

사무시설에 수직형 지열원 냉·난방시스템의 경제성을 고려한 인입온도(EWT)에 관한 연구

이 병 두, 이 대 우^{*†}, 이 세 진^{*}

(주)현대건설 기술연구소 에너지부 주임연구원, ^{*} 책임연구원, [†] 선임연구원

A Study on Entering Water Temperature in Vertical Closed Ground Loop System Considering the Economical Feasibility in Load of the Office Building

Byung-Doo Lee, Dae-Woo Lee^{*†}, Se Jin Lee^{*}

Energy Department, Hyundai Institute of Construction Technology Development
Research engineer, ^{*†} General manager, ^{*}Senior research Engineer

(Received May 15, 2009)

ABSTRACT: Recently, Vertical-Closed Loop system using geothermal which is the most efficient among the building cooling and heating systems is coming into wide spread due to assistance of domestic policies. However, there is a limitation that a design of ground heat exchanger taking 60% of construction cost is done by GLD and GLHEPRO programs without specific guidelines and consideration on Entering Water Temperature(EWT). For getting an optimal EWT, we analyzed the costs for construction of ground heat exchanger and cooling and heating for 15 years. In the results, reduction of construction costs as the length of ground heat exchanger shortens was much greater than increase of the electrical power consumption as COP gets low. EWT that COP of heat pump can be 3.76 or above was below 31°C in cooling and was over 5°C in heating.

Key words: EWT(Entering Water Temperature, 인입온도), Ground heat exchanger(지중열교환기), Cooling and heating system(냉·난방시스템), Life cycle cost(유지비용), Vertical Closed ground loop(수직밀폐형 지중열교환기)

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

우리나라는 에너지에 대한 해외의존도가 다른 어느 나라 보다 높아 97%⁽¹⁾에 달하고 있다. 따라서, 에너지자원을 확보하는 것이 미래의 성장 동력을 확보하는 것이라는 판단아래 신·재생에너지 자원 개발에 박차를 가하고 있다. 한편 조사에 따르면 우리나라의 총 에너지 사용량의 약

30%⁽²⁾정도가 건물부분에서의 소비량이며 이 중 대부분이 냉·난방에 사용되고 있다. 따라서 건물의 냉·난방에 사용되는 에너지소비를 줄이는 것이 에너지절감을 위한 최우선 과제가 될 수 있다.

미국 환경보호청의 조사결과에 따르면 지열을 이용한 냉·난방시스템이 모든 냉·난방시스템 중에서 가장 효율이 높은 시스템으로 보고되고 있다. 그에 따라 지열을 이용한 냉·난방시스템은 최근 국내에서도 활발히 도입되고 있지만 공공건물이 아닌 곳에서는 초기투자비용으로 인해 도입에 차질이 있는 것이 사실이다. 지열원 냉·난방시스템의 공사비에서 지중열교환기 설치부분이 총 공사비의 60%⁽³⁾이상을 차지하고 있다. 현재 국내에서 지중열교환기의 설계는 상용 프로그램인

† Corresponding author

Tel.: +82-31-280-7351; fax: +82-31-280-7070
E-mail address: dwlee@HDEC.co.kr

GLD⁽¹⁵⁾와 GLHEPRO⁽¹⁴⁾가 대표적으로 사용되고 있으나, 지중열교환기의 길이에 가장 큰 영향을 미치는 EWT에 대한 심도 있는 고려 없이 설계에 활용되기도 한다. 따라서 설계자가 프로그램에 입력한 값에 따라 지중열교환기 길이는 달라지고 과잉설계가 되는 경우도 빈번히 발생한다.

본 연구에서는 사무소건물에서 지열원 냉·난방 시스템의 장기성능(15년간)을 고려한 최적의 EWT를 도출하여 수직밀폐형 지중열교환기 설계 가이드를 제시하고자 한다.

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구는 중규모의(건물면적:1,553m²) 사무소 건물을 대상으로 DesignBuilder⁽¹¹⁾의 부하 시뮬레이션 프로그램을 통해 월별, 일별 부하를 구하였다. 이 부하 값을 기준으로 GLD⁽¹⁵⁾와 GLHEPRO⁽¹⁴⁾ 프로그램을 통해 전체적으로 필요한 수직밀폐형 열교환기 길이를 EWT변화에 따라 산정하였다. 또한 건물의 부하 값을 기준으로 공기열원 Heat Pump와 지열원 Heat Pump의 에너지 사용량을 비교하였다. 상기의 결과 값과 지열원 냉·난방시스템 설치비용을 계산한 후, 15년 동안의 사무소건물의 냉·난방 비용을 산출하여 가장 최적의 에너지비용 결과 값이 나오는 EWT를 도출하였다.

