

이 동 원 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구본부 책임연구원 | e-mail : dwlee@kier.re.kr

이 글에서는 건물용 열네트워크에서 효율적으로 사용될 수 있는 열에너지저장(축열) 시스템에 대한 설명을 하고, 이용사례 및 전기에너지 저장시스템과의 간단한 비교를 하였다.

건물에서 소비되는 에너지 중 50% 이상은 냉난방 및 온수급탕에 이용되는 열에너지라고 알려져 있다. 따라서 건물에서의 에너지 관리는 전기에너지 분야 외에 열에너지 분야에서도 매우 중요한데, 건물에너지 관리(BEMS: Building Energy Management System)라고 하면 전기에너지 분야만을 다루는 것이 일반적이다. 물론 열에너지를 생산하는 열원기기로서 전기압축식 히트펌프와 전기온수기만을 사용한다면, 전기에너지 관리를 통해 열에너지를 포함한 모든 건물에너지 관리를 할 수 있게 된다. 그러나 가스보일러 또는 신재생에너지나 미활용에너지 이용 설비 등과 같이 전기에너지와 큰 연관이 없는 열원기기를 이용하는 경우에는 열에너지를 관리하는 기술이 별도로 필요하다. 또한 열병합발전 등을 이용한 지역난방과 같이 열 및 전기에너지에 대한 관리가 동시에 필요한 경우도 점차 증가하고 있으며, 일정 지역에 열원기기를 집중적으로 설치하고 인접한 복수의 건물들에 열에너지를 공급하는 구역난방(block heating)이나 대형 건물에의 열에너지 공급은 전기에너지 공급과는 다른 열네트워크 관리를 요구하고 있다.

전기에너지 관리에서 일정시간 전기에너지를 저장하였다가 공급하는 2차전지(battery)가 중요한 역할을 한다면, 열에너지 관리에서는 축열시스템(thermal

energy storage)이 그 역할을 담당한다. 통칭하여 에너지저장시스템(ESS: Energy Storage System)이라고 할 수 있지만, 역시 ESS라고 하면 2차전지에 대해서만 다루는 것이 일반적이므로 열에너지 저장은 축열시스템이 담당한다고 분리하여 설명하는 것이 좀 더 명확하다. 이러한 축열시스템은, 전기에너지 분야에서의 2차전지와 마찬가지로, 열에너지의 수요와 공급 사이에 발생하는 시간적, 양적 격차를 해소하는 데 기여한다. 이 외에 열원기기가 부하변동에 따라 대응하지 않고 정격운전을 가능하게 함으로써 열원기기의 열적성능을 향상시키는 데에도 기여한다. 부하변동에 따른 인버터 운전이 가능한 열원기기가 많이 보급되고 있지만, 부하율에 따른 열적성능의 변화는 불가피하기 때문에, 이러한 축열시스템의 도입은 매우 긍정적인 효과를 나타낸다고 할 수 있다.

### 건물 공조용 축열시스템

최근 중소규모 건물에서의 냉난방공조는 이른바 시스템 에어컨이라 불리는 복수의 실내기가 연계된 멀티 히트펌프를 이용하는 사례가 증가하고 있다. 부하에 대한 대응력이 상대적으로 우수하고 작동이 쉬우며 별도의 기계실을 마련하지 않아도 되는 등 소비

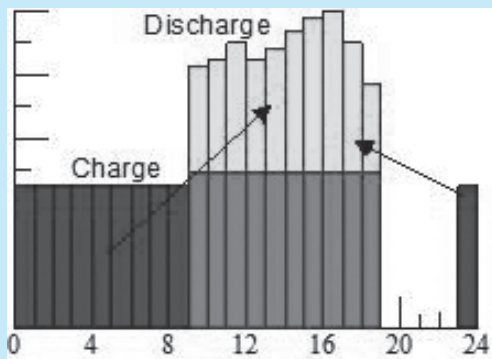


그림 1 심야전력 이용 축열시스템의 기능 및 설치 예



감소시키기 위한 것이었다. 주간시간대에 최대전력부하가 대체로 해당 시간대 냉난방 공조용 열원기기의 운전에 의한 것으로 판단되기 때문에, 전력부하가 적은 심야시간대에 공조용 열에너지를 만들어 저장해 두었다가 주

