



지열 열펌프를 이용한 아파트의 난방성능 및 경제성 검토

조정식*, 백성권**

* 한국건설기술연구원, ** 코오롱글로벌(주)

1. 서언

지열원 열펌프 이용 공동주택의 성능평가 및 경제성 검토 대상은 아파트 180세대이며, 냉난방 공급방식으로, 난방은 바닥난방을 사용하였다. 각 세대별 냉난방의 사용량 제어를 위해 세대별 난방 컨트롤러를 설치하고, 부하 변동에 따른 캐스케이드 방식을 적용하였으며, 세대별 적산열량계를 설치하여 열량사용량에 따라 요금을 부과하도록 하였다.

또한, 지열용 전기계량기를 분리하여 설치함으로써 지열난방용 전력요금을 분리하여 부과하도록 하고, 정책적으로 누진제의 적용은 제외하도록 하였다. 지중열교환기는 수직밀폐형으로 지열 프로그래밍(GLD)을 사용하여 설계하였으며, 천공깊이는 약 300 m 80공으로 크기는 150 mm이며, 천공홀 간격은 5 m로 하였다. 배관크기는 30A이며, 그라우트의 열전도도는 2.30 W/mK를 기준으로, 열응답시험을 실시하였으며, 그 결과 열전도도는 3.13 W/mK임을 확인하였다.

2. 난방시스템 성능평가

2.1 난방시스템 개요

지열원 열펌프시스템은 압축기를 나온 고온·고

압의 증기냉매는 4방밸브를 거쳐 응축기로 들어가며, 응축기에서 고온의 증기냉매는 상대적으로 온도가 낮은 실내순환공기(물-공기 방식) 또는 물(물-물 방식)과 열교환을 수행한다. 이 과정에서 증기냉매는 액상으로 상변화를 하고, 실내순환 공기 또는 물은 냉매가 갖고 있던 에너지를 받아 온도가 상승한다.

온도가 상승한 공기 또는 물을 분배장치를 통해 난방을 하거나 온수를 공급하게 되며, 응축기를 통과하면서 액상으로 상이 변한 냉매는 팽창밸브를 지나면서 온도와 압력이 감소하여 증발기로 들어간다. 증발기로 유입된 액상냉매는 지중 열교환기를 순환하는 부동액으로부터 에너지를 받아 다시 증발하고, 4방 밸브를 지나 압축기로 들어간다. 압축기는 저온·저압의 액상냉매를 압축하여 처음 상태로 만든다. 지중 열교환기의 부동액은 증발기에서 냉매를 증발시키고 자신은 약 5℃ ~ 6℃ 정도 온도가 감소한다.

2.2 난방시스템 성능평가

아파트에서 지열원 열펌프를 이용한 난방운전은 9월, 10월에 난방 시운전을 시작으로 11월과 12월의 본격 난방운전을 실시하였으며, 이에 대한 난방운전데이터를 분석하였다.

