

## 열에너지 네트워크 개념 및 연구 현황

이 영 수 한국에너지기술연구원 열에너지변환연구실 책임연구원  
 이 길 봉 한국에너지기술연구원 열에너지변환연구실 선임연구원

| e-mail : yslee@kier.re.kr  
 | e-mail : giblee@kier.re.kr

이 글에서는 에너지의 효율적인 활용을 위한 열에너지 네트워크의 소개와 한국에너지기술연구원의 열에너지 네트워크 이용 관련 연구 현황에 대해 소개하고자 한다.

## 열에너지 네트워크 개념

최근 에너지의 효율적 이용을 위한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 그 중 에너지 간의 잉여 혹은 부족을 주고 받을 수 있도록 열에너지 네트워크 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 배경으로 스마트그리드의 개념이 확대된 전기 에너지, 열에너지 등을 포함하는 Total Energy Network에 관한 연구가 현재 진행 중에 있다.

열에너지 네트워크는 열에너지의 생산과 수요처 간의 불균형을 극복하여 에너지 이용효율을 높이기 위한 기술이며 상용화된 사례는 지역난방 정도로 미약한 실정이나, 최근에 열에너지 네트워크 구성을 통하여 에너지 변환손실을 줄이고 다양한 미활용에너지를 활용한 집단에너지 공급사업이 증가 추세에 있다. 열에너지 네트워크가 신성장 산업으로 접근되기 위해서는 기존 열에너지 네트워크에 이용되는 단위 기기의 에너지 효율 향상과 함께 차별되는 새로운 기술이 필요하며, 건물용과 산업용 열에너지 네트워크에 각각 적용할 수 있는 신기술로서 냉/난방 동시 가능한 축열시스템, 산업용 고온히트펌프

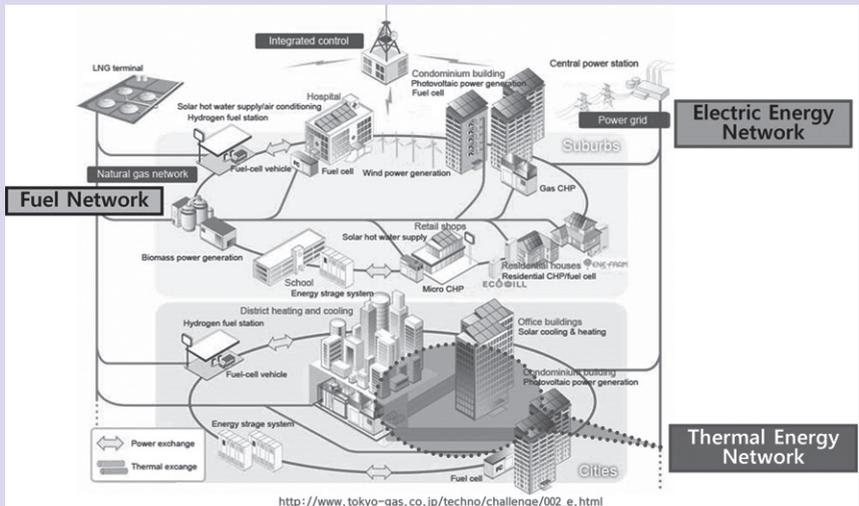


그림 1 에너지 네트워크 개념도

기술을 들 수 있다.

열저장 기술은 열에너지 네트워크에서 사용단간의 시간적 부하격차를 해소하는 데 기여하는 기술로서, 특히 공조분야에서 상대적으로 적은 비용으로 2차전지와 동일한 역할을 수행한다.

국내 에너지의 62%를 사용하고 있는 산업 부문에 있어 약 12%의 열이 폐열로 배출되고 있으므로, 이를 회수하여 열에너지 네트워크로 구축할 경우 에너지 절감효과를 극대화할 수 있다. 폐열의 형태는 배가스 73%, 배증기 10%, 배운수 17%의 형태로 구성되어 있다. 폐열량은 에너지 다소비기업인 섬유(4.8%), 화

