

설계자료와 모니터링 자료 분석을 통한 지열히트펌프의 지열에너지 이용량 비교

백길남^{1)*} · 송윤호^{2)**} · 이태종³⁾ · 송영수⁴⁾

A Comparison of Geothermal Energy Utilized by GSHP between Real Monitoring Data and the Design Criteria

Kil Nam Paek · Yoonho Song · Tae Jong Lee · Young Soo Song

Received 3 February 2015 Revised 10 March 2015 Accepted 10 March 2015

ABSTRACT We analyze the heating and cooling energy loads of the buildings in the geothermal utilization report submitted to Korea Energy Management Corporation (KEMCO) and extract the capacity factor (CF) according to building types. The estimated geothermal energy through the World Geothermal Congress (WGC) criteria based on the CF is compared with the heating energy load of the building. It is also compared with the values predicted by means of statistics used in Korea which are annually published as the New & Renewable Energy Statistics. The geothermal heating energy estimated by means of WGC criterion is 91% of the designed thermal load of the buildings. But the estimated average heating geothermal energy predicted by means of statistics used in Korea is 307% of the designed load of the buildings. We also compared monitoring results of a ground source heat pump (GSHP) system from 24 January to 14 September 2014 with the design data of the geothermal utilization report submitted to KEMCO. The energy produced by the GSHP system under operation is analyzed and is compared with the values predicted by means of statistics used in Korea. The designed energy load of the building is just 48% of the estimated energy by the means of statistics of Korea. The energy produced in the load part and source part is 59% and 36% of the estimated energy, respectively. Therefore, it is needed to devise a reasonable criterion of estimating geothermal energy production through GSHP system in Korea.

Key words GSHP(지열히트펌프), Geothermal heating and cooling(지열냉난방), Design load(설계부하), Installed capacity(설치용량), Energy production(에너지 생산량)

Nomenclature

H_{HP} : equivalent full load hour, h

CF : capacity factor

COP : coefficient of performance

GSHP : ground source heat pump

SPF : seasonal performance factor

-
- 1) 에너지관리공단 E-mail: kilam@kemco.or.kr
Tel: +82-31-260-4571 Fax: +82-31-260-4579
 - 2) 한국지질자원연구원 E-mail: song@kigam.re.kr
Tel: +82-42-868-3175 Fax: +82-42-868-3414
 - 3) 한국지질자원연구원 E-mail: megi@kigam.re.kr
Tel: +82-42-868-3175 Fax: +82-42-868-3413
 - 4) 전북대학교 E-mail: geosys@jbnu.ac.kr
Tel: +82-63-270-2365 Fax: +82-63-270-2366

1. 서론

신·재생에너지의 보급을 확대하기 위한 정부의 다양한 정책적 지원에 따라 국내 신재생에너지 보급량은 꾸준히

증가하고 있고, 특히 지열분야는 지열 냉난방 설비를 중심으로 최근 급속도로 성장하고 있다(Table 1). 지열은 발전분야와 직접이용분야로 크게 나눌 수 있고, 국내의 경우 발전분야는 기술개발 단계로 현재까지 보급실적은 전무한 상태이다. 지열의 직접이용에 대한 통계는 국제에너지기구(IEA)의 기준에 따라 지열히트펌프를 이용한 냉난방 분야 외에도 다양한 이용형태에 따라 보급실적과 통계를 산정하고 있으나, 국내의 경우에는 지열히트펌프를 활용한 지열의 보급실적만을 지열에너지 통계로 산정하고 있다¹⁾.

최근 가장 폭넓게 이용되고 있는 지열에너지의 분야는 냉난방이고 지열히트펌프가 건물의 냉난방을 위한 좋은 대안으로 인정되고 있다²⁾. 그러나 설비의 구동을 위해서는 상당량의 전력소모가 필수적이며 이에 따라 유럽을 중심으로 지열설비에 대한 재생에너지 산출량 계산 및 에너지절약 부문에 대한 평가를 위해서 성능계수를 고려를 하고 있다³⁾. 외국은 유럽을 중심으로 지열설비에 대한 다년간의 모니터링을 통해 전력 소모량과 건물부하에 대응하는 에너지 공급량을 측정하는 한편, 성능계수 산정을 통해 실제 지열 냉난방 설비를 통한 재생에너지 공급량과 에너지절약 효과에 대한 연구가 진행되고 있다^{2,4-6)}. 국내의 지열히트펌프를 이용한 지열냉난방 분야 연구에서는 건물의 냉난방 부하에 적합한 지열시스템의 설계와 시뮬레이션을 통한 시스템의 성능분석에 집중하고 있다⁷⁻¹²⁾. 실제 가동중인 설비에 대한 연구도 특정 기간 동안의 모니터링 계측을 통해 단순한 설비의 성능확인에 머물러 있다^{13,14)}.