2. 이론적 배경

2.1 지열원 냉·난방시스템

지열원 냉·난방시스템은 크게 지중열교환기(Ground heat exchanger)와 Heat pump로 구성된다. 여기서 Heat pump는 냉방과 난방을 할 수 있는 기기로서 열원으로 지중을 이용하기 때문에 지열원 열펌프(Geothermal heat pump)라고 불린다. 지열원을 이용한 냉·난방시스템은 Fig. 1과 같다. 지열원 Heat pump 시스템은 성능면에서 상용 공기열원 Heat pump 시스템보다 우수한 것으로 알려져 있다.

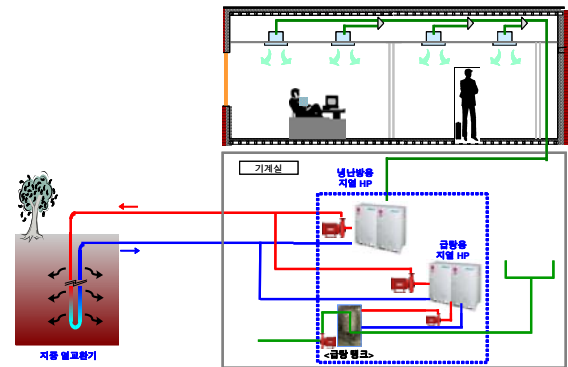


Fig. 1 Schematic flow of geothermal cooling & heating system and water heater

이는 열원의 역할을 하는 지중의 연중 온도 변화가 외기의 변화보다 상대적으로 안정적이기 때문이다. 아울러 대기 중에 노출되는 설비장치가 없어 공간 활용 측면에서도 탁월하기 때문에 최근 들어 많은 관심을 받고 있다. 하지만 시스템의 초기 투자비가 기존 설비보다 다소 큰 것이 단점이기도 하다.

2.2 지중 열교환기 설계 프로그램

지열원 Heat pump 시스템의 지중 열교환기 설계 프로그램은 세계적으로 10여개 이상 개발되어 있으나 주로 사용되는 프로그램은 다음과 같다.

Table. 1 Comparison of design program for ground heat exchanger⁽¹⁰⁾

Software	Source	Theory	Features
EED	Lunduniv., EU	Numerical solution (g-function)	-Fixed borehole geometry (gfunction) -Interpolation between borehole geometry -Calculation by base load and monthly peak -Calculation circulation water temperature -Consideration of thermal interference and long term Heat buildup
GLHEPRO	IGSHPA, USA		
GchpCalc4.1	Energy information service, USA	Cylindrical source solution (Ingersoll, Kavanauif)	-Consideration of thermal interference and long term Heat buildup -Cyclic load pulse -Calculation of soil temperature change
GLD	Gaia Geothermal, USA		

2.3 EWT (Entering Water Temperature)

EWT는 지중열교환기를 통한 유체(물+부동액)가 Heat pump의 열교환기에 인입되는 온도를 의미한다. 미국의 경우 Alabama 대학과 Oklahoma 대학의 EWT기준이 있으며, Alabama 대학의 기준은 지중온도에 따라 여름철과 겨울철 최고·최저 온도가 결정되며 Oklahoma 대학의 경우 외기

온도에 따라 최고·최저 온도가 결정된다⁽⁶⁾. 이러한 EWT에 따라 지중열교환기 길이는 큰 폭으로 변한다. Fig. 2는 냉·난방 Peak 부하 10.5kW, 유량 34LPM, 지중온도 15도, 열전도도 2.44W/m·K의 조건하에서 GLD 프로그램으로 EWT의 변화에 따른 냉·난방시 필요한 수직밀폐형 지중열교환기 길이를 표현한 것이다. 즉, 지중온도와 ΔT가 크면 클수록 지중과 열교환이 많아져 길이는 짧아지는 것을 볼 수 있다.

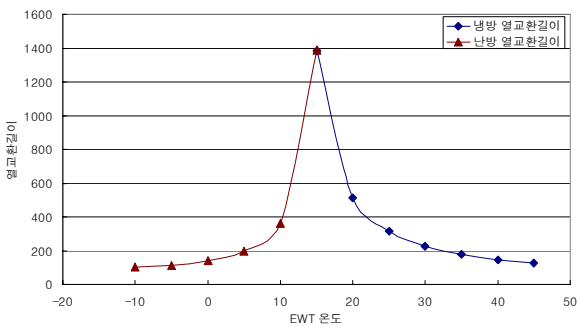


Fig. 2 Length of heat exchanger in accordance with EWT(GLD used)

3. 해석대상 부하모델링 및 결과

3.1 부하모델 선정 및 설계 조건

본 논문에서는 이론적인 값들과 해석에 대한 접근성이 쉬운 건물로 인천의 00단지 내에 있는 사무소건물의 기준층 한 층(1,553m²)을 대상으로 시뮬레이션 하였다.

