

# 석탄화력발전소 배열 활용 흡수식 히트펌프의 가스사용량예측

특정한 지역 내에서 사용되는 열에너지의 효율을 높이기 위해 흡수식 히트펌프를 적용한 열에너지 네트워크를 소개하고 이로부터 에너지절감량을 예측하여 보았다.

## 서론

전체 에너지수요에서 비중이 높은 열수요를 효과적으로 대응하여 1차에너지 및 온실가스를 절감할 수 있는 기술개발 필요성이 대두되고 있다. 일반적으로 적용되고 있는 지역난방의 열에너지 네트워크망이나 산업계의 스팀네트워크의 한계들을 개선하고 열에너지 이용률을 극대화하는 기술로 열에너지 네트워크가 주목받고 있다. 열에너지 네트워크는 다양한 열원들의 적용이 가능하며 미활용 열을 활용하여 에너지 사용과 온실가스 배출을 줄일 수 있을 것으로 기대되고 있다.

그중에서도 미활용 열을 활용하는 방안으로 석탄화력발전소의 복수열과 흡수식 히트펌프를 연계한 열에너지 네트워크 모델 검토를 수행하였다. 일반적으로 석탄화력발전소 발전과정에서 생성하는 복수기열은 활용되지 못하고 온배수로 배출되는 것이 일반적인데, 본 연구에서는 이러한 복수열을 흡수식 히트펌프의 저온열원으로 활용하는 방식에 대해 검토하였다.

검토 대상은 KIER(한국에너지기술연구원) 대전 본원 내의 시설을 대상으로 하였다. 구체적으로 흡수식 냉온수기의 난방기능을 제1종 흡

### 나선익

한국에너지기술연구원  
열에너지변환연구실 연구원  
happy8earth@kier.re.kr

### 김민성

한국에너지기술연구원  
열에너지변환연구실 책임연구원  
minsung@kier.re.kr

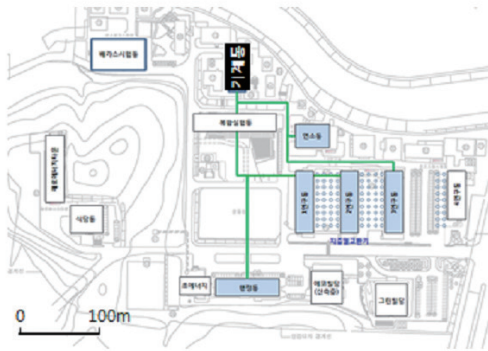
수식 히트펌프로 대체하고 석탄화력발전소의 배열을 흡수식 히트펌프의 열원으로 활용하여, 난방기간 동안 대상 사이트에서 사용하는 에너지 총량을 저감시키는 것을 목표로 하는 소규모 열에너지 네트워크 모델을 제시하고자 하였다. 따라서 제시한 모델에 대한 에너지 소비량을 예측하고 기존 시스템 대비하여 에너지 절감량을 계산하여 에너지 저감비용을 산출하였다.

## 실증 사이트 분석

석탄화력발전소와 흡수식 히트펌프를 연계한

열에너지 네트워크 해석을 위한 대상 사이트는 대전광역시 유성구에 위치하고 있다. 사이트 내에 태양열집열기, 펠릿 보일러, 지열 히트펌프, 석탄화력발전소 등 연구목적으로 이미 설치되어 있으며 이런 다양한 열원들을 추후에 활용이 쉽다는 장점이 있다.

현재 대상 사이트에서는 기계동에 설치된 320 RT 급과 600 RT급의 흡수식 냉온수기 2대에서 생산한 온수 혹은 냉수를 각 건물로 중앙공급하여 난방 및 냉방을 하고 있다. 그림 1 좌측 지도에서 음영으로 표시한 곳이 열원 기기가 설치되어 있는 기계동을 열기지(thermal station)로 정의하였



• S중공업 320 RT급  
• 제조일자 : 1993년 5월



• C사 600 RT급  
• 제조일자 : 1996년 4월

[그림 1] 해당 사이트의 열원 공급기지와 열원 설비

<표 1> 대상 사이트의 열원 공급기지와 열원 설비

건물	구분	용도					
기계동	냉·난방	중앙공급	흡수식 냉온수기	1	냉방	320	RT
					난방	967,680	kcal/h
	급탕	중앙공급	흡수식 냉온수기	1	냉방	600	RT
					난방	1,814,400	kcal/h
연구동	냉·난방(1)	(기계동에서 공급)	팬코일유닛 (천장카세트형SFC-5K)	72	냉방	5,250	kcal/h
					난방	8,400	kcal/h
	냉·난방(2)	지열	지열히트펌프(W-T-W)	2	냉난방	30	RT
	급탕(1)	(기계동에서공급)	급탕탱크	1	급탕	3,000	lit
	급탕(2)	태양열(자체)	집열기(평판형액체식)	1	급탕	52.8	m <sup>2</sup>