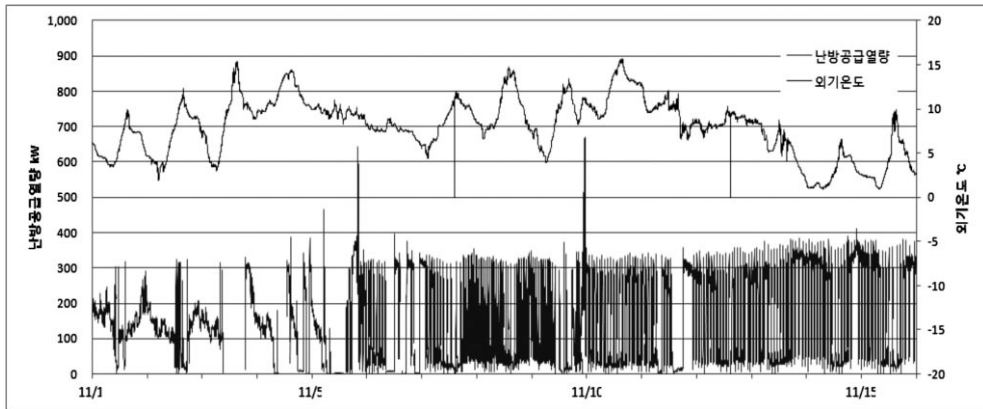
완전한 입주가 이루어지지 않았기에 일부 난방

성능면에서 성능저하를 초래하고 있는 실정이다. 11월의 난방운전결과는 그림 1 ~ 4에, 그리고 11월의 대표일(11월21일)을 기준으로 하여 집중적으로 운전결과를 그림 5 ~ 6에 표시하고 있다. 난방 정격운전기간으로 11월의 외기온도도 일부를 제외하고는 0℃ ~ 15℃로 폭넓게 분포하고 있으며, 난방시스템의 성능을 확인할 수 있는 성적계수, 즉 냉방공급열량과 소비전력을 모두 고려한 성적계수는 일부를 제외하고 열펌프만의 성적계수는 3.8 ~ 2.8 정도를, 시스템 성적계수는 3.2 ~ 2.2 정도로 외기온도에 따라 난방성능이 폭넓게 분포됨을 보이고 있다.

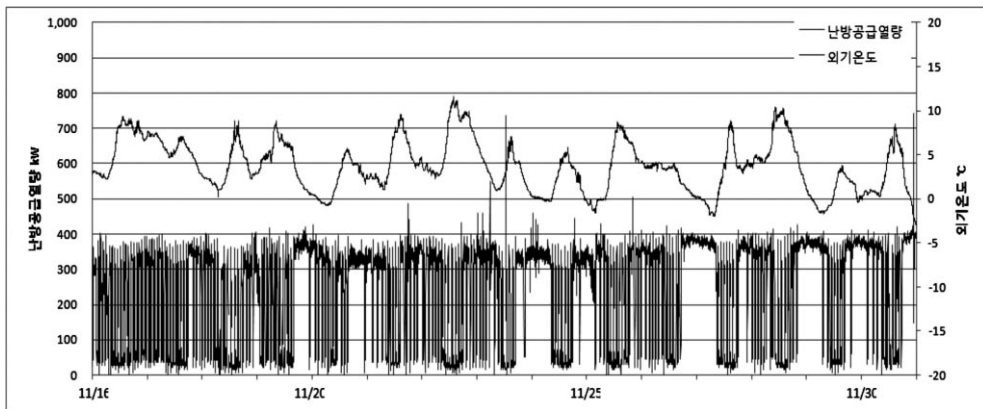
또한, 11월 중에서 대표일(11월21일)의 난방성능도 11월 전체에서 보여준 성능의 범주에서 벗어나지 않음을 역시 확인할 수 있다.

12월의 난방운전결과는 그림 7 ~ 10에, 그리고 12월의 대표일(12월26일)을 기준으로 하여 집중적으로 운전결과를 그림 11~ 12에 표시하고 있다. 12월의 외기온도는 일부를 제외하고는 5℃ 이하를 보이고 있으며, 공동주택의 입주세대로 약 절반을 약간 상회할 정도인 것으로 되어 있다.

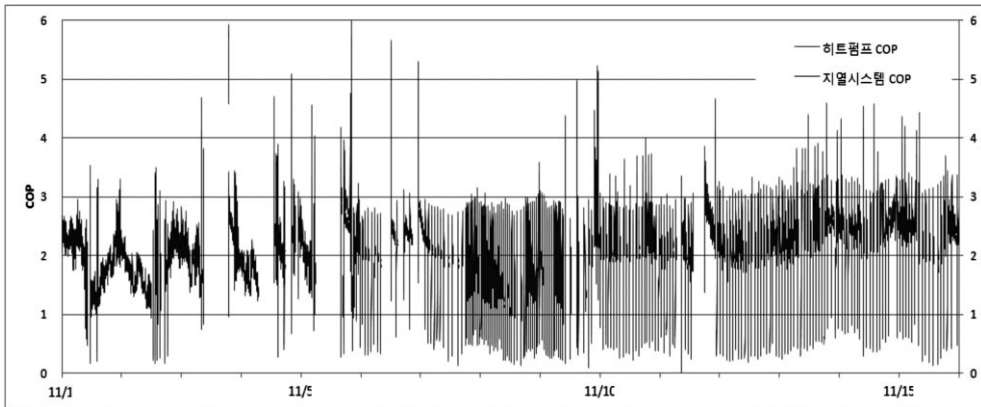
난방시스템의 성능을 확인할 수 있는 성적계수, 즉 냉방공급열량과 소비전력을 모두 고려한 성적계수를 살펴보면, 일부를 제외하고 열펌프만의 성