자가 선호할 수 있는 요건을 갖고 있기 때문이다. 또한 사후관리 체계가 잘 갖추어져 있는 대기업 제품이 대부분이어서 A/S도 만족스럽다는 점도 큰 장점이라고 할 수 있다. 그러나 이러한 전기압축식 멀티 히트펌프의 보급 확대는 냉난방을 위한 주간시간대 전력부하를 증가시키며, 공기열원 이용에 따른 특히, 겨울철 난방성능 저하가 우려되는 단점이 있다. 또한 열에너지기기는 대형일수록 효율 및 성능이 우수한 것이 일반적인데, 상대적으로 소형 기기를 사용함으로써 에너지절약에 역행하는 측면도 있다는 점은 고려되어야 한다. 따라서 중대형 건물의 경우 중대형 열원기기와 축열시스템을 구비하고 열원기기를 정격 운전하여 고성능 운전이 가능하도록 하면서, 축열시스템을 이용하여 부하에 대응하는 방안이 가장 바람직한 공조방식이라고 할 수 있다. 물론 이 경우 축열시스템을 설치하기 위한 공간과 운전을 위한 기술 인력이 필요하다는 단점은 있지만, 다양한 열원기기를 조합하여 운용함으로써 열적성능 향상과 에너지절약을 기대할 수 있다.

1980년대 중후반부터 국내에 보급되기 시작한 심야전력 이용 축열시스템은, 당초 심야시간대 잉여전력의 소비를 활성화하는 기능을 담당하였다. 그러나 그 후 더 이상 심야시간대 잉여전력이 발생하지 않는 상황에서도 이러한 축열시스템의 보급은 장려되었는데, 그 이유는 주간시간대 나타나는 최대전력부하를

주간시간대 이용하도록 하는 축열시스템은 최대전력부하 저감에 직접적으로 큰 도움을 주게 된다. 최대전력부하의 저감은 전력부하 평균화에 기여하여 발전소의 건설을 억제하기 때문에, 최근과 같이 발전소 건설이 여러 가지 이유로 사회적 문제를 야기하는 상황에서는 축열시스템이 매우 중요한 전력수요관리 수단이라고 할 수 있다.

심야전력을 이용하는 공조용을 포함한 모든 축열시스템에서는 축열물질의 선정이 매우 중요하다. 단위부피당 열용량이 크고 안정하며 저가여야 하는 등 축열물질이 갖추어야 할 특성은 매우 많고 관련된 기술개발도 꾸준히 진행되었지만, 가장 대표적인 축열물질로 이용되는 것은 물(water)이다. 물은 0℃에서 100℃까지 냉난방 공조에 필요한 수준의 온도에서 사용될 수 있고, 축열물질이 갖추어야 할 대부분의 특성을 갖고 있기 때문이다. 다만 밀도가 좀더 컸으면 하는 것과 냉방에 사용할 수 있는 온도범위가 더 넓었으면 하는 아쉬운 점은 있다. 이러한 물의 단점을 극복하고 열용량을 보다 증가시키기 위해 잠열재(phase change material)를 이용하는 방안이 꾸준히 시도되고 있지만, 냉동탑차 등 특정한 분야를 제외하고는 거의 이용되고 있지 않은 실정이다. 이는 잠열재가 상변화 시 저장하는 열에너지는 크지만 현열저장 영역에서는 물보다 열용량이 적으며 취급에 주의해야 할 점이 많은 등 여러 가지 단점을 수반하고 있기 때문이

다. 따라서 얼음을 이용하는 빙축열 시스템 외에는 공조분야에 잠열재가 거의 활용되고 있지 못하다. 최근에 냉방용 및 난방용 잠열재를 축열조 내 각각 적정량을 충전하여 건물에서 요구하는 냉난방 부하량에 적합한 수준의 냉난방용 열에너지를 저장할 수 있는 축열시스템이 개발되어 실증운전을 준비 중에 있다.

축열시스템 설치에 따른 초기투자비 증가와 공간 활용성의 저하라는 단점만 받아들일 수 있다면, 축열시스템을 이용한 건물 공조 시스템은 적극 권장되어야 할 설비이다. 그러나 초기투자비 및 공간 활용성 민감할 수밖에 없는 건물주와 실제 공조를 활용하는 사용자가 다른 경우가 대부분이어서, 건물 공조용 축열시스템의 보급은 정체상태인 것이 사실이다. 보다 적극적인 축열시스템 보급정책이 필요한 시기이다.

