 있으며, 온도성층화는 적은 용량의 축열조일수록 더욱 중요하다

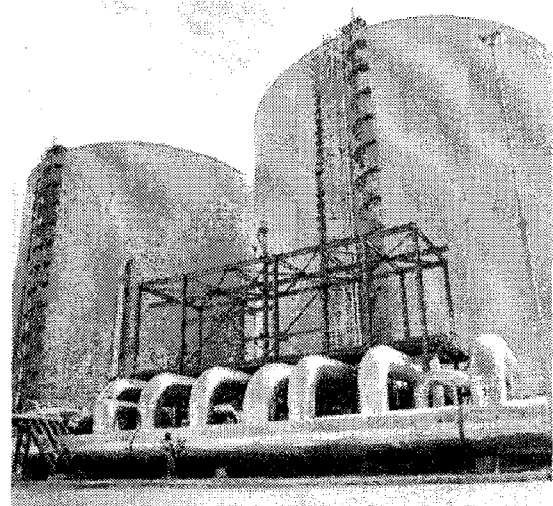


그림 1. 지역난방 시스템에서의 수축열조

### 2.2 잠열축열

현열축열의 단점을 해결하는 방법으로 잠

열축열이 있다. 잠열축열은 물질의 상변화 또는 전이과정에서 발생하는(또는 필요로 하는) 잠열을 이용하여 열을 저장하는 방법으로, 물질의 상변화 과정에서는 주위와 비교적 높은 열교환이 일어나면서도 온도변화가 없기 때문에, 이러한 잠열재를 축열조에 사용할 경우 단위부피 또는 단위무게 당 에너지의 저장용량이 커서 현열축열 장치보다 부피나 무게를 크게 줄일 수 있다. 또한 필요로 하는 일정한 온도로 축열 및 방열을 할 수 있어 전술한 바와 같이 열이용 측면에서 또는 부속기기의 열효율 측면에서 유리하다는 장점도 있으며, 필요로 하는 각 온도범위 내의 융점을 갖는 잠열재가 알려져 있기 때문에 이에 대한 별도의 연구가 필요치 않다는 특징도 있다.

그러나 사용하는 축열재료(잠열재)에 따라 운전온도의 범위가 한정되어 있으며, 일반적인 잠열재가 갖고 있는 부식성과 상변화시 발생하는 부피변화 등에 대응할 수 있는 용기가 필요하다는 큰 단점이 있다. 또한 축열 및 방열과정의 반복 횟수가 증가함에 따라 상분리 현상과 과냉각 현상이 발생하여 효율이 저하되는 것이 일반적이므로, 이를 방지하기 위한 첨가제나 조해제의 개발이 필수적이라는 문제점도 지니고 있다. 이 때문에 물을 잠열재로 하는 빙축열 시스템 외에는 널리 활용되고 있지 않다.

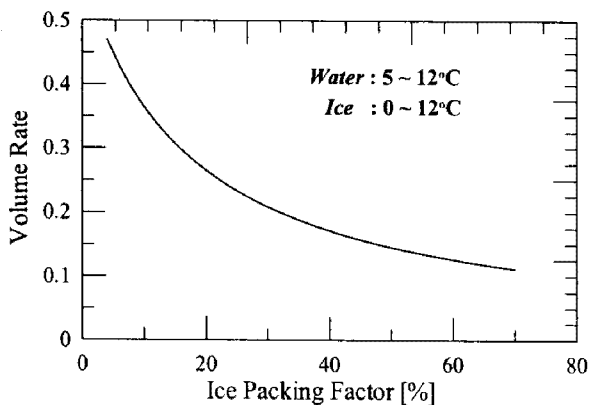


그림 2. 빙축열 시스템의 축열조 축소 효과

건물의 냉·난방에 적용할 수 있는 저온 잠열재는 무수히 많은 것이 보고되고 있는데, 대체로 망초라고 불리우는 황산나트륨 수화물 등 무기수화물이 많으며 파라핀이나 고급지방산의 유기물도 있다. 대체로 모든 무기수화물은 단위부피 혹은 단위질량 당 열 저장량이 크고 상변화에 따른 부피변화가 크지 않으며 비교적 열전도도가 높은 장점이 있으나, 가역성이 작아 쉽게 퇴화되고 과냉이 크며 부식성 또한 크다는 단점이 있다. 파라핀계는 단위부피 당 열 저장량이 크고 용점의 범위가 넓어 선택의 여지가 많으며, 화학적으로 안정하고 부피변화가 작으며 용융체의 증기압이 작고 과냉이 거의 없다는 장점이 있다. 그러나 파라핀계는 가연성이 있고 무기수화물에 비해 가격이 비싸며 열전도도가 낮다는 단점이 있다.