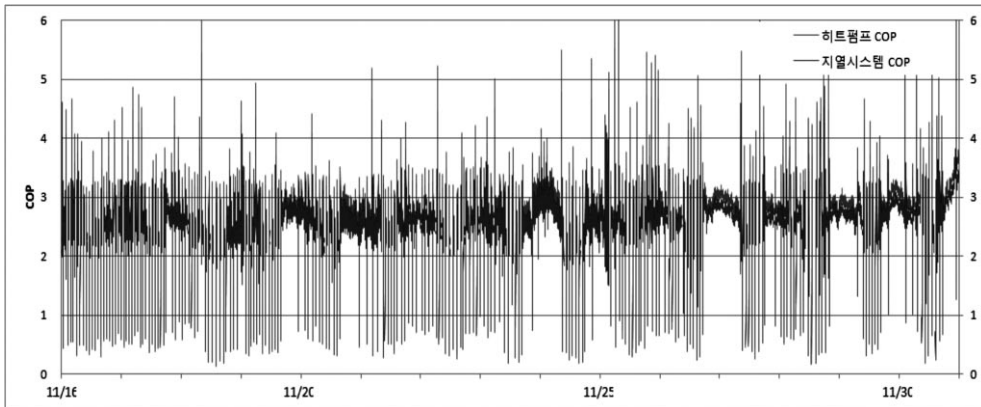
[그림 1] 난방 공급열량 및 외기온도(2012. 11/01~11/15)



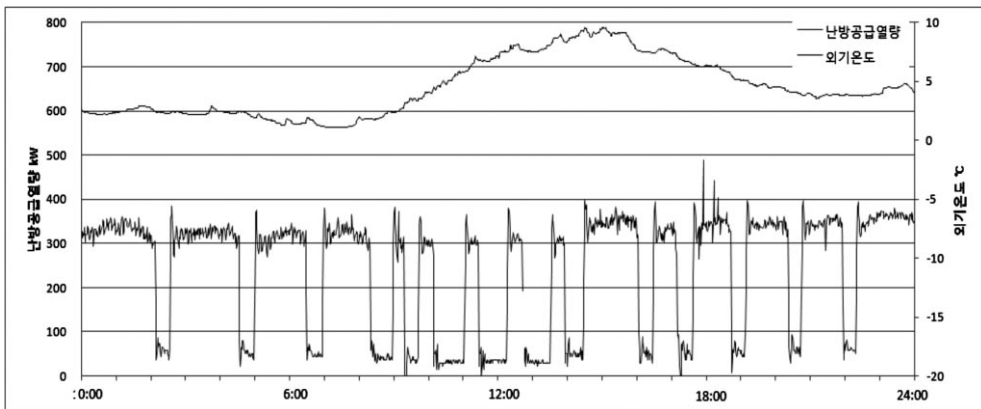
[그림 2] 난방 공급열량 및 외기온도(2012. 11/16~11/30)



[그림 3] 난방 COP(2012. 11/01~11/15)



[그림 4] 난방 COP(2012. 11/16~11/30)



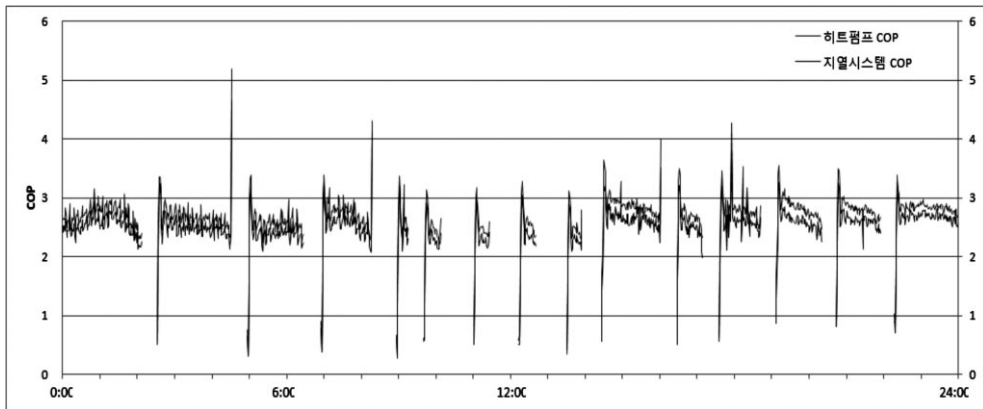
[그림 5] 난방 공급열량 및 외기온도(2012. 11/21)

적계수는 4.0 ~ 3.0 정도를, 시스템 성적계수는 3.6 ~ 2.6 정도로 외기온도에 따라 난방성능이 폭넓게 분포됨을 보이고 있다. 또한, 12월 중에서 대표일(12월26일)의 난방성능도 12월 전체에서 보여준 성능의 범주에서 벗어나지 않음을 역시 확인할 수 있었다.