### 구역냉난방에서의 축열시스템

구역냉난방이란 국내 광범위하게 보급되어 있는 대규모 지역난방 시스템과는 다르게, 소규모 지역단위 또는 초대형 건물이나 건물군(complex)을 대상으로 열에너지를 공급하는 시스템을 일컫는다. 국내에서도 건물 복합단지 등에 열에너지를 공급하기 위해 중앙에 기계실을 갖추고 생산된 열에너지를 배관망을 통해 각 지역에 공급하는 사례는 많고, 관련된 기술적 노하우도 축적되어 있다고 할 수 있다. 다만 이러한 시스템의 열적성능을 향상시켜 에너지절약에 보다 크게 기여하기 위해서는 운전방식과 그 결과에 대한 분석과 피드백을 통해 기술적 진보를 이루어 나아가야 하지만, 대부분의 경우 자사의 노하우나 영업비밀 등의 이유로 운전데이터가 공개되지 않는 경우가 대부분인 것은 매우 아쉬운 점이다. 에너지소비가 많은 대형 건물 위주로 열에너지는 물론 전기에너지의 사용량과 효율적 에너지 이용을 위한 개별적인 노력 등이 적극적으로 공개되고 공유되어야, 국가적인 에너지 절약과 기후변화대응 노력에 기여할 수 있을 것이다.

화석에너지가 아닌 신재생에너지와 계간축열(seasonal storage)시스템을 기반으로 단위지역에 열에너지를 공급하는 구역냉난방 시스템이 충북혁신도시 내 진천 수질복원센터 인근에 조성되고 있다. 어린이집부터 고등학교까지 다양한 규모를 갖는 6개의 공공건물에 열에너지를 집단적으로 공급하는 사례로서, 미래창조과학부 친환경에너지타운 시범사업의 일환이다. 친환경에너지타운사업이란 주민기피시설에 친환경에너지설비를 구축하고 에너지를 생산하여 그 이익을 지역주민에게 되돌려줌으로써, 화석에너지 사용을 절감하고 남비현상을 극복하기 위한 범정부 사업이다. 미래창조과학부는 진천 친환경에너지타운에 신재생에너지 융복합 시스템을 구축하여 열 및 전기 에너지를 자립하는 시범사업을 추진하고 있다. 이 시범사업에서는 태양광발전, 태양열, 지열원/수열원 히트펌프, 연료전지 등 다양한 신재생에너지 설비를 설치하여 에너지를 생산하게 되는데, 전기에너지의 경우 수요량만큼 생산하되 직접 이용하지 않고 매전하여 그 수익을 통합 시스템의 유지관리비 및 지역발전에 활용하고, 열에너지는 직접 이용하는 것을 목적으로 하고 있다. 신재생에너지 설비의 융복합 이용을 통해 열에너지를 생산하고 계간축열 시스템을 이용하여 연중 안정적으로 공공건물에 열에너지를 공급하기 위한 국내 최초의 구역냉난방 시스템이라고 할 수 있다.

진천 친환경에너지타운에서는 약 1,600㎡ 규모로 설치되는 태양열 설비가 열에너지 생산의 중심이며, 50RT(175kW) 규모의 지열원 설비가 보조열원으로 쓰여 설치된다. 기상상태에 의존하는 수동적(passive) 설비인 태양열 설비는 히트펌프와 같이 필요 시 동작시킬 수 있는 능동적(active) 설비를 반드시 보조설비로 갖추어야 하기 때문이다. 이 외에 약 4,000㎡ 용량의 계간축열조는 여름철 잉여 열원을 저장하였다가 겨울철 난방 및 온수급탕에 이용하는 데 활용될 예정이다. 계간축열조에서 공급되어 건물의 난방 및 온수