이 연구에서는 지열히트펌프 시스템의 설계자료 분석과 실제 가동중인 설비의 모니터링을 통해 지열에너지이용량 및 에너지절감량을 산출하였다. 또한 세계지열학회(World Geothermal Congress; WGC) 및 유럽의 기준에 따라 추정된 지열에너지생산량 및 에너지절감량과 국내 기준에 따라 작성되고 있는 통계와의 차이를 비교해보았다. 이를 통해 국내 지열히트펌프를 통해 보급되고 있는 재생에너지보

급량 및 에너지절감량에 대한 합리적인 기준의 필요성을 확인하였다.

2. 국내외 지열 직접이용 보급현황

2.1 세계 보급현황

일반적으로 지열에너지는 직접이용(direct use)과 간접이용(indirect use)으로 구분하고 있다. 열(heat)을 생산하면 직접이용, 전기(electricity)를 생산하면 간접이용으로 구분한다. 지열히트펌프를 이용하는 기술도 직접이용의 범주에 포함하고 있으나 미국 EPA의 경우처럼 지열히트펌프를 별도로 구분하는 경우도 있다¹⁵⁾.

지열의 직접이용 에너지량은 2010년기준 423,830 TJ/year로 2005년대비 55% 정도 증가했고 연평균 9.2% 증가했다. 이중 47.2%가 지열히트펌프를 통해서 공급되었고 설치용량기준으로는 68.3%를 차지한다. 히트펌프 설치용량은 33,134 MWt, 히트펌프를 통한 지열의 연간에너지이용량은 200,149 TJ/yr 이었다¹⁶⁾.

2.2 국내 보급현황

우리나라의 신재생에너지 보급정책은 제2차 에너지기본계획 및 제4차 신·재생에너지 기본계획에 따라 추진하고 있으며, 2035년 1차 에너지대비 신재생에너지 보급 11% 달성을 목표로 하고 있다. 또한 신재생에너지 열공급의무화(Renewable Heat Obligation; RHO) 제도를 도입할 계획이며 우선, 대규모 신축 건물의 열에너지 사용량에 대한 일정비율을 신재생 열에너지로 공급하는 방안을 계획하고 있다^{17,18)}.

우리나라 지열보급통계는 지열 냉난방설비의 보급에 의한 지열 이용량을 통계로 작성하고 있다. 2013년 지열냉난방설비의 신규 설치용량은 121,465kW, 누적설치용량은 552,804kW이며, 2009년부터 2013년까지 설치용량의 연평균 증가율은 32.1%에 달하고 있다. 그러나 2013년 한 해 동안 지열에너지보급량은 86,959 toe 수준으로 아직까지는 11개 신재생에너지원 중에서 0.9%에 불과한 실정이다(Table 1, Table 3). 2013년 기준 가정용, 공공시설, 교육

Table 1. Official statistics of geothermal energy utilization (heating and cooling with GSHP) of Korea (2009~2013)¹⁹⁾

구분	2009	2010	2011	2012	2013
누적용량(kW)	144,760	233,986	307,501	431,339	552,804
생산량(toe)	22,126	33,449	47,833	65,277	86,959

Table 2. Capacity distribution of the newly installed GSHP system (2009~2013) in Korea¹⁹⁾

구분	2009	2010	2011	2012	2013
35kW 이하	4,492	9,108	12,137	22,544	31,710
35~175kW 이하	844	2,759	2,680	5,019	4,799
175~350kW 이하	8,239	13,866	13,234	12,466	10,898
350~700kW 이하	11,968	23,701	23,581	24,801	26,101
700kW 초과	14,295	39,792	21,883	59,008	47,956
합계	39,838	89,226	73,515	123,838	121,465

Table 3. Distribution of the newly installed GSHP system according to its utilization type (2009~2013) in Korea¹⁹⁾

구분	2009	2010	2011	2012	2013
가정용	5,024	11,149	17,089	22,176	30,932
공공시설	22,172	29,407	27,645	24,007	36,612
교육시설	2,056	5,351	10,546	18,109	13,634
농어축산시설	2,515	26,399	3,899	46,895	20,755
사회복지시설	3,359	6,720	4,630	5,432	6,603
산업시설	2,808	-	1,719	4,155	8,722
상업시설	1,715	-	859	1,707	3,763
기타	190	10200	7,128	1,357	444
총합계	39,839	89,226	73,515	123,838	121,465

시설 및 농어축산시설의 경우 전체 보급설비용량의 83.9%를 차지하고 있고, 가정용설비의 증가로 35kW 이하 소형설비와 설치의무화 사업을 통한 공공시설과 농어축산시설의 지원정책에 따라 700kW 이상 대형설비의 보급이 많이 증가한 것으로 나타났다(Table 2).

3. 에너지 부하 분석 및 설비 모니터링

3.1 지열 통계 작성 방법

일반적으로 지열의 직접이용 설비는 소규모 이용시설로서 정확한 사용량 집계가 어렵고 열에너지 사용량 산출방법에 있어서도 나라마다 차이가 있어 정확한 사용량 집계 어렵다¹⁾. 전세계적으로 지열 직접이용의 통계는 WGC에서 집계하는 방식을 많이 사용하고 있다. WGC에서는 난방모드의 활용으로만 지열 이용량을 집계하고 있고, 냉방모드에서는 단지 화석에너지를 절약함으로써 파생되는 CO₂의 절감효과만을 산출하고 있다¹⁾.