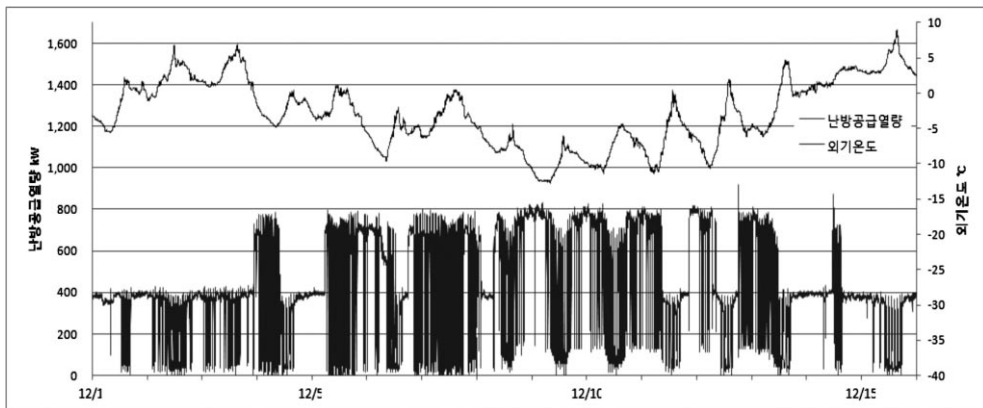
이상으로 본격적인 난방운전이 이루어지면서 공동주택에서 지열원 열펌프 이용 냉난방시스템의

성능을 확인할 수 있다.

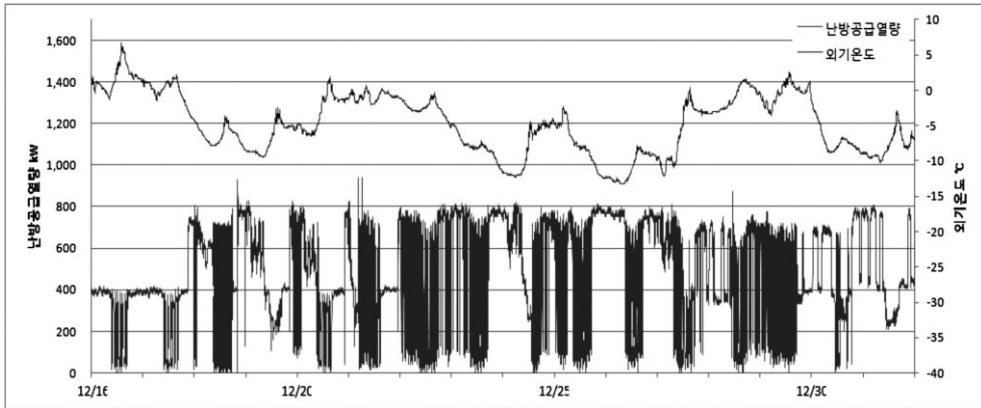
난방운전데이터를 검토하여 볼 때, 공동주택의 특성상 난방운전이 필요한 경우에 한하여 최소한의 간헐운전을 하고 있으며, 또한 입주세대수 측면에서도 절반정도만이 사용하고 있기 때문에 분석자료는 입주가 완료되는 정상적인 조건에서 운전된다고 가정할 때와 비교한다면 난방 성능면에서 불리하다고 여겨진다.



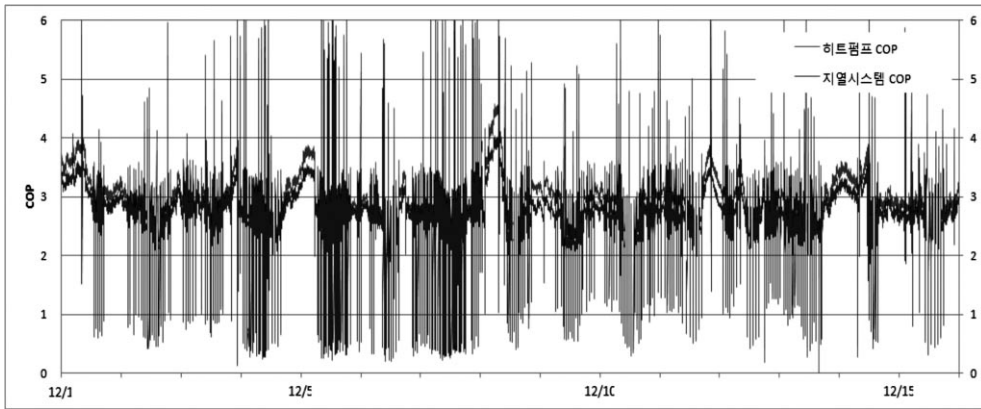
[그림 6] 난방 COP(2012. 11/21)