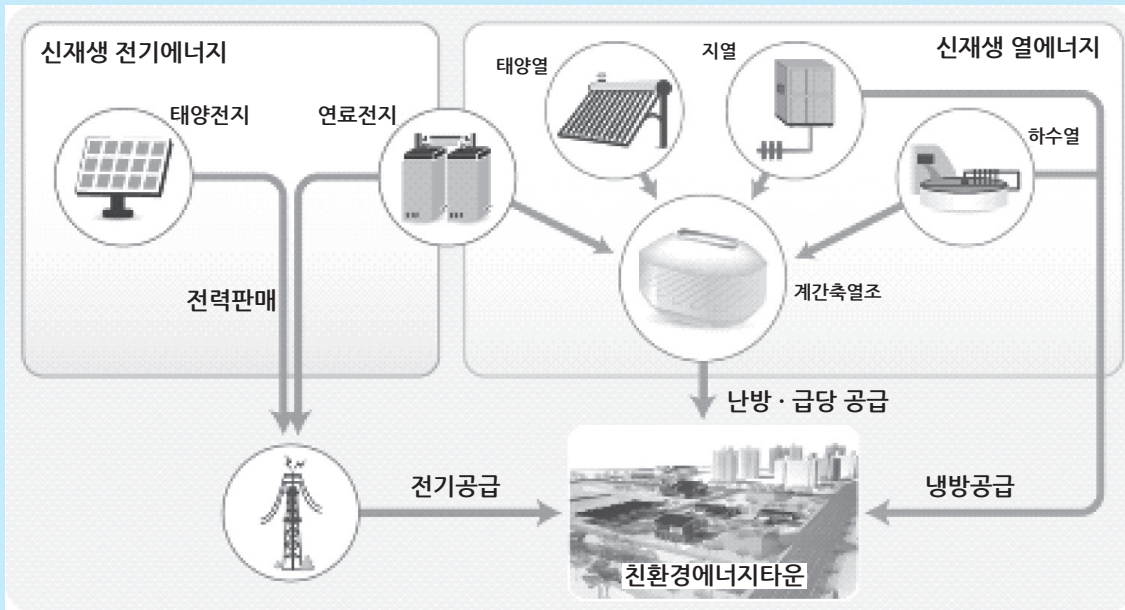


그림 2 인천 친환경에너지타운의 신재생에너지 이용 개념도

급탕에 이용된 후 환수되는 약 40℃ 수준의 열에너지는 수열원 히트펌프를 이용해 승온시켜 저장 또는 공급될 예정인데, 이는 약 15℃의 지열원을 이용하는 지열원 히트펌프보다 더 높은 열적성능을 나타낼 것이므로 열에너지 다단계(cascade) 이용의 모범사례가 될 것으로 전망된다. 이 밖에 약 200m³ 용량의 소규모 축열조는 버퍼 축열조로써, 익일의 난방 또는 냉방을 위하여 심야시간대에 지열원 및 수열원 히트펌프가 운전될 수 있도록 하는 전력부하 평준화의 도구로써 이용될 것이다.

결국 구역냉난방 방식의 친환경에너지타운에서 축열시스템은 신재생에너지 설비의 이용에 필수적임은 물론, 국가적 전력부하 평준화에 기여하며, 수요자의 운전비용을 절감하는 데도 기여하는 다양한 기능을 수행하게 된다.

### 전기에너지 저장과 열에너지 저장의 비교

최근 ESS, 즉 2차전지에 대한 관심이 증대되면서

관련 기술개발 및 보급 확대를 위한 다양한 정책이 제시되고 있다. 미래창조과학부의 기후변화대응 6대 기술에 2차전지 기술이 포함되어 있으며, 신재생에너지 관련 기술개발 분야에도 해당 내용이 포함되어 있고 신산업으로서도 주목받고 있다. 풍력발전이나 태양광발전과 같이 기상상태에 따라 출력이 변화되는 수동적 전기에너지 생산설비를 독립적으로 이용하는 경우에는 2차전지 이용이 불가피할 수 있으나, 이들 설비를 계통연계하는 경우 2차전지가 이들 설비에서 어느 정도 중요한 요소기기인지는 의문이다. 휴대폰이나 하이브리드 자동차를 포함한 전기자동차와 같이 독립적으로 전기에너지를 사용해야 하는 설비에서는 2차전지가 매우 중요한 기기이지만, 그 외 계통연계된 상태에서는 UPS(무정전 전원장치)나 전력안정용의 기능 외에는 큰 의미가 없기 때문이다.