Table. 2 Conditions for simulation

최고온도	32.7°C, 7/23, PM 3:00	
최저온도	-11.8°C 12/6. PM 6:00	
건구온도(여름/겨울)	26°C/20°C	
상대습도(여름/겨울)	50%/-	
전등/장비부하	25watt/m ²	
인체 부하	현열	54kcal/h
	잠열	59kcal/h
부하가동시간	월~토요일, 08:00~18:00	

이 건물의 해석은 Energy Plus 시뮬레이션 엔진을 이용하는 Design Builder⁽¹¹⁾ 프로그램을 이용하여 시간별 부하계산을 하였다. 해당건물의 설계조건은 일반적으로 설비설계사무소에서 사용하는 기준으로 하였으며 기상자료는 한국의 인천

지역 Energy Plus epw 포맷의 시간별 기상자료를 사용하였다. 환기량과 침입 외기량은 건물 Zone별로 별도로 설정하지 않고 환기량은 시간당 3회, 침입 외기량은 0.7로 결정하였다.

3.2 부하모델 해석 결과

이상의 기본적인 조건들로 1시간 간격으로 시뮬레이션 분석을 수행한 결과는 다음과 같다.

Table. 3 Monthly cooling & heating load

	냉방 부하 (kWh)	Peak 냉방 부하 (kW)	난방 부하 (kWh)	Peak 난방 부하 (kW)
1월	0	0	25,219	157
2월	0	0	21,778	158
3월	100	19	9,098	122
4월	2,493	60	8,307	91
5월	7,717	73	153	24
6월	16,371	124	0	0
7월	21,093	133	0	0
8월	23,486	133	0	0
9월	15,354	110	0	0
10월	6,367	76	541	76
11월	595	39	6,882	118
12월	0	0	18,615	157

4. 지열원 성능 시뮬레이션 해석

4.1 EWT에 따른 Heat pump COP분석

Heat pump 주요 제조업체의 물대공기 제품 기술데이터를 근거로 EWT별 COP를 분석하였다. 모든 제품군들의 유량(gpm) 및 공기량(CFM)은 각 제조사에서 표준으로 정하는 값을 기준으로 하였다. 선정된 제품은 Table. 4와 같고, 분석결과는 Fig. 3, 4와 같다.

Table. 4 geothermal heat pumps (water to air)

제조사	모델명	유량 (GPM)	풍량 (CFM)	비고
Trane	GEH/V_024	4.8	700	Heating DB 70F Cooling DB 80F Cooling WB 67F
Addison	VY012	2.5	400	
LG전자	LRG-N2901D	25.36 (96 lpm)	-	Heating 20 °C Cooling WB 19°C
Water Furnace	NS022	4.5	700	Heating DB 70F Cooling DB 80F Cooling WB 67F
Florida Heatpump	EC018	5	650	
Econar	GV 180/181	2~4	625	
Climate Master	GLH096	18	3200	