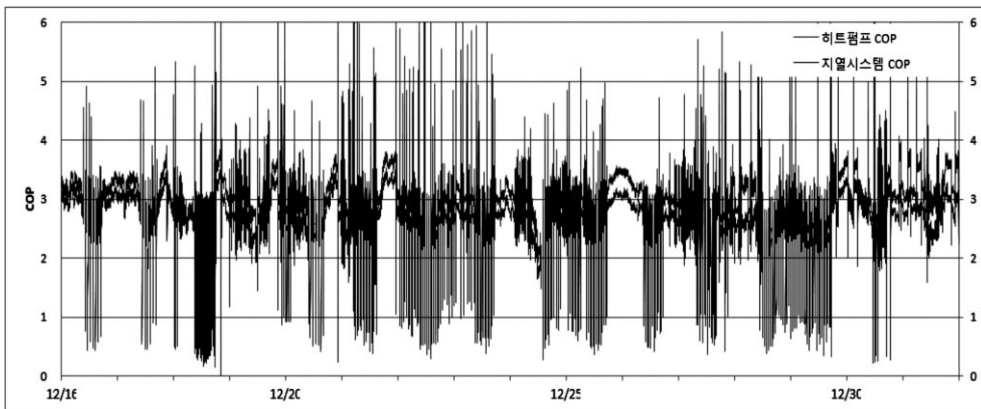
[그림 7] 난방 공급열량 및 외기온도(2012. 12/01~12/15)



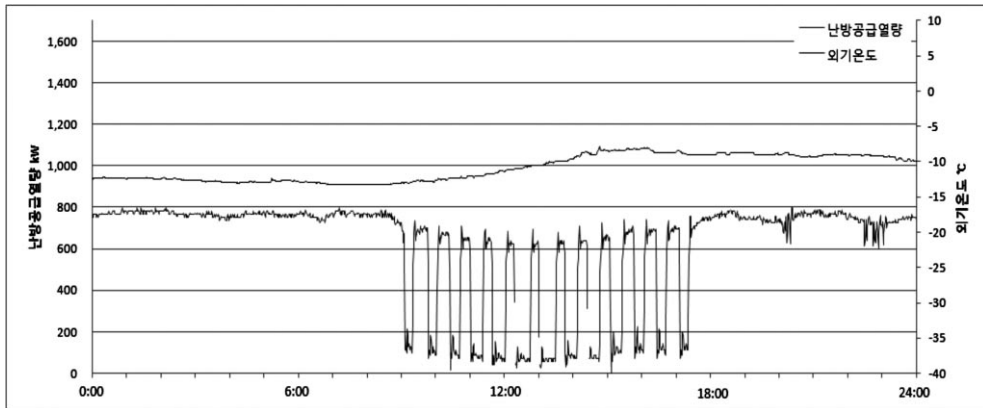
[그림 8] 난방공급열량 및 외기온도(2012. 12/16~12/31)



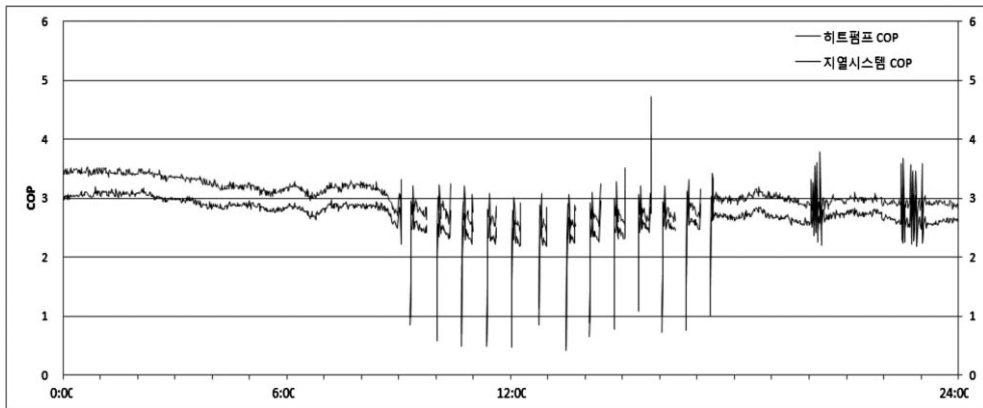
[그림 9] 난방 COP(2012. 12/01~12/15)