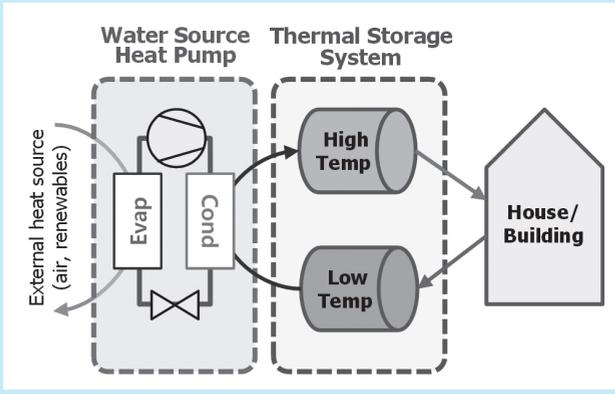


그림 2 열에너지 네트워크에서의 열저장 기술 역할

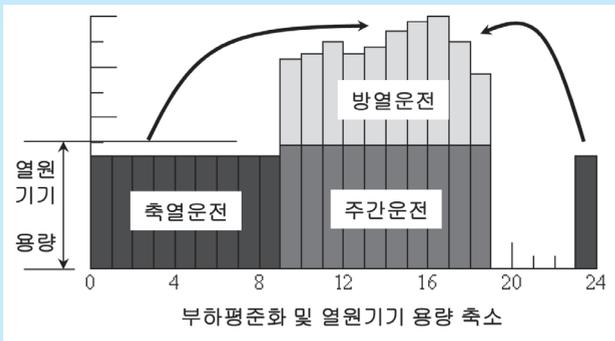


그림 3 축열시스템의 역할

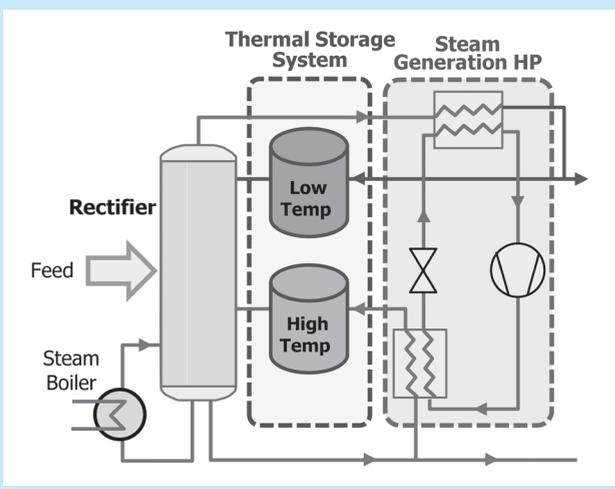


그림 4 산업용 열에너지 네트워크에서 스팀히트펌프 적용 예

학(52.6%), 금속(29.6%)에서 대부분 배출되고 있으며 이를 재활용할 수 있는 방안에 대한 수요가 매우 높다. 해외의 경우 산업용 히트펌프의 보급으로 열에

너지 네트워크를 구축하여 산업용에너지 수요의 2~5%를 절감할 수 있을 것으로 알려져 있으며, 산업용 히트펌프에 대한 시장 확대와 보급 활성화를 위하여 국제에너지기구(IEA)의 히트펌프 프로그램에서 국가간 공동연구로 Annex 35를 진행하였다.

네덜란드의 경우 산업용에너지의 수요중 100~200℃ 구간의 에너지수요를 산업용 열펌프를 통하여 공급하는 것이 합리적인 것으로 제시하고 있으며, 특히 50℃ 근처의 폐열이 다량 존재하므로 산업용 히트펌프의 보급전망이 밝을 것으로 기대한다. 특히 산업공정에 필요한 스팀생산기술에 대한 요구는 산업현장에서 끊임없이 제기되고 있고 이에 따라 스팀히트펌프 기술개발이 일본, 독일, 프랑스 등 관련 선진국에서 급속히 진행되고 있으며 일부 시장에 진입하고 있다. 스팀히트펌프 기술은 산업공정에서 다량의 온수형태로 배출되는 공정폐열을 활용하여 산업공정에 직접 공급하는 기술로, 단순한 열생산과 열소비의 기존 공정을 열교환 네트워크로 구축할 수 있는 최적의 기술이다.