[그림 2] 해당 사이트의 석탄화력발전소

으며 실선으로 연결된 것이 온수 및 냉수 공급 파이프 라인이다. 각 건물에서 지열히트펌프나 태양열집열기 등이 설치되어 국소적인 부하를 감당하는 한편 기계동에서 중앙공급되는 열량이 부하를 감당하는 데 있어서 월등히 큰 비율을 차지한다.

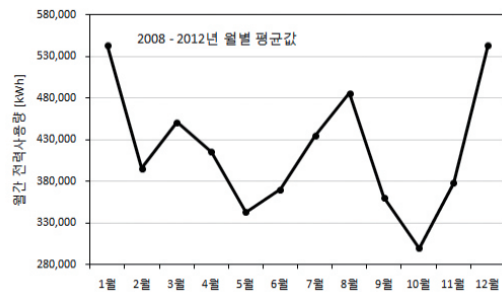
### 연소배가스 실증시험동

한국에너지기술연구원 대전 본원에는 석탄 연소기술의 개발을 목적으로 건설된 연소배가스 실증시험동이 있는데, 석탄화력발전소의 소형 실물로서 연구적 가치가 높은 건물이다. 연소배가스 시험동에서 가동 중인 석탄화력발전소는 2 MWe급으로 MCR(Maximum Continuous Rating, 최대연속정격출력)에 따라 발전량을 조절한다. MCR 100%일 때 발전과정 중 발생하는 배열은 약 6,392 kWth이며 MCR 60%일 경우에는 3,835 kWth의 배열이 발생한다.

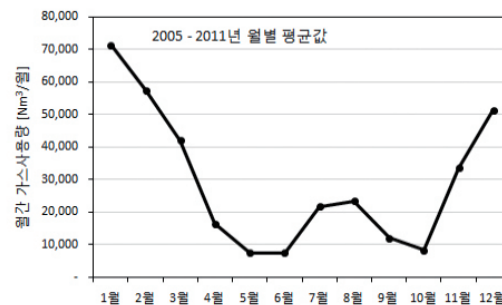
현재 복수기 냉각을 위해서는 냉각수를 사용하고 있으며, 냉각탑에서 열교환을 하여 발전과정 중 발생한 배열을 대기로 버리고 있다. 이렇게 버려지는 배열량은 대상 사이트의 난방설비인 흡수식 냉온수기 2기(320 RT, 600 RT)에서 생산하는 열량보다 산술적으로 많은 것으로 나타난다.

### 에너지 소비 패턴 분석

열에너지 네트워크 모델의 대상지의 에너지 사용 패턴을 분석해 보았다. 그림 3과 같이 여름철(7~8월)과 겨울철(12~1월)에 전력 첨두부하(peak load)가 형성이 되었으며, 그림 4와 같이 겨울철(12~2월)에 가스 사용량이 많은 것으로 나



[그림 3] 월간 전력 사용량



[그림 4] 월간 가스 사용량

타났다. 가스사용량이 겨울철에 많은 이유는 난방 부하를 감당하기 위해 흡수식 냉온수기를 가동하였기 때문이다. 이러한 배열을 흡수식 히트펌프와 연계하여 난방으로 공급할 경우, 첨두부하에 악영향을 주지 않으면서도 겨울철 난방용 가스사용량을 줄일 수 있는 방안을 강구할 수 있다.

### 열에너지 네트워크 모델

앞서 실증 사이트 분석을 통하여 석탄화력발전

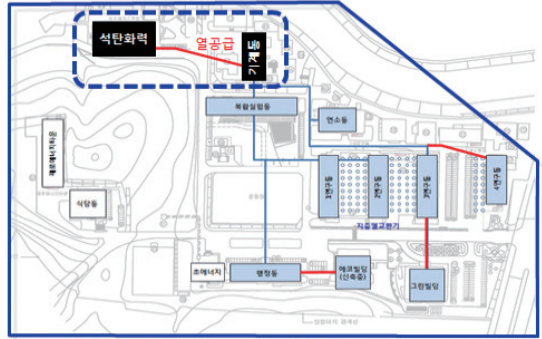
전소의 배열이 충분히 활용가치가 높은 것으로 판단하였으며, 이를 회수하여 열원기기의 열원(heat source)으로 이용하는 열에너지 네트워크를 제안하였다. 또한 난방설비는 노후된 흡수식 냉온수기(Absorption chiller/heater)를 대신하여 흡수식 히트펌프(Absorption heat pump)로 선정하였다. 선정 과정 중, 주로 전력을 동력으로 가동하는 EHP는 전력 부하를 가중시키기 때문에 고려 대상에서 제외하였다.