[그림 10] 난방 COP(2012. 12/16~12/31)



[그림 11] 난방 공급열량 및 외기온도(2012. 12/26)



[그림 12] 난방COP(2012. 12/26)

3. 경제성 분석

주로 가스보일러를 이용해 개별난방을 해왔던 예전 공동주택과는 달리 최근에 신규로 공급되는 공동주택의 경우 지역난방을 이용해 각 세대로 난방수를 공급받고 있다. 일반적으로 지역난방은 개별난방보다 난방요금 저렴한 것으로 알려져 보급이 증가하는 추세에 있다. 공동주택(아파트, 다세대주택 등 포함)은 2008년 말 기준 총 가구수 1,436만호(추정)의 13.1%인 약 188만호에 지역난방을 공급받고 있다(출처 : 에너지관리공단). 송도지역도 지역난방이 공급되는 지역이며 난방

및 급탕용으로 지역난방설비가 보조용으로 설치되어 있다.

따라서, 변화하는 난방 트렌드 및 송도지역 주거 건물의 난방특성을 반영하여 지열원 히트펌프를 이용한 난방과 지역난방의 사용요금을 비교해 경제성을 검토하고자 한다. 적용 아파트는 총 180세대이며 2013년 1월 1일 기준 102세대(입주율 57%)가 입주를 완료하였다. 난방은 2012년 9월 24일부터 시작하였으며 2012년 10월부터 12월까지 3개월간 지열난방 사용열량과 발생요금을 분석하였고, 지열난방 사용열량에 대응하는 지역난방요금을 추정하여 두 설비의 사용열량에 따른

<표 1> 계약전력 및 계약면적 (2013년 1월 기준, 부가세 제외)

	계약(전력/면적)	기본요금 단가	기본요금
지열난방	1,000 kW	8,050 원/kW	8,050,000 원(2,415,000 원*)
지역난방	29,158 m ²	52.40 원/m ²	1,527,896 원
특이사항	* 최대수요전력이 계약전력의 30% 미만인 경우 계약전력의 30% 요금적용 * 전기요금은 2012년 8월, 2013년 1월 각각 상승		

<표 2> 2012년 10월 ~ 12월 사용열량 및 전력요금

2012년	기간	사용 열량	전력 요금
10월	9.25 ~ 10.24	35,990 kWh	3,931,940 원
11월	10.25 ~ 11.24	105,790 kWh	7,509,630 원
12월	11.25 ~ 12.24	250,060 kWh	12,755,000 원

<표 3> 10월 요금 비교

	지열 난방	지역 난방
사용열량	28,170 kWh	28,170kWh
계약전력 및 면적	1,000 kW	29,158m ²
기본요금	2,337,000 원	1,527,896원
사용요금	1,144,546 원	1,920,653원
기타 세금	450,394 원	344,855원
합계	3,931,940 원	3,793,404원
사용단가(세금포함)	45.3 원/kWh	75원/kWh

<표 4> 11월 요금 비교

	지열 난방	지역 난방
사용열량	105,790 kWh	105,790 kWh
계약전력 및 면적	1,000 kW	29,158 m ²
기본요금	2,337,000원	1,527,896원
사용요금	4,302,838원	7,212,847원
기타 세금	869,792원	874,074원
합계	7,509,630원	9,614,817원
사용단가(세금포함)	45.4원/kWh	75원/kWh

<표 5> 12월 요금 비교

	지열 난방	지역 난방
사용열량	250,060 kWh	250,060 kWh
계약전력 및 면적	1,000 kW	29,158 m ²
기본요금	2,375,950원	1,527,896원
사용요금	8,865,933원	17,049,291원
기타 세금	1,513,117원	1,857,719원
합계	12,755,000원	20,434,905원
사용단가(세금포함)	39.6원/kWh	75원/kWh