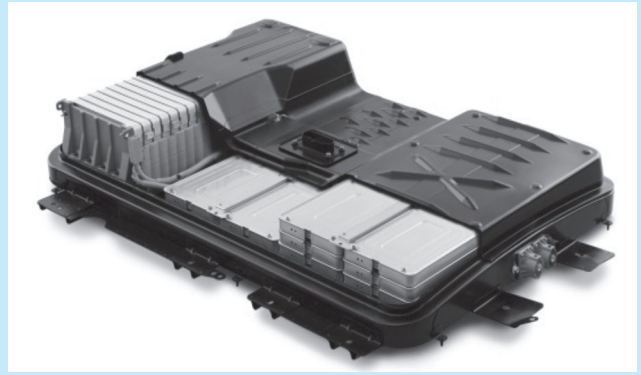
최근에는 관련 기술발전을 촉진하고 산업화를 극대화하기 위해 이러한 소규모 이용에서 벗어나 국가적인 전력부하 평준화에도 2차전지의 활용이 시도되고 있다. 그러나 주간시간대 최대전력부하가 대체로



그림 3 일본 닛산의 Leaf 전기자동차 및 이용되는 24kWh급 배터리

냉난방을 위한 열에너지 사용에 기인한 것이라는 주장이 정확하다면, 이를 억제하기 위해 2차전지를 이용하기보다는 열에너지 저장을 위한 축열시스템 이용을 촉진하는 것이 우선이라고 생각된다. 축열시스템은 2차전지보다 기술적 난이도가 낮고 이미 보급되어 효과를 발휘하고 있는 사례가 많아 전력부하 평준화에 보다 직접적으로 기여할 수 있기 때문이다. 단지 축열조 설치에 따른 공간활용성 문제로 도심지역의 일부 건물에서는 활용가능성이 낮을 수 있겠으나, 그 외 대부분의 경우에서는 2차전지가 수행하려는 전력부하 평준화 역할을 충분히 수행할 수 있으며, 기술적인 면이나 경제적인 면에서도 보다 유리할 것으로 판단된다.

축열시스템과 2차전지를 직접적으로 비교하기 위하여 한국전력에서 인정하는 최소 150RTh 이상 용량의 수축열시스템을 고려해 보았다. 축열조 크기가 50<sup>m</sup>³ 이면 냉열과 같이 10<sup>o</sup>C 온도차(5<sup>o</sup>C~15<sup>o</sup>C)를 이용하는 경우 약 165RTh(580kWh)의 열에너지를, 그리고 온열과 같이 15<sup>o</sup>C 온도차(40<sup>o</sup>C~55<sup>o</sup>C)를 이용하는 경우 약 250RTh(872kWh)의 열에너지를 저장할 수 있다. 냉방용 및 난방용 히트펌프의 COP를 각각 3.5와 3.0으로 가정한다면, 해당 축열조는 170kWh ~ 290kWh의 용량을 갖는 2차전지라고 할 수 있다. 소형 승용차 수준의 전기자동차가 약 20kWh의 2차전지를 이용한다고 알려져 있으므로, 50<sup>m</sup>³ 규모의 수축



열조는 이러한 2차전지 10개 내지 15개의 역할을 하는 것으로 추정할 수 있다. 만약 빙충진율 80%의 50<sup>m</sup>³ 빙축열조를 이용하여 냉열을 고밀도로 저장한다면, 이 빙축열조는 약 1,300kWh 용량의 2차전지를 대신한다고 할 수 있다.

## 제언

건물 및 건물군이나 지역단위 공조용 열에너지 네트워크의 이용이 증가함에 따라 축열시스템의 중요성은 증대하고 있다. 이러한 열네트워크에서 중요한 것은 열원기와 축열시스템의 효율적 운영을 위해 적절한 관리와 제어가 제대로 이루어져야 한다는 점이며, 이러한 측면에서 이들을 관리하는 기술 인력은 매우 중요한 위치를 차지한다. 공조시스템에 대한 적절한 관리와 운전기술의 향상은 에너지절약에 크게 기여하기 때문이다. 아울러 관련된 기술 인력들은 운전방법 및 그 결과에 대한 기술적 정보를 공개하고 서로 공유함으로써 에너지절약은 물론 국가적 기후변화대응 정책에도 적극 참여해야 할 것이다. 한편 2차전지를 이용한 최대전력부하 저감이 최근 추진되고 있으나, 축열시스템과의 효율성을 비교하여 부분적으로 실행되는 것이 바람직하다는 의견을 제시하고자 한다.