흡수식 냉온수기와 흡수식 히트펌프는 가스

#### 기존 열에너지 네트워크

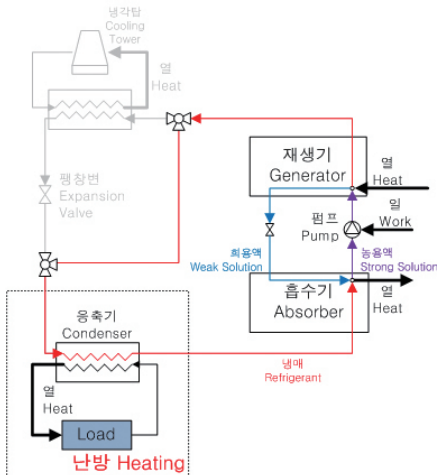


#### 제안 열에너지 네트워크

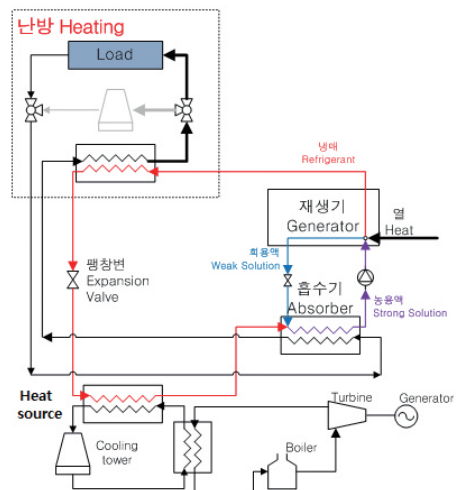


[그림 5] 열에너지 네트워크 모델 제안

#### 흡수식 냉온수기 난방 운전모드



#### 흡수식 히트펌프 난방 운전모드



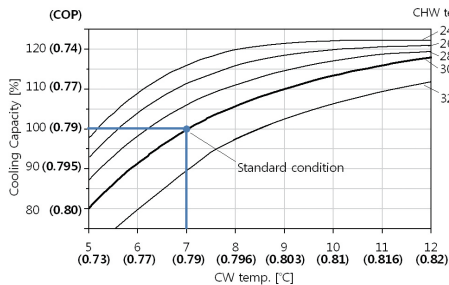
[그림 6] 흡수식 냉온수기와 흡수식 히트펌프의 난방 운전 개략도

를 동력으로 가동하며 냉방 운전 시 성능은 비수하다. 그렇지만, 난방 운전시 두 설비의 성능은 차이가 있다. 흡수식 냉온수기는 직화식 보일러와 비슷한 원리로 온수를 생산하기 때문에 효율은 1보다 낮다. 반면에 흡수식 히트펌프는 재생기(generator)의 열뿐만 아니라 흡수기(absorber)에서 화학적 반응열도 활용 가능하기 때문에 난방 효율이 흡수식 냉온수기보다 높다.

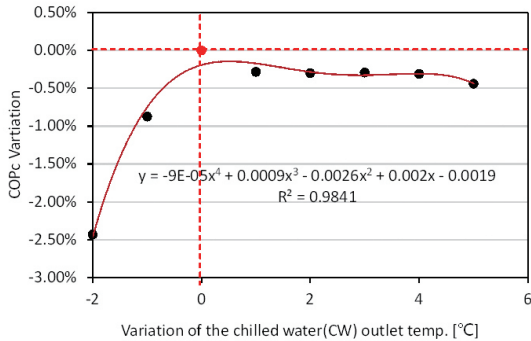
이때 흡수식 히트펌프의 냉방성능계수(COP<sub>c</sub>)와 난방성능계수(COP<sub>H</sub>)는 다음과 같은 관계가 있음을 알 수 있다. 여기서, 열량 Q의 하첨자 E, A, G, C는 각각 증발기, 흡수기, 재생기, 응축기를 나타낸다.

$$Q_E + Q_G = Q_A + Q_C \quad (1)$$

$$COP_H = \frac{Q_A + Q_C}{Q_G} = \frac{Q_E + Q_G}{Q_G} = 1 + \frac{Q_E}{Q_G} = 1 + COP_C \quad (2)$$