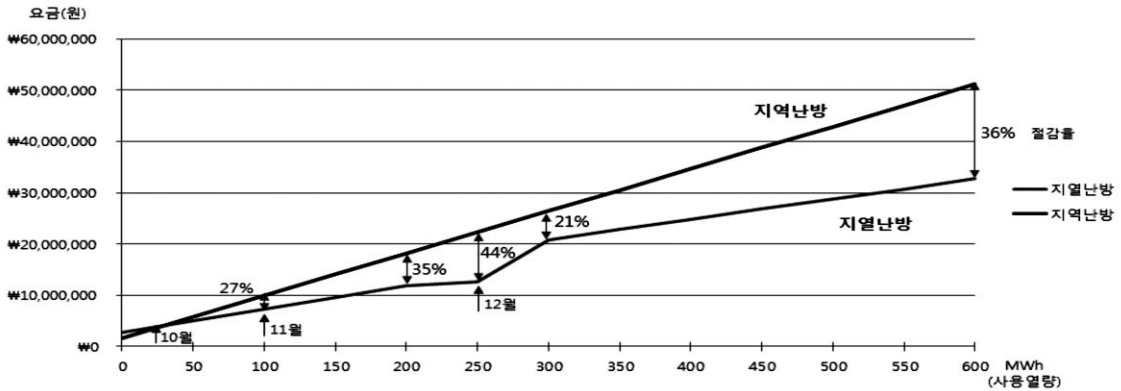
발생요금을 비교하였다. 사용열량은 각 세대에 설치되어 있는 열량계로부터 측정된 열량이며, 지열난방설비의 계약전력과 지역난방의 계약면적은 표 1에 표시한 바와 같다.

현재, 아파트는 일반용전력(을)/고압A/선택2 요금 1,000 kW를 수전 받아 기본요금이 매달 8,050,000원이 발생하나 최대수요전력이 계약전력의 30% 미만인 경우 계약전력의 30%인 2,415,000원의 기본전력이 발생한다. 지역난방

의 기본요금의 경우 주택난방용 요금이 적용되었으며 사용요금은 단일요금(Mcal당 79.28원)으로 산정하였다.

표 2는 2012년 10월에서 12월 사이에 사용한 열량과 지열설비로부터 발생된 전력요금을 표시하고 있다.

각 월에 지열난방 설비를 이용해 사용한 열량 만큼에 해당하는 지역난방설비 사용요금을 다음 표 3 ~ 5와 같이 추정하여 산정하였다.



[그림 13] 지열난방 및 지역난방 요금비교도

지열난방의 경우, 기본료가 2,337,000원 ~ 2,375,950원 발생하였는데 입주자가 다 이루어지지 않아 최대수요전력이 계약전력 1000 kW의 30%인 300 kW를 넘지 않아 계약전력 기본요금의 30%가 적용 되었으며 지역난방의 경우 계약면적 29,158m²에 해당하는 1,527,896원의 기본요금을 적용하였다. 사용한 난방 열량의 kWh 당 단가는 지열난방은 10월 35.5원/kWh, 11월 45.4원/kWh, 12월 39.6원/kWh로 산정되었다.

11월 ~ 12월의 단가를 비교하여 보면, 12월의 외기조건이 지열시스템에 불리함에도 불구하고 단가가 적게 나왔음을 확인할 수 있는데(45.4원/kWh → 39.6원/kWh) 이는 난방 사용량이 증가함에 따라 지열원 히트펌프의 성능이 최적이 되는 정격운전시간이 증가하여 지열시스템 효율이 높아진 것으로 판단된다. 10월달의 요금단가가 11월과 비교하여 차이가 거의 나지 않는 이유는 외기온도가 10℃ ~ 25℃로 비교적 쌀쌀하고 따뜻한 날씨로 지열원 히트펌프의 성능에 유리하게 작용된 것으로 판단된다.

실제 사용한 난방열량 및 발생한 요금을 분석하여 그림 13과 같이 그래프로 비교분석하였으며 난방열량 250 Mwh 이후로 지열난방의 단가를 250kWh와 동일한 39.6원/kWh를 적용하였다(지역난방은 변함없이 75원/kWh 적용).

사용량이 없을 것으로 예상되는 봄·가을철(가

동 스케줄은 입주자가 결정)에는 지열난방이 지역난방보다 기본료가 높게 책정되어 있어 약 887천원 ~ 6,522천원 가량 높게 발생한다(최대소비전력에 따라 기본료가 달라짐).