Annual Energy Use (TJ/hr)

$$= \text{정격 출력(kJ/hr)} \times [(COP-1)/COP] \times \text{연간가동등가 시간(hr/yr)}$$

Capacity Factor

$$= [\text{Annual Energy Use(TJ/yr)}] / \text{Capacity(MWt)} \times 0.03171$$

우리나라에서는 지열의 보급량 산정시 냉·난방을 동시에 고려하고 있고 냉방용으로 0.174toe/RT(부하율 60%), 난방용으로 0.444toe/RT(부하율 70%)를 적용하고 있다(1RT=3.5kW). 또한 난방 가동시간은 150일/년 * 14시간/일, 냉방 가동시간은 120일/년*8시간/일을 가정하여 통계를 산출하고 있다¹⁹⁾.

그러나 건물의 용도나 특성에 따라서 냉난방 부하 특성이 많이 달라진다는 것을 고려할 때⁵⁾, 냉방과 난방의 부하율을 일률적으로 적용한다는 것은 많은 오차를 유발할 수 있다. 따라서 유량 및 온도 모니터링 장치가 부착된 시설의 실제 열에너지 추출(난방시) 및 방출(냉방시)량을 집계하여 건물 용도별 가동율(CF; capacity factor)의 개념을 적용할 필요가 있다¹⁾. 하나의 좋은 예로, 유럽에서는 재생가능 에너지 활용촉진에 관한 유럽 의회 및 위원회의 훈령³⁾을 통해 각 회원국의 재생가능한 에너지량 산정에 대한 방법을 명확하게 제시하고 있고, 히트펌프를 이용하여 냉난방 에너지를 공급하는 경우에는 식 (1)과 같이 계산토록 하고 있다³⁾.

$$E_{RES} = Q_{usable} \times (1 - 1/SPF) \tag{1}$$

SPF는 히트펌프의 평균 계간성능계수로, $SPF > 1.15 * 1/\eta$ 인 히트펌프인 경우에만 재생가능한 에너지량으로 인정하고 있다. 지열히트펌프 시스템을 통한 냉난방에너지는 국내 인증제품 기준으로 볼 때 모두 재생가능한 에너지량으로 산정할 수 있다. η 는 전력시스템효율로 0.455를 적용한다²⁰⁾. Q_{usable} 은 식 (2)와 같이 히트펌프의 정격용량(P_{rated})과 연간가동등가시간(H_{HP})으로 구하며, 연간가동등가시간(H_{HP})은 정격용량으로 가동된다고 가정할 때의 연간 총 가동시간을 의미한다. 정격용량(P_{rated})은 표준정격조건에서 히트펌프의 냉방 또는 난방 용량을 의미한다.

$$Q_{usable} = H_{HP} \times P_{rated} \quad (2)$$

Fig. 1은 난방 시스템 경계를 모식도로 보여주는데, 지열에너지의 관점에서 히트펌프의 시스템경계는 SPF_{H2} 와 SPF_{H1} 이며, 식 (1)은 식 (3)과 같은 의미이다.

$$E_{RES} = Q_{usable} - E_{S_fan/pump} - E_{HW_hp} \quad (3)$$

여기서 $E_{S_fan/pump}$ 와 E_{HW_hp} 는 각각 순환펌프와 히트펌프 구동에 필요한 에너지로 지열에너지 보급량은 난방공급에너지에서 히트펌프와 순환펌프 구동에 필요한 에너지를 제외한 에너지를 의미한다. 또한 지역별 기후조건에 따라 연간 난방기동등가시간과 SPF의 기본값을 제시하고 있다(Table 4).

3.2 지열이용검토서에 나타난 냉난방 부하특성 분석

우리나라를 포함하여 전세계적으로 수직밀폐형 설비가 주로 적용되고 있으며¹⁰⁾, 정부의 보급사업에 참여하는 경우 신재생에너지센터를 통해 지열이용검토서 승인을 받도록 하고 있다. 지열시스템 설계에는 GLD 등 전문 설계프로그램을 이용하고 있고¹³⁾, 건물 설계시의 냉난방부하를 입력자료로 활용하고 있다. 냉난방부하와 지중의 열 특성을

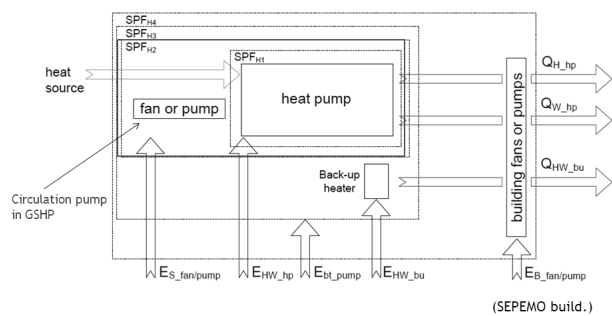


Fig. 1. An example of system boundaries for GSHP system²⁰⁾

Table 4. H_{HP} and SPF values recommended by EU based on the climate (heating only)²⁰⁾