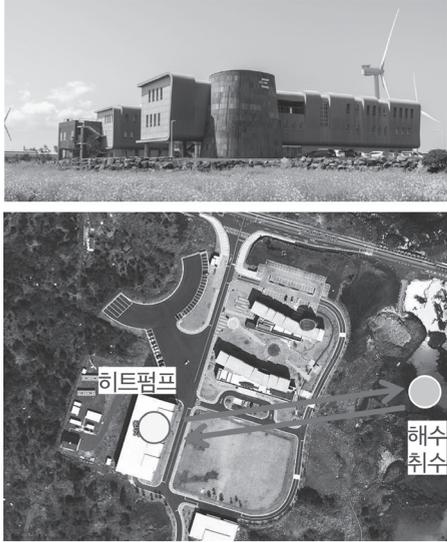
### 한국에너지기술연구원의 연구 현황

열에너지 네트워크를 위한 고온 히트펌프 기술 개발 열에너지 네트워크를 구성할 때 일반적으로 열이 온도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 이동하도록 캐스케이드 방식으로 수요 배치를 한다. 히트펌프는 열을 낮은 온도에서 높은 온도로 효과적으로 이송시키는 시스템이기에 네트워크에 적용 시 미활용 열이 사용처로 재순환되는 수요 배치가 가능해진다. 열에너지는 다양한 온도 대역에서 수요가 존재하기에 한국에너지기술연구원은 히트펌프 생산온도를 높이고 산업부문으로 적용처를 확대하는 연구를 지속적으로 수행해 오고 있다.

온도차에너지란 공기열, 지열, 해수열 등과 같이 자연에 풍부하게 존재하며 그 활용이 도시환경에 생태

- 해수열원 이용 히트펌프 시스템 (총 설치용량 20RT)
  - 난방성능계수 (COP<sub>H</sub>) : 3.5 (해수온도 15°C, 온수출구온도 50°C)
  - 냉방성능계수 (COP<sub>C</sub>) : 4.1 (해수온도 25°C, 냉수출구온도 7°C)

[한국에너지기술연구원 제주글로벌연구센터]



[히트펌프 시스템 구성]

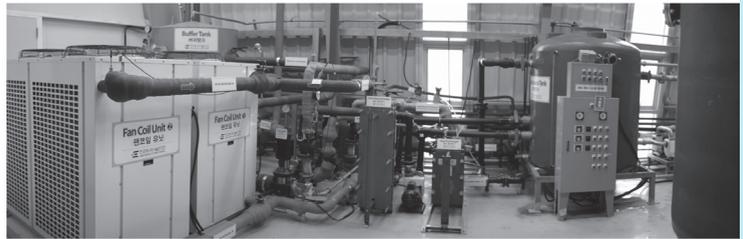
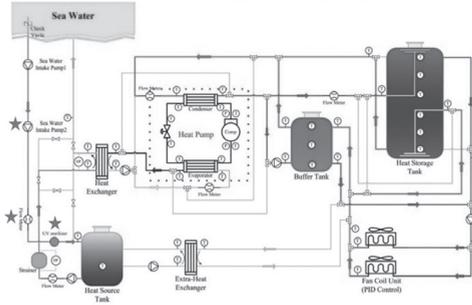


그림 5 한국에너지기술연구원 제주글로벌 연구센터 내 해수 히트펌프 구축 현황

학적으로 크게 영향을 주지 않는 에너지를 지칭한다. 이러한 에너지는 히트펌프를 사용하여 난방열을 생산할 때 유용하게 이용될 수 있다. 한국에너지연구원 제주글로벌 연구센터는 2012년부터 해수열을 이용한 20RT급 히트펌프 실증사이트를 구축하여 운영 중이다. 실증 운전 결과를 기반으로 제주글로벌 연구센터 전체의 난방 부하를 담당할 경우에 대한 경제성 분석을 수행하였으며 그 결과 연간 560만 원의 에너지 비용 절감이 예측되었다.

산업체와 열병합발전 설비 등에서는 수증기를 포함한 중저온 배가스가 다량 배출된다. 배가스에 포함된 황과 같은 부식성분에 적절히 대응할 시 수증기의 잠열회수까지 가능해지면서 30°C 이상의 폐열을 안정적으로 회수할 수 있다. 배가스 열회수를 위한 물유동층 열교환기와 70°C 이상의 온수를 생산하는 히트펌프 시스템 개발 연구가 2010년부터 2013년까지 진행되었다. 개발 기술을 산업용 보일러 공급수 가열에

활용하는 실증사이트가 2013년 청주의 식품공장 구축되어 현재까지 운영 중에 있다. 실증 운전 결과 보일러의 총합 열효율이 약 8% 정도 개선되었으며 투자회수기간은 3.5년으로 분석되었다.