하지만, 난방이 본격적으로 시작되는 겨울철의 경우 약 30 MWh 이상 난방열량 사용 시 지열난방이 지역난방보다 요금이 적게 발생 된 것으로 분석 그래프를 통해 알 수 있으며 난방사용이 증가함에 따라 그 격차는 점점 벌어진다. 2012년 12월의 경우 지역난방 대비 약 44% 요금 절감효과가 나타난 것으로 보이며, 250 MWh 이후부터는 지열원 히트펌프의 최대소비동력이 300 kW를 넘어 갈 것으로 추정된다.

따라서, 기본요금도 2,337,000 원에서 8,050,000 원으로 상승하게 된다. 2013년 1월 1일 기준 102세대가 입주한 상태에서 2012년 12월 달의 사용열량이 250 MWh로 나왔으며 추후 180세대 입주 완료시 최대로 발생할 수 있는 난방열량을 600 MWh로 예상하였다. 실제 가동 데이터를 기준으로 600 MWh 사용 시 지역난방보다 약 36% 요금을 절감 할 수 있을 것으로 보인다.

4. 결론

- (1) 공동주택에서 지열원 열펌프를 이용한 난방 운전은 입주세대가 약 절반정도 입주한 상태인

12월 난방기간에 일부를 제외하고 열펌프만의 성적계수는 4.0 ~ 3.0 정도를, 시스템 성적계수는 3.6~2.6 정도로 외기온도에 따라 난방능이 폭넓게 분포됨을 보이고 있다.

이와 같은 운전결과에 대한 자료를 검토하여 볼 때, 공동주택의 특성상 난방운전이 필요한 경우에 한하여 최소한의 간헐운전을 하고 있고, 또한 입주세대수 측면에서도 완전입주가 이루어지지 않고 있기 때문에 분석데이터는 입주가 완료된 후의 정상적인 조건에서 운전된다고 하면 난방성능이 보다 향상되리라 여겨진다.

(2) 난방 트랜트 및 송도지역 주거건물의 난방 특성을 반영하여 지열원 히트펌프를 이용한 난방과 지역난방의 사용요금을 비교해 경제성을 검토한 결과 다음과 같다.

- 봄·가을철에는 지열난방이 지역난방보다 최대소비전력에 따라 기본료가 달라지지만 기본료가 높게 책정되어 있어 약 887천원 ~ 6,522천원 가량 높게 발생한다. 하지만 난방이 본격적으로 시작되는 겨울철의 경우 약 30 MWh 이상 난방열량 사용 시 지열난방이 지역난방보다 요금이 적게 발생된 것으로 예상되며 난방사용이 증가함에 따라 2012년 12월의 경우 지역난방 대비 약 44% 요금 절감 효과가 있으며, 250 MWh 이후부터는 지열원 히트펌프의 최대 소비동력이 300kW를 넘어갈 것으로 추정된다.

- 기본요금도 2,337,000원에서 8,050,000원으로 상승하게 된다. 102세대가 입주한 상태에서 2012년 12월 달의 사용열량이 250MWh으로, 추후 180세대 입주 완료시 최대 발생할 수 있는 난방열량을 600MWh로

예상하여 실제 가동 데이터를 기준으로 600MWh 사용 시 지역난방보다 약 36% 요금을 절감이 예상된다.

후 기

본 연구는 신재생에너지 기술개발사업으로 산업통상자원부, 한국에너지기술평가원 및 코오롱글로벌(주)의 지원으로 수행되었음을 밝힌다.

인용 문헌

1. 조정식, 손병후, 백성권, 지열원 열펌프 이용 공동주택의 난방운전 결과분석(1), 한국지열에너지학회 2013 춘계 학술대회논문집, pp63-64.
2. 임성균 외, 공동주택의 지열 냉난방시스템 적용성에 관한 연구, 신·재생에너지 융합원천기술개발사업 보고서, 2012.12.
3. Sohn, B. H., Cho, C. S., Shin, H. J., and An, H. J., 2004, Cooling and heating performance evaluation of a ground source heat pump. Proceedings of the KSME 2004 Spring Annual Meeting, pp. 2117-2122.
4. Byong Hu Sohn, Chung-Sik Cho, Hyun-Jun Shin, Chang-Ho Sim, 2004, Ground Source Heat Pump Systems: A Technology Review, Proceedings of the SAREK 2004 Summer Annual Conference.
5. An, H. J, Baek, S. K., Cho, C. S, and Sohn, B. H, 2007, Performance for Geothermal Heating & Cooling System by Heatpump in Office Building, Transactions of KSGEE, Vol. 3, No.1, pp23-29.