Energy Source	Water climate		Average climate		Colder climate	
	H_{HP}	SPF	H_{HP}	SPF	H_{HP}	SPF
ground-air	1,340	3.2	2,070	3.2	2,470	3.2
ground-water	1,340	3.5	2,070	3.5	2,470	3.5

기반으로 하여 설계하는 지열히트펌프 시스템은 실제 건물의 냉난방 피크부하와 월간 냉난방 부하에 따라 설계용량이 달라진다. 이때 설비의 이용율이 저조할 경우 또는 피크 부하가 상대적으로 큰 경우 설비를 통한 에너지 생산량 및 절감량 또한 저조할 수 있다. 즉, 건물의 용도에 따라 냉난방부하 패턴이 달라지므로 건물의 용도에 따라서 생산량 및 절감량이 달라질 수 있고 건물의 냉난방 외에 시설원에 사용될 경우에도 에너지 생산량은 달라질 수 있다. 그러나 국내외적으로 지열을 통한 에너지생산량 추정통계가 모두 다르고 국가마다 기준이 다르므로 통일된 기준에 따라 지열생산량을 추정할 필요가 있다.

지열이용검토서를 분석하여 건물용도별 냉난방 부하패턴을 분류하고 각각의 건물용도에 따른 냉난방 부하패턴의 차이를 살펴보았다. 건물용도에 따라 지열히트펌프를 이용했을 때 연간 에너지 생산량의 통계값이 어떻게 달라지는지를 분석해 보았다. 분석대상은 2008년부터 2013년까지의 지열이용검토서로서 총 930건에 달하며 대부분이 설치 의무화 사업에 해당한다(96%, 930건 중 896건)(Table 5).

3.3 지열 설비의 모니터링

지열이용검토서의 분석은 설계 자료에 대한 것이므로 실제의 경우를 비교하기 위해, 경남 양산의 A 대학병원에 설치된 지열시스템에 대하여 2014년 1월 24일부터 9월 14일까지 냉난방 에너지 공급량을 모니터링한 자료를 분석하였

Table 5. Capacity and subsidy program distribution of 930 cases analyzed in this study (based on the Geothermal Utilization Reports submitted to KEMCO)

설치용량	설치 의무	건물지원	금융지원	지역지원	합계
35kW 미만	-	57 (3)	-	-	57 (3)
35~175kW 미만	14,557 (118)	1,237 (11)	-	127 (1)	15,921 (130)
175~350kW 미만	65,647 (245)	1,841 (6)	-	344 (1)	67,832 (252)
350~700kW 미만	146,051 (296)	1,333 (3)	-	627 (1)	148,011 (300)
700kW 이상	336,899 (237)	2,405 (3)	1,145 (1)	4,167 (4)	344,616 (245)
합계(건)	563,154 (896)	6,873 (26)	1,145 (1)	5,266 (7)	576,438 (930)

Table 6. Overview of the building and GSHP system for analysis in this study

구분	내용	
건축 개요	위치	경남 양산
	용도	대학병원(의료시설)
	규모(연면적)	18,006m ² (지하 2층 ~ 지상 8층)
지열 시스템	시스템 COP	냉방 : 3.7, 난방 : 3.2
	설비용량	1661.9kW
	지열히트펌프	냉방 : 155.3kW (COP 4.1, EWT 32-12) × 10 대 난방 : 159.5kW (COP 3.5, EWT 5-40) × 10 대
	지중열교환기	수직밀폐형, 200m × 60 공(12,000m), 간격 : 6m
	지중열전도도	2.65W/m·K
냉각탑	형식	밀폐형
	용량	100 RT × 2 대
순환 펌프	지열수	511 LPM × 10 대
	냉온수	2,270 LPM × 2 대
	냉각수	1,136 LPM × 2 대

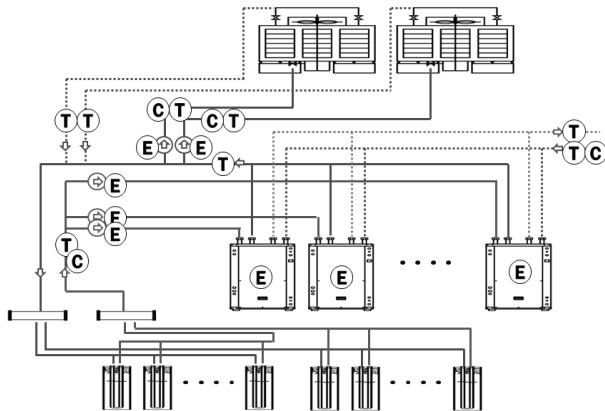


Fig. 2. System configuration and monitoring sensor location of the analyzed system

다. Table 6은 모니터링 대상 지열시스템의 개요를 정리한 것이다.