산업공정에서 사용되는 열원 중에서 100°C~150°C 사이의 저온 스팀은 높은 비중을 차지하기에 공정 폐열을 이용하여 저압 스팀을 생산하는 히트펌프 개발 요구가 지속적으로 존재해왔다. 히트펌프 기술개발은 주로 온수 생산을 중심으로 진행되어 왔기에 스팀을 생산하는 히트펌프를 개발하기 위해서 작동냉매의 선정부터 시스템 전반에 걸친 설계가 진행되었다. 저압스팀 생산을 위해서 냉매는 해당 온도 영역에서 상변화 온도를 가지고 물리적 및 화학적으로도 안정적이어야 한다. 여러 후보 냉매들 중 R245fa를 최종 냉매로 선정하여 시스템 설계를 진행하였다. 스팀히트펌프 개발 연구는 한국에너지기술평가원의 지원으로 진행 중이며 2017년 산업공정에 실증사이트를 구

- 열회수시스템과 고온 히트펌프 조합을 통한 산업공정 열효율 개선
- 시스템 스펙: 난방 능력 100kW, 효율 3.5, 생산온수 온도 65~70°C
- 기대효과: 보일러 총합효율 8% 개선 (연료소비량 저감: 12kg/h)
- 투자비회수 기간: 3.5년

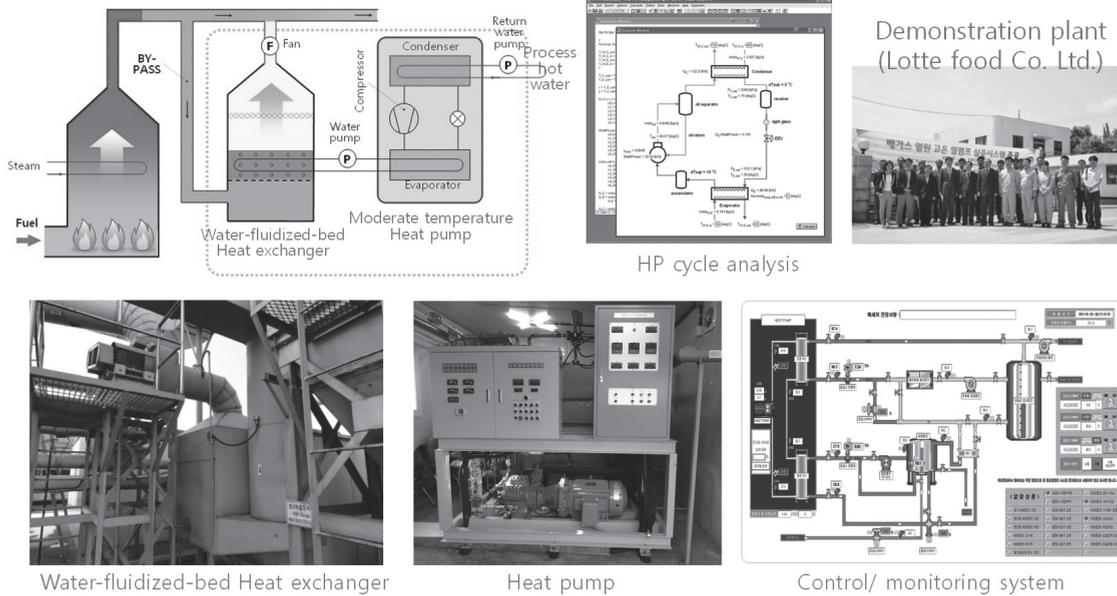


그림 6 배가스열회수-고온히트펌프 실증시스템 설계 및 구축

축하는 것을 목표로 하고 있다.

### 열에너지 네트워크 실증 기술 개발

한국에너지기술연구원은 히트펌프 등의 열에너지 네트워크 단위 구성 요소뿐만 아니라 실증 사이트 설계 및 운영을 위한 기반 기술 개발도 수행하고 있다. 대상 사이트의 에너지원 분석, 에너지사용 패턴분석, 에너지가격 분석 등의 과정을 거쳐 열에너지 네트워크 관리 모델이 도출된다. 이러한 과정들을 커뮤니티 단위로 적용하기에 앞서 한국에너지기술연구원을 대상으로 한 열에너지 네트워크 실증모델 수립을 진행하였다. 에너지원에 있어 가장 큰 특징은 연소배가스 실증설비 발전설비가 연구원 전력계통과 연결되어 있는 점이다. 발전 과정에서는 다양한 열이 발생하기 때문에 이를 연구원 열에너지 네트워크로 활용하는 전략이 선정되었다. 에너지 경제성 평가를 통해 최종

두 개의 활용모델이 제안되었으며 이 중 추기 스템을 활용하는 모델에 대한 소규모 실증 사이트 구축 연구가 진행되고 있다.