[그림 7] 1종 일중효용 증기 흡수식 히트펌프 냉방 성능 곡선(B사)



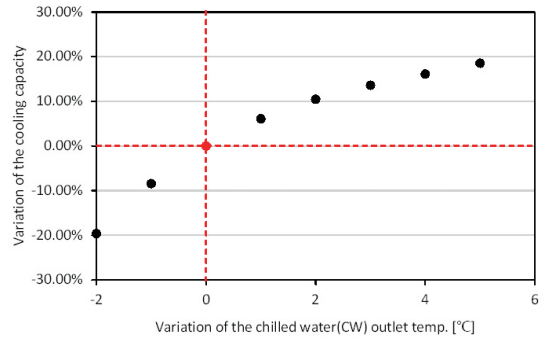
본 연구에서는 상기 열에너지 네트워크 적용 시의 효과를 분석하기 위해 실제 부하율과 운전 온도 등을 입력조건으로 하고, 흡수식 히트펌프 제조사의 성능곡선을 기반으로 성능을 예측하였다.

### 흡수식 히트펌프 냉방 성능 예측

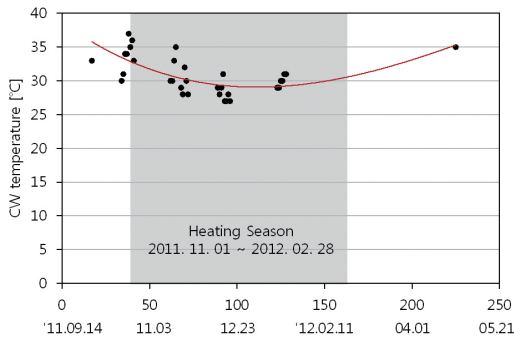
본 연구에서 검토하고 있는 흡수식 히트펌프는 제1종 일중효용 방식으로 물/리튬브로마이드(H<sub>2</sub>O/LiBr)를 작동유체로 하는 시스템이다. 압축기의 기계적 압축으로 냉매를 고온고압으로 만드는 압축식 히트펌프와 달리 흡수식 히트펌프는 냉매에 열을 가하여 사이클을 구성하므로, 주로 LNG를 원료로 하여 가동한다.

흡수식 히트펌프의 성능은 흡수식 히트펌프 B제조사에서 제공한 흡수식 히트펌프 성능곡선을 참고로 하였으며, 그림 7과 같이 냉수(CW) 온도, 냉각수(CHW)온도에 따라 좌우된다. 예를 들어, 냉방부하 100%, CHW 28°C에서 CW 6.2°C임을 알 수 있으며, 이 때 흡수식 히트펌프의 냉방성능계수(COP<sub>c</sub>)는 해당 포인트의 COP 값의 평균 (0.79+0.81+0.775)/3=0.792이 된다.

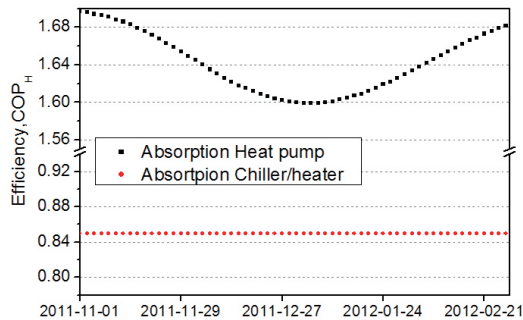
본 연구에서는 CW 7°C, CHW 30°C일 때, 정



[그림 8] CW온도에 따른 흡수식 히트펌프의 성능



[그림 9] 난방 기간 동안의 CW온도로 적용한 석탄화력발전소 배수온도



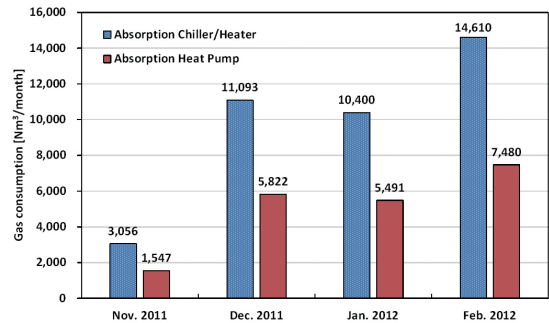
[그림 10] 난방 기간 동안의 흡수식 냉온수기와 흡수식 히트펌프의 난방효율

격 냉방운전을 하는 상용화된 흡수식 히트펌프 제품을 적용하였으며 CW온도에 따른  $COP_c$ 의 변화는 그림 8과 같다.