지열 냉난방시스템이 건물의 주열원이며 지하2층~지상 8층 규모의 건물 대부분을 지열이 담당하고 있고, 냉방 피크부하 처리를 위하여 2대의 냉각탑을 결합하여 운영하고 있다. 냉각탑은 지열수 환수온도 32℃ 이상이면 1대가 가동되고 지열수 환수온도 33℃ 이상이면 2대 모두 가동된다 (Fig. 2). 모니터링 측정항목은 지열수와 냉온수의 유량과 온도차, 냉각수 유량과 온도차, 히트펌프 전력소비량과 가

Table 7. Monitoring items

구분	측정 항목
지열수	유량(m ³ /h), 공급온도(℃), 환수온도(℃)
냉각수	유량(m ³ /h), 공급온도(℃), 환수온도(℃)
냉온수	유량(m ³ /h), 공급온도(℃), 환수온도(℃)
히트펌프	전력소비량(kWh), 가동시간(h)
순환수펌프	냉각수 및 지열수 펌프전력소비량(kWh)

동시간, 지열수펌프와 냉각수 펌프의 전력소비량이다(Table 7). 그림에서 ①은 온도측정, ②는 전력소비량, ③은 유량 측정 지점을 나타내고 있다.

에너지생산량은 식 (4)와 같이 온도차(공급온도와 환수 온도 차이)와 유량으로 계산하며, 하루동안의 에너지생산량을 계산하기 위해서 식 (5)를 사용하였다.

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p (T_{in} - T_{out}) \quad (4)$$

$$Q = \int_{t=0}^{t=24h} \dot{Q}(t) dt \quad (5)$$

식 (4)에서 \dot{m} (kg/sec)은 각 측정지점에서 측정한 유량, C_p (J/kgK)는 유체의 비열, T_{in} 과 T_{out} 은 각각 시스템 입출구 온도를 의미한다. \dot{Q} (kW)는 측정값으로부터 계산한 순간 에너지부하이며, 식 (5)의 Q(kWh)는 \dot{Q} (kW)를 이용하여 계산한 하루 동안의 에너지생산량을 의미한다.

4. 분석 결과

4.1 냉난방 설계부하 분석 결과

지열이용검토서에 나타난 건물의 용도별 최대 냉난방부하를 비교한 결과, 냉방부하가 난방부하에 비해 상당히 크게 나타나고 있다. 일부 업무시설을 비롯한 교육시설과 문화집회시설의 경우 냉방부하가 난방부하에 비하여 5배 이상 되는 경우도 확인되었다. 930건의 검토서 중 냉방부하가 난방부하에 비해 100~200% 인 경우가 704건으로 대부분이며 평균값은 156%로 나타났다(Table 8).

전체 930건의 지열이용검토서 중에서 145건에 대해서 건축물의 용도별 냉난방특성을 비교하여 보았다. 평균 가

동율(capacity factor; 건물의 냉난방 부하량/최대생산 가 능량)은 평균 12.4% 수준이며 냉방은 5.56%, 난방은 6.84% 로 나타났다. 사회복지시설이 18.34%로 가동율이 가장 높 고, 교육시설이 11.13%로 가장 낮게 나타났다. 대부분 난 방 가동율이 높으나 창고 등 기타시설의 경우 냉방 가동율 이 높다는 것을 확인할 수 있었다(Table 9).

지열시스템의 월간 평균가동율 또한 건물용도별로 상이

Table 8. Classification of 930 buildings according to utilization type and percentage of cooling load relative to heating load

냉방부하/난방부하	교육 시설	문화 집회	사회 복지	상업 시설	업무 시설	의료 시설	기타 시설	합계
100% 미만	29	24	3	7	30	11	3	107
100~200% 미만	150	138	26	31	327	28	4	704
200~300% 미만	25	10	1	2	53	2	1	94
300~400% 미만	1	4	-	2	7	-	-	14
400~500% 미만	-	1	-	-	4	-	-	5
500% 이상	1	1	-	-	4	-	-	6
합계(건)	206	178	30	42	425	41	8	930

Table 9. Heating and cooling capacity factors of the GSHP based on the building utilization types (unit %)

평균가동율	교육 시설	기타 시설	문화 집회	사회 복지	상업 시설	업무 시설	의료 시설	전체
냉방가동율	4.96	7.66	5.59	6.89	5.91	5.50	6.26	5.56
난방가동율	6.17	6.48	6.84	11.44	6.70	6.74	7.41	6.84
합계	11.13	14.13	12.42	18.34	12.61	12.24	13.67	12.40

Table 10. Monthly capacity factors of the GSHP according to the building utilization type

건물 구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
교육 시설	0.17	0.15	0.10	0.02	-0.03	-0.10	-0.17	-0.18	-0.10	0.02	0.12	0.16
기타 시설	0.18	0.15	0.13	0.03	-0.12	-0.17	-0.22	-0.22	-0.16	0.02	0.11	0.14
문화 집회	0.19	0.16	0.13	0.03	-0.05	-0.12	-0.19	-0.19	-0.09	0.03	0.12	0.16
사회 복지	0.30	0.27	0.21	0.11	-0.05	-0.11	-0.23	-0.23	-0.18	0.05	0.16	0.26
상업 시설	0.19	0.16	0.12	0.01	-0.03	-0.11	-0.22	-0.22	-0.11	0.03	0.12	0.16
업무 시설	0.19	0.16	0.13	0.02	-0.04	-0.12	-0.19	-0.19	-0.10	0.03	0.11	0.16
의료 시설	0.21	0.17	0.14	0.06	-0.06	-0.13	-0.21	-0.23	-0.10	0.01	0.12	0.17

하며 특히 사회복지시설의 경우 겨울철 및 여름철 이용율이 상대적으로 높게 나타나고 있음을 알 수 있었다(Table 10).