연구원에는 여러 에너지관리시스템이 있으며 이중 건물공조설비관리시스템(Honeywell EBI), 발전설비관리시스템(Siemens PCS7) 및 전력관리시스템(Honeywell Niagara) 이 주요 관리시스템이다. 각 시스템들은 필요에 의해 개별적으로 설치되어 운영되고 있다. 이러한 이유로 전체 에너지 사용현황 분석에 어려움이 존재한다. 에너지 사용패턴 분석은 최적 에너지관리에서 중요한 요소이기에 에너지관리시스템 정보의 통합화 작업이 선행되어야 한다. 데이터 접근이 공통의 Ethernet을 통해 가능하도록 각 관리시스템의 프로토콜을 수정하였으며 전력(외부+내부 발전)과 열에너지(공조부하) 관련 운전 데이터를 실시간으로 통합 관리하는 데이터 서버를 구축하였다(InSQL

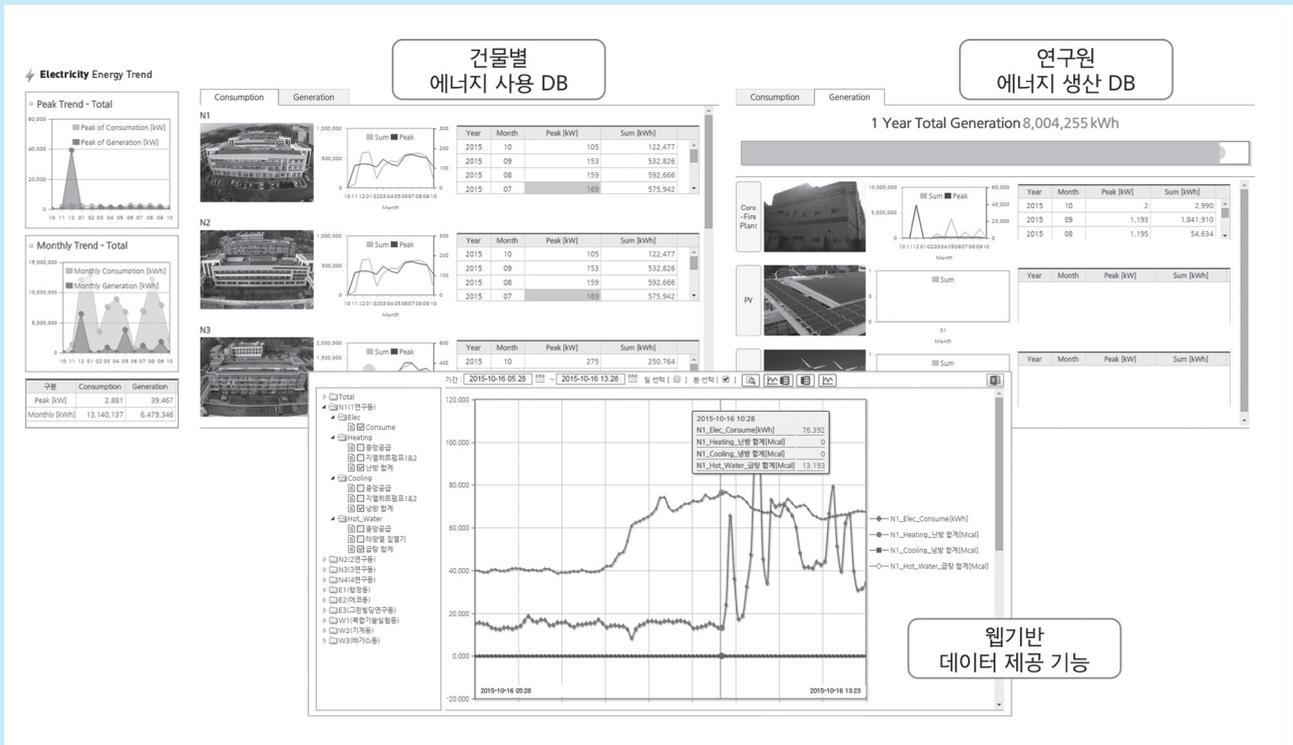


그림 7 한국에너지기술연구원 에너지통합관리 웹서버 구축 현황

RTDB). 에너지 정보의 가시화와 연구자의 데이터 접근성을 확보하기 위해 Oracle SQL 기반의 DB를 추가하였다. 에너지를 모니터링과 정보 다운로드가 가능한 웹서버를 구축하여 연구원 내부망을 통해서 필

요 정보에 접근할 수 있게 하였다. 향후 웹기반 하드웨어 제어 기능과 에너지시뮬레이션 기능을 추가하여 에너지최적 관리가 가능하도록 할 계획이다.