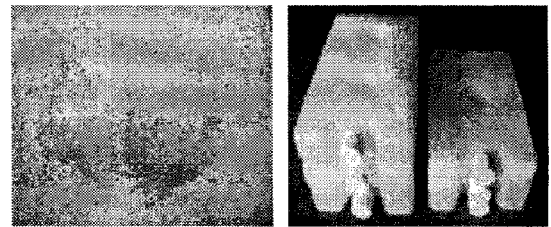


그림 3. 상용화 잠열재 및 용기의 예

### 2.3 화학축열

화학축열은 가역화학반응을 이용하여 열 에너지를 화학에너지 형태로 저장하였다가 필요한 때에 그 역반응을 일으켜서 화학적 에너지를 다시 열에너지로 변환시켜 회수하는 방법으로, 열화학반응, 광화학반응, 흡착반응, 전기화학반응 등이 이용된다. 화석연료를 이용하여 합성연료나 수소 등으로 변화시키는 방법도 고유의 화학적에너지를 다른 형태의 화학적에너지로 변환시키는 것이므로 넓은 의미에서 화학축열이라고 할 수 있다.

이러한 화학축열은 열저장 밀도가 잠열축

열보다 크고, 열손실 없이 상온에서 장기간 열을 저장할 수 있다는 큰 장점이 있다. 또한 반응계를 선택하는 것에 의해 넓은 온도 범위에의 대응이 가능하며, 저품질의 열을 고품질화하거나 열의 수송이 가능하다는 특징도 갖고 있다. 그러나 실질적으로 불균일 반응계가 많아 이를 해결할 수 있는 기술적 경험이 필요하며, 장기적으로 지속적인 가역반응이 가능한지에 대한 신뢰도가 낮다는 결정적인 단점이 있다.

### 3. 축열시스템에 대한 기술개발 동향

축열시스템은 1980년대 중반 에너지 저장 특히 열에너지 저장에 대한 관심이 고조되기 시작하면서, 한국에너지기술연구원, 한국과학기술연구원 및 몇몇 대학교 등에서 이에 대한 기초연구를 수행하였다. 1990년대 이후에는 심야전력을 이용한 저온용 축열시스템의 개발·보급이 이루어졌으며 각종 지원 및 금융제도가 다각적으로 지원되었다. 이때에는 주로 대학교와 한국생산기술연구원 등을 중심으로 저온용 축열시스템의 설계 및 개발 등에 대한 기초연구들이 수행되었다. 그러나 산발적이고 일부 응용기술에 집착함으로써 체계적인 연구개발이 이루어지지 못하는 못하였다.

액체 축열조에서 문제가 되고 있는 온도성층화에 대한 개념도 많이 소개되어 적용되고 있으나, 대규모 축열조에서 온도성층화를 향상시키기 위한 설계기술의 확보는 계속 진행 중이다. 유럽 및 일본 등에서 연구되고 있는 지하축열에 대한 연구개발은 이루어진 바가 없다. 산업공정 등에서 많이 활용할 수 있는 중·고온용 축열에 대한 사용 예가 거의 없고 연구개발도 미미하며, 따라서 이에 대한 기반기술 확보가 필요한 실정이다.

기술 선진국에서는 축열조의 소형화 및 여러 개의 축열조를 연결시키는 다조식 축열조

와 경제성 확보에 대한 연구가 진행되었다. 국내에서 수행되지 않은 분야로는 지하축열 분야가 있다. 지하축열은 특히 북유럽에서 활발하게 연구개발이 이루어졌는데, 자연 축열원으로서 호수 채열 지역난방 히트펌프 시스템과 지하대수층을 이용하는 온·냉축열 히트펌프 시스템 등에 대한 연구가 진행된 바 있다.