지열이용검토서의 연간 난방설계부하 및 냉방설계부하 를 기준으로, WGC 기준 및 우리나라 통계기준에 따른 난 방에너지 공급량을 비교한 결과를 Table 11에 나타내었다. 표에서 나타난 바와 같이, 우리나라 신재생에너지 통계 기 준으로 계산한 난방 지열에너지공급량은 설계 기준에 비해 평균 307%, 냉방에너지공급량은 평균 138%로 매우 높은 값을 보이고 있다. 한편, WGC(CF 6.84적용)기준으로 계 산한 난방 지열에너지공급량은 평균 91%로 나타났는데 이 는 계산에 사용한 평균 가동율 6.84보다 가동율이 높은 시 설의 수가 많기 때문이다. 이 결과로부터 우리나라의 신재 생에너지보급통계에서는 실제 난방 설계부하와 비교했을 때 난방부하가 상대적으로 매우 크게 계산되고 있음을 알 수 있다.

4.2 설비의 모니터링 결과 분석

경남 양산의 A 대학병원에 설치되어 가동중인 지열냉난 방 시스템의 모니터링 자료를 분석하였다. 모니터링 기간 은 2014년 1월 24일부터 9월 14일까지이며, 냉방부하가 난방부하에 비하여 상대적으로 크고 냉방 피크부하를 담당 하기 위해 냉각탑이 추가로 설치되어 있다. 지열에너지 생 산량 계산을 위해 시스템의 경계별, 설비별 모니터링 결과 를 분석하였다.

Fig. 3에서는 외기 평균기온과 지열원측으로부터 히트

Table 11. Calculation methods of energy production

구분	지열에너지 공급량 계산식	기준값 대비 비율
WGC Guideline (난방)	$\text{용량(kW)} \times [1 - (1/\text{COP})] \times \text{equivalent annual full load hours}$ $= \text{용량(kW)} \times [1 - (1/\text{COP})] \times \text{CF} \times 8760$ * 인증제품의 평균 난방 COP 3.7 적용	91%
한국 통계 (난방과 냉방)	$\text{용량(kW)} \times 14(\text{h/day}) \times 150(\text{day/yr}) \times 0.7(\text{이용율}) = \text{용량(kW)} \times 1,470 \text{ [난방]}$	307%
	$\text{용량(kW)} \times 8(\text{h/day}) \times 120(\text{day/yr}) \times 0.6(\text{이용율}) = \text{용량(kW)} \times 576 \text{ [냉방]}$	138%
지열이용 검토서 (난방과 냉방)	$\sum_{1\text{월}}^{12\text{월}} (\text{월간 건물의 난방부하})$	100% (난방기준)
	$\sum_{1\text{월}}^{12\text{월}} (\text{월간 건물의 냉방부하})$	100% (냉방기준)

펌프로 들어오는 온도(지열 EST)와 히트펌프를 통해 지중 열교환기 방향으로 나가는 온도(지열 LST)를 표시하였다. 5월 13일을 기점으로 난방모드에서 냉방모드로 전환하였음을 알 수 있다. 난방모드에서 지열원측의 입출구 온도차(지열 EST - 지열 LST)는 냉방모드에 비하여 상대적으로 작고, 난방모드의 지열 EST와 지열 LST 자체가 비교적 높은 것을 알 수 있다. 이는 난방부하에 비해 상대적으로 높은 냉방부하로 인한 지온상승, 냉방부하 처리에 있어 냉각탑에 의한 영향 등 다양한 해석이 가능하다. 그러나 원인에 대한 세밀한 분석을 위해서는 장기간의 관측이 선행되어야 하는 관계로 이 논문에서는 원인 분석을 생략하였다. 대신 측정 데이터를 기준으로 다양한 에너지생산량을 계산하여 비교함으로써 측정값의 오차나 해석의 오류를 가능한 배제 하려고 하였다. 즉, 지열원측의 측정값으로부터 계산한 에너지측정량(지열측정), 부하측의 측정값으로부터 계산한 에너지측정량(부하측정), 지열원측의 에너지측정량으로부터 추정된 부하측의 에너지추정량(부하추정), 부하측의 에너지측정량으로부터 추정된 지열원측의 에너지추정량(지열추정)을 계산하였다(Table 12).