### 석탄화력발전소 연계 난방운전 성능 예측

그림 8에서 CW온도가 정격 운전 조건보다 낮아지면 급격하게 성능계수가 낮아짐을 알 수 있다. 석탄화력발전소의 운전일지를 참고하여 냉각탑 입수온도의 추세를 구하였으며, 이를 난방기간 흡수식 히트펌프의 CW온도로 두고 그림 9와 같이 산출했다.

CW온도 37℃, 온수 입/출구온도 55/80℃일 때 정격 난방성능계수( $COP_H$ )가 1.7이며, 이를 기



[그림 11] 난방 기간 동안의 흡수식 냉온수기와 흡수식 히트펌프의 가스사용량

준으로 CW온도 변화에 따른  $COP_H$  변화율의 추이는  $COP_c$  변화율과 같다고 가정하였다. 흡수식 냉온수기는 보일러와 비슷한 원리로 가동하기 때문에 보일러의 보편적 효율인 0.85를 선정하여 흡수식 히트펌프의  $COP_H$ 와 비교하여 그림 10과 같이 나타냈었다.

### 동절기 운전비용 분석

난방기간 동안 가스사용량과 열량계수, 보정계수, 단가의 곱으로 가스비용을 산출하였다. 가스사용량은 KIER 보일러실 가스계량기의 월 누적값을 실측하였다. 열량계수는 2014년 2월 업체 평균값으로 43,001 MJ/Nm<sup>3</sup>이다. 노말입방미터(Nm<sup>3</sup>)의 보정계수는 0.9959로 두었으며, LNG 단가는 2014년도 천연가스도매요금표를 참고하여 12월, 1~2월은 일반용 동절기 단가(20.8662 원/MJ)를 적용하고 11월을 기타 월단가(20.6918 원/MJ)를 적용하여 도시가스비용을 산출하였다. 복수열 활용을 위한 추가적인 반송손실은 기존 냉각탑의 냉각팬 동력절감 효과와 유사한 수준으로 검토되어 운전비용에 고려하지 않았다.

2011년 11월부터 2012년 2월의 4개월을 난방 대상 기간으로 선정하고 흡수식 냉온수기를 흡수

〈표 2〉 열에너지 네트워크 제안 모델의 가스사용량 저감량 및 절감비용 산출

			2011년 11월	2011년 12월	2012년 01월	2012년 02월	합계/평균
기존	흡수식 냉온수기	정격 효율	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
		①가스사용량 [Nm <sup>3</sup> /월]	3056.00	11093.00	10400.41	14610.12	39159.53
개선	흡수식 히트펌프	월평균 COPH	1.679	1.619	1.610	1.660	1.642
		②가스사용량 [Nm <sup>3</sup> /월]	1547.09	5822.26	5490.71	7479.93	20339.99
		①-② 가스절감량 [Nm <sup>3</sup> /월]	1508.91	5270.74	4909.69	7130.19	18819.53
		가스단가[원/MJ]	20.6918	20.8662	20.8662	20.8662	20.8226
		가스절감비용[원/월]	1,337,078	4,709,871	4,387,246	6,371,459	16,805,653
		절감율	49.38%	47.51%	47.21%	48.80%	48.06%

식 히트펌프로 대체할 경우의 운전비용을 분석하였다. 표 2에서 나타난 바와 같이 절감률은 평균 48%로 나타났으며, 절감된 가스비용은 약 1천 7백 만원으로 예상되었다.

## 결론

본 연구에서는 한국에너지기술연구원 대전 본원에 있는 연구시설을 대상으로 화력발전소와 흡수식 히트펌프를 연계하는 열에너지 네트워크 모델을 제시하고 해당 모델로부터 에너지 절감량을 예측하였으며 동절기의 에너지 비용을 산출하였다. 그 결과 난방기간 4개월간 가스사용량이 기존 대비 48%가량 저감될 것으로 예측되며 1천 7백여 만 원의 가스비용 절감이 될 것으로 나타났다.

## 참고문헌

1. Korea Gas Corporation homepage, [www.kogas.or.kr](http://www.kogas.or.kr)
2. Kim, K. J., 1994, Absorption chiller and heat pump utilizing waste heat source, Korean Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 23, No. 4, pp. 299-305.
3. Baik, Y. J., Park, S. Y., Chang, K. C and Ra, H. S., 2004, Simulation of compression/absorption hybrid heat pump system using industrial wastewater heat source, Korean Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 16, No. 12, pp. 1117-1125.
4. KIER, 2013, Development of Smart Energy Network Technology, Internal Report KIER-B32431, Korea Institute of Energy Research.