잠열축열 분야에서는 1980년대 중반 이후부터 관심을 갖기 시작했고, 주로 학계 및 연구소를 중심으로 냉·난방용 저온 잠열체에 대한 연구가 산발적으로 이루어져 왔다. 그러나 기본적인 물질의 특성과 약 및 응용에 치중하였으며, 물을 잠열체로 하는 빙축열 시스템을 제외하고는 지금까지 상업화에 성공한 예를 찾기 어렵다. 연구소 및 학교에서는 잠열체의 열교환 능력을 향상시키고 상분리 현상을 억제할 수 있는 잠열체의 마이크로 캡슐화와, 용점이 서로 다른 공기조화용 잠열체를 이용하는 축열시스템에 대한 연구개발이 부분적으로 이루어지고 있다.

기술선진국에서 수행한 연구내용은 주로 잠열체재료의 개발 및 안정성 평가, 과냉방지를 위한 조핵제의 개발, 잠열체의 용기개발 또는 capsule에 대한 연구가 주를 이루었으며, 이와 함께 공기조화용 잠열축열 시스템에 관한 연구 등이 이루어졌다. 또한 이와 같은 저온 잠열체 뿐만 아니라 중·고온용 잠열체 및 시스템에 대한 연구도 지속적으로 수행되고 있다. 최근의 연구는 중·고온용 태양열 시스템, 산업폐열 이용 시스템, power plant, 그리고 항공우주 분야 등을 위한 중·고온 잠열축열체 및 시스템에 관련된 연구가 진행되고 있다.

화학축열 분야에서는 이미 알려져 있는 각 반응계에 대한 기본적인 연구가 이루어졌다. 다만 경제성 있는 실용화 수준의 크기로 시스템을 확대했을 경우 여러 가지 문제점이 발생하여, 실제 실용화 사례는 많지 않은 실정이다. 따라서 연구개발은 실제 시스템에

대한 기술적 문제점을 해결하는데 치중하고 있다. 화학축열에 대한 관심은 단순히 축열에서 머무르는 것이 아니라, 화학히트펌프, 화학히트파이프 기능에 주목하는 것이 일반적이다. 즉, 화학반응을 이용하여 열에너지를 고품질화하거나, 장거리 열수송을 목적으로 하는 경우가 많다.

수소저장합금을 이용한 중·고온 축열 시스템은 수소저장합금이 수소분위기 하에서 가압(加壓) 또는 제열(除列)을 하면 수소를 충분히 흡수해서 수소화물이 되는 발열반응을 일으키고, 역으로 감압(減壓) 또는 가열하면 수소화물이 분해해서 수소를 방출하는 흡열반응을 일으키는 가역반응을 이용하는 것이다. 수소저장합금은 여러 가지가 있을 수 있는데, 반응열이 높고 충분한 수소흡장량을 가지며 활성화가 쉽고 내구성이 우수하여야 한다는 제한조건을 가진다.

#### 4. 집단에너지 공급시스템에서의 축열 시스템

집단에너지 공급시스템에서는 전술한 바와 같이 전기에너지와 열에너지를 동시에 공급하는 것이 일반적이다. 전기는 저장할 수 있는 수단이 없기 때문에 이러한 설비는 전력 수요에 맞추어 운전하게 되며, 이에 따라 열에너지는 수요와 무관하게 생산될 수밖에 없다. 소형 열병합발전 설비의 효율이 70~80%라고 하는 것은 발전효율 약 30~35%에 발생하는 열에너지를 모두 이용한다는 가정 하에 산정된 수치이므로, 이러한 집단에너지 공급시스템을 효율적으로 운영하기 위해서는 축열시스템의 이용이 필수적이라고 할 수 있다.

그림 4는 일본의 집단에너지 공급시스템에서 축열시스템을 적용하였을 경우와 그렇지 않은 경우의 연간 에너지 이용효율을 나타낸 그림이다. 대체로 축열시스템의 효과가 매우 크다는 것을 확인할 수 있으며, 효

과적으로 설계된 축열시스템의 효과가 더욱 크다는 것을 알 수 있다.