Fig. 4는 Table 12를 이용하여 계산한 건물부하, 에너지생산량, 히트펌프전력소모량 등을 날짜별로 나타낸 그림(위)이다. 해당 기간 중에서 피크부하가 나타나고 있는 2월 초와 7월말을 각각 아래쪽에 확대하여 표시하였다. 대체로

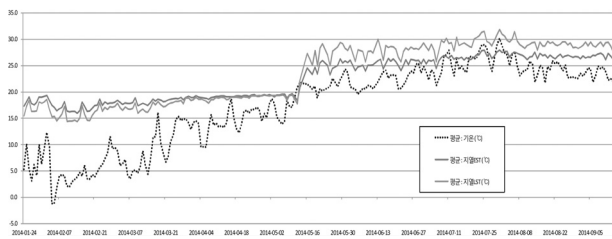


Fig. 3. Distribution of Outdoor air temperature, EST and LST

Table 12. Comparison between measured and estimated energy consumption and production

구분	난방	냉방
지열측정	G(kWh)	G(kWh)
부하측정	Q(kWh)	Q(kWh)
부하추정	$Q'(kWh) = G + E$	$Q'(kWh) = G - E$
지열추정	$G'(kWh) = Q - E$	$G'(kWh) = Q + E$
히트펌프	E(kWh)	

설계부하의 패턴에 따라 부하측의 에너지생산량(부하측정)과 지열측의 에너지생산량(지열측정), 히트펌프 전력소모량이 유사한 패턴을 보이는 것으로 확인되었다. 난방모드에서는 부하측정값과 이를 이용하여 계산한 지열추정값이 설계부하에 비해 높게 나타났고 지열측정값으로 추정된 부하추정값은 설계부하에 비해 낮게 나타났다. 냉방모드도 난방모드와 유사하게 설계부하를 중심으로 높거나 낮게 분포하고 있음을 알 수 있다. 설계부하에서 예측한 대로 여름철 냉방부하가 겨울철 난방부하에 비해 상당히 크게 나타나고 있다.

Table 13은 건물의 설계부하, 부하측에서 측정된 에너지부하(부하측정), 지열원 측에서 측정된 에너지생산량(지

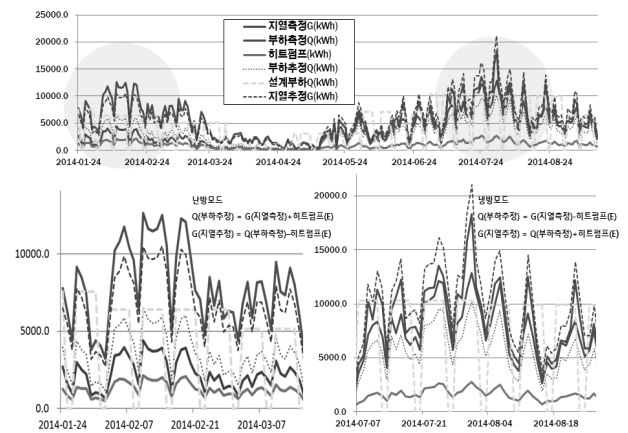


Fig. 4. Distribution of designed, measured and calculated heating and cooling loads

Table 13. Comparisons of loads and supplies of geothermal energy through GSHP

월	설계부하 (kWh)	부하측정 (kWh)	지열측정 (kWh)	순지열값 (kWh)	지열추정 (kWh)
2월 난방	128,147	248,278	74,383	74,383	208,244
3월 난방	118,341	162,219	42,659	42,659	137,226
4월 난방	24,134	50,433	7,971	7,971	42,562
5월 난방	-	9,185	1,439	1,439	7,686
5월 냉방	61,983	59,943	47,738	40,361	49,778
6월 냉방	157,828	128,289	104,556	79,755	105,622
7월 냉방	237,602	280,416	231,752	101,041	230,332
8월 냉방	227,702	224,732	195,389	104,742	181,056
합계	955,737	1,163,497	705,887	451,229	962,506
통계대비 비율	48%	59%	36%	23%	49%

열측정), 측정된 에너지생산량에서 냉각탑의 기여분을 제외한 순수한 지열에너지 계산값(순지열값) 및 부하측 측정값과 히트펌프전력으로부터 계산하여 추정된 지열에너지(지열추정)를 각각 월별로 계산하여 통계추정식으로 구한 값과 비교한 표이다. 설계부하는 통계식 기준값대비 48%로 나타났고, 부하측정값과 지열측정값은 각각 기준값 대비 59%, 36%를 보이고 있다. 냉각탑의 기여분을 제외한 순지열값이 통계식 기준값대비 23%로 가장 낮게 나타났고 부하측정값으로부터 계산한 지열추정값은 기준값 대비 49%를 보이고 있다. 모든 비교 대상이 통계식을 통해 추정된 에너지생산량에 비해 상당히 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다.

5. 토의 및 결론

지열이용검토서 930건을 대상으로 지열냉난방 설계부하 특성을 분석한 결과, 최대 냉방부하는 난방부하에 비하여 평균 156% 높게 나타났다. 특히 업무시설, 문화집회시설, 교육시설에서 최대 냉방부하와 난방부하의 편차가 컸다. 전체 930건의 설계자료 중에서 145건을 추출하여 연간 및 월간 평균 이용율을 계산하고 지열에너지 공급량 추정치를 비교한 결과, 설계자료의 난방에너지 부하에 비해 WGC 기준에 따라 계산한 지열에너지 공급량(난방)은 91%, 우리나라 통계기준에 따라 계산한 지열에너지 공급량(난방)은 307%로 매우 높게 추정됨을 알 수 있었다.