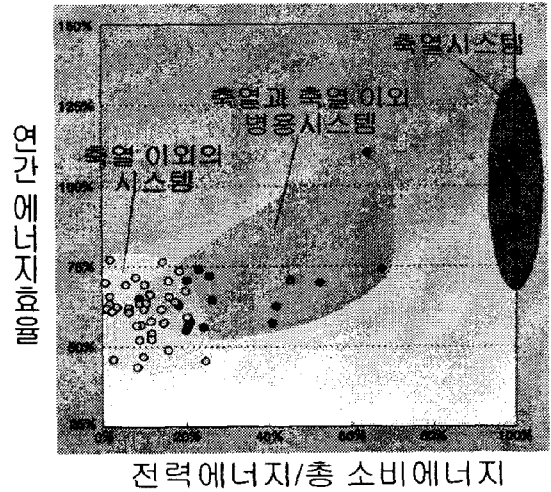


그림 4. 집단에너지 공급시스템에서 축열시스템의 효과

집단에너지 공급 시스템과 연계된 축열 시스템의 대표적인 사례로는 광역 에너지 네트워크를 이용한 지역난방 시스템에서 널리 활용되고 있는 축열 시스템을 들 수 있다. 주로 CHP와 같이 발전 시스템과 연계된 경우 전력생산 시 발생하는 잉여 열에너지를 저장하거나, 부하측의 비정상적인 열수요에 대응하기 위하여 축열 시스템을 운영하고 있다.

표 1. 수도권 지역 집단에너지 공급 시스템과 축열설비 현황(Gcal/hr)

구 분	열병합 발전	보일러	소각로	축열조	축열비율 (%)
중 앙	387	0	0	52	13.4
강 남	0	510	(36)	97	17.7
분 당	697	306	0	160	15.9
안 양	344	102	9	90	19.7
고 양	476	102	16	170	22.2
부 천	357	102	9	98	21.3
계	2,261	1,122	34	667	19.5
구성비 (%)	55.4	27.5	0.8	16.3	20.0

표 2. 수도권 지역 축열설비 용량

설치장소	용량(㎥)	방열량(T/H)	상부압력 유지매체
중앙지사	16,000×1	5,000	고온수
분당지사	30,000×2	5,000	증기
안양지사	20,000×2	3,000	고온수
고양지사	37,000×2	7,000	증기
강남지사	20,000×2	1,000	증기
부천지사	25,000×2	3,000	고온수
수원지사	25,000×1	4,000	고온수
대구지사	17,000×1	3,000	고온수

이러한 설비에서는 모두 수축열 시스템을 이용하고 있으며 위의 표는 수도권 지역의 축열시스템 현황을 나타낸 것이다.

현재 국내에서는 수직형 단일 축열조에 대한 온도성층화 설계 및 이용기술은 어느 정도 실용화되었지만, 도시재생 집단에너지 건물적용 축열시스템에 대한 기술은 검토된 바 없다고 할 수 있다. 도심지에서는 온도성층화에 유리한 중형비가 큰 축열조를 설치하기 어려운 측면이 있으므로, 다조식 축열조와 여기에서의 온도성층화 유지기술이 필요할 것으로 판단된다. 또한 전력 수요 및 열에너지 수요를 감안한 경제적이고 적절한 축열시스템 규모를 산정하는 것이 매우 중요할 것으로 판단된다.

## 5. 결론

집단에너지 공급시스템을 효율적으로 활용하기 위해서는 축열시스템과의 연계가 필요함을 알 수 있었다. 본 논문에서는 축열시스템과 관련된 기술적 동향을 살펴보았으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 축열시스템의 저장 형태에 따른 분류와 간단한 설명, 그리고 각 분야의 기술개발 동향을 정리하였다.
- (2) 집단에너지 공급시스템에서 활용할 수 있는 축열시스템은 물을 저장매체로 하는 수축열 시스템이라는 것을 확인하였다.
- (3) 집단에너지 공급시스템에서 축열시스템의 역할을 설명하였으며, 효율적 이용을 위해서는 반드시 필요한 설비임을 설명하였다.
- (4) 집단에너지 공급시스템과 연계된 축열시스템 연구개발 방향을 제시하였다.

## 후 기

본 연구는 국토해양부의 도시재생사업단에서 지원되었음(세부과제 4-3-3)

## 참 고 문 헌

1. 박원훈 외, 열저장 시스템의 개발에 관한 연구, 과학기술처, 1987.
2. 축열식 공조 시스템 계획과 설계, 2006, 일본 공기조화·위생공학회
3. J.F.Kreider and F.Kreith, Solar Energy Handbook, McGraw Hill, USA, 1981.
4. George A. Lane, Solar Heat Storage : Latent Heat materials, Dow Chemical Company, 1983
5. 關 信弘 편집, 蓄熱工學 Vol. 1; 森北出版社, 1995.
6. 關 信弘 편집, 蓄熱工學 Vol. 2; 森北出版社, 1995.
7. 이동원 외, 에너지(열)저장 기술개발 연구기획 사업, 과학기술부, 1999.