이와 같은 방식을 실제 가동중인 지열시스템의 모니터링을 통해 측정하고 계산한 지열생산량에 적용하여 비교한 결과에서도 건물의 설계부하, 부하측에서 측정된 부하측정값, 지열측에서 측정된 지열측정값 등 지열시스템의 모니터링을 통해서 측정하고 계산한 지열에너지 생산량은 통계추정식을 통해 계산한 값에 비하여 23%~59% 수준에 불과한 것으로 나타났다.

따라서 이러한 분석 결과로 부터 지열에너지 공급량에 대한 통계식의 수정이 필요함을 확인하였다. 즉, 국제적 기준에 부합하면서도 합리적이고 정확한 지열에너지 공급량을 산정하기 위해서는 건물의 용도별 냉난방 부하패턴과 이에 따른 연평균 가동율(CF)을 조사하여 적용할 필요가

있다. 이러한 통계의 개선은 신재생에너지 활용량의 정확한 산출을 통한 국가 통계의 정확성 향상 뿐만 아니라, 지열에너지 이용을 통한 화석연료 대체 효과 및 온실가스 배출 저감량을 추정하는데도 필수적인 요소이다.

References

- [1] 송윤호, 허은녕, 2010, “지열에너지자원 활용의 통계작성 및 파급효과 산출방안”, 한국지구시스템공학회지, Vol. 47, No. 2, pp. 277-282.
- [2] F. Ruiz-Calvo, C. Montagud, 2014, “Reference data sets for validating GSHP system models and analyzing performance parameters based on a five-year operation period”, *Geothermics*, 51 pp. 417-428.
- [3] EU, 2009, Official Journal of the European Union, DIRECTIVE (2009/28/EC).
- [4] A. Michopoulos, T. Zachariadis, N. Kyriakis, 2013, “Operation characteristics and experience of a ground source heat pump system with a vertical ground heat exchanger”, *Energy*, 51, pp. 349-357.
- [5] Francesco Madonna, Francesca Bazzocchi, 2013, “Annual performances of reversible air-to-water heat pumps in small residential buildings”, *Energy and Buildings*, 65, pp. 299-309.
- [6] T. Magraner, A. Montero, S. Quilis, J.F. Urchueguia, 2010, “Comparison between design and actual energy performance of a HVAC- ground coupled heat pump system in cooling and heating operation”, *Energy and Buildings*, 42, pp. 1394-1401.
- [7] 김병수, 2010, “그린스쿨 교실에 적용된 지열원 히트펌프 시스템의 냉난방에너지 성능평가분석”, 대한건축학회논문집 제26권 제2호, pp. 267-274.
- [8] 남유진, 2014, “지역 기후 특성에 따른 지열시스템의 도입 경제성 차이에 관한 연구”, *KIEAE Journal*, Vol. 14, No. 4, pp. 127-131.
- [9] 손병후, 2012, “수평형 지열히트펌프 시스템의 냉난방 성능 분석”, *설비공학논문집*, 제24권 제33호, pp. 230-239.
- [10] 손병후, 권한술, 2014, “업무용 건물의 지열 히트펌프 시스템에 대한 성능 예측”, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 26, No. 9, pp. 409-415.

- [11] 이일규, 강현욱, 원유만, 김용수, 2011, “LCC 분석을 통한 도시가스와의 지열 냉난방설비의 경제성 평가”, 대한건축학회논문집, 제27권, 제10호, pp. 161-168.
- [12] 장재철, 김지영, 박성룡, 나호상, 이의준, 2011, “지열히트펌프의 성능 확인을 위한 실험적 연구 및 냉방에너지 분석에 관한 연구”, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 473-476.
- [13] 황광일, 김중언, 신승호, 2009, “연구·사무용 건물에 적용된 수직형 지열 냉난방시스템의 계절별 성능평가”, 대한건축학회논문집, 제25권, pp. 345-352.
- [14] 홍부표, 최광환, 2014, “물 대 물 방식 수직 밀폐루프 지열원 히트펌프 시스템의 냉방성능에 대한 실험적 연구”, 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 34, No. 1, pp. 58-63.
- [15] EPA Website (http://www.epa.gov/region1/eco/energy/re_geothermal.html)
- [16] John W. Lund, Derek H. Freeston, Tonya L. Boyd, 2011, “Direct utilization of geothermal energy 2010 worldwide review”, Geothermics, 40, pp. 159-180.
- [17] 산업통상자원부, 2014.1, 제2차 에너지기본계획.
- [18] 산업통상자원부, 2014.9, 제4차 신·재생에너지 기본계획.
- [19] 에너지관리공단, 2014.11, 2013년 신·재생에너지 보급 통계.
- [20] EU, 2013, Official Journal of the European Union, DECISION (2013/114/EU).