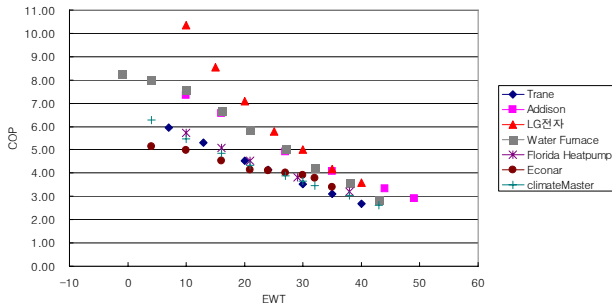


Fig. 3 EWT-cooling COP graph of major manufacturers

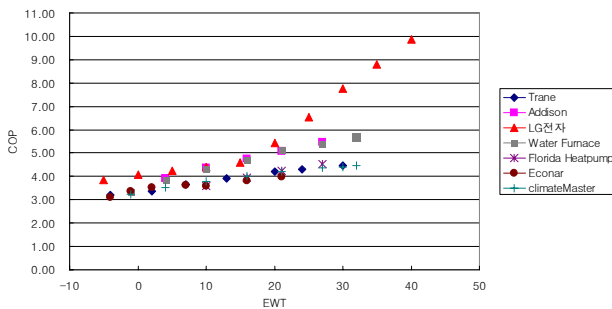


Fig. 4 EWT-heating COP graph of major manufacturers

LG전자⁽¹⁷⁾와 Climate Master⁽¹⁸⁾ 제품의 규격은 상업용으로 약 8RT이고 그 외의 제품군⁽¹³⁻¹⁵⁾은 주거용으로 1RT~2RT이다. 전체적으로 Heat pump로의 EWT가 낮아짐에 따라 COP는 증가하는 것을 알 수 있으며 대체적으로 같은 기울기 형태를 가지나 LG전자의 제품은 다른 제품군들과 달리 온도가 낮거나 높아짐에 따라 급격히 COP가 증가하는 형태를 볼 수 있다. LG전자 제품의 경우 다른 제조사의 제품들과 달리 멀티형의 형태라서 다른 특성을 가질 가능성이 있는 것으로 판단된다.

4.2 EWT에 따른 지중열교환기 설계

상기의 Table. 3의 부하결과를 가지고 GLD와 GLHEPRO 프로그램을 이용하여 지중열교환기 길이를 산출하였다. 계산을 위한 조건은 Fig. 5, 6과 같다. 시추공의 열저항 값은 기반암조건이 유사한 3곳의 지중열 응답시험자료의 평균값인 0.111 m·K/W를 사용하였다.

적용된 Heat pump는 Fig. 3, 4에서 분석된 자료의 평균을 나타내는 Addison사의 제품

Vertical 072 model(6RT급)⁽¹⁶⁾을 사용하였다.

Input Parameters					
Fluid		Soil			
Flow Rate:	11.4 (L/min)/3.5kW	Ground Temperature:	15.0 °C		
Fluid:	10% Ethanol	Thermal Conductivity:	2.44 W/(m·K)		
Specific Heat (Cp):	4.184 kJ/(K·kg)	Thermal Diffusivity:	0.055 m ² /day		
Density (rho):	999.6 kg/m ³				
Piping					
Pipe Type:	1 1/4 in. (32 mm)	Radial Pipe Placement:	Average		
Flow Type:	Turbulent - SDR11	Borehole Diameter:	150.1 mm		
Pipe Resistance:	0.060 m ² /K/W	Grout Thermal Conductivity:	2.50 W/(m·K)		
U-Tube Configuration:	Single	Borehole Thermal Resistance:	0.111 m ² /K/W		
Pattern		Modeling Time Period		Extra kW	
Vertical Grid Arrangement:	20 x 1	Prediction Time:	15.0 years	Pump Power:	3.0 kW
Borehole Separation:	5.0 m	Long Term Soil Temperatures:		Cooling Tower Pump:	0.0 kW
Boreholes per Parallel Circuit:	1	Cooling:	15.3 °C	Cooling Tower Fan:	0.0 kW
Fixed Length Mode:	Off	Heating:	15.5 °C	Additional Power:	0.0 kW
Heat Pumps			Optional Boiler/Cooling Tower		
Manufacturer:	Addison		Tower	Boiler	
Series:	Vertical 1-6 Ton, VGY	Load Balance:	0 %	0 %	
Design Heat Pump Inlet Load Temperatures:		Capacity (kW):	0.0	0.0	
		Cooling Tower Flow Rate (L/min):	0.0		
		Cooling Range (°C):	6.0		
Water to Air:	19.4 °C	Annual Operating Hours (hr/yr):	0		
Water to Water:	12.8 °C				

Fig. 5 Input data for GLD

Borehole Diameter: 150 mm

Borehole Thermal Resistance: 0.111 K/(W/m)

Borehole Spacing: 5 m

Borehole Geometry: RECTANGULAR CONFIGURATION 20 : 2 x 10, rectangle

Ground Parameters

Soil type currently entered:

Thermal Conductivity of the ground: 2.440 W/(m·K)

Volumetric heat capacity of the ground: 2160 kJ/(K·m³)

Undisturbed ground temperature: 15 °C

Fluid Parameters

Total flow rate for entire system: 7.83 L/s

Average Temperature: 20°C

Fluid Type: Ethanol / Water

Fluid Concentration: 10%

Freezing Point °C	Density kg/m ³	Volumetric Heat Capacity kJ/(m ³ ·K)	Conductivity W/(m·K)	Viscosity Pa·s
-4.073	985.7	4242	0.5320	0.001725

Heat Pump

Heat Pump Selected: Addison VY072@12/15GPM_2300CFM

Fig. 6 Input data for GLHEPRO

Table. 5 Geothermal Heat pump

구분	건물 부하	Heat pump			
		용량	유량	필요대수	필요유량
냉방	133kW	21kW	63.75L PM	8대	510 LPM
난방	158kW				

GLD와 GLHEPRO 프로그램의 수직밀폐형 지중열교환기 설계 결과는 Fig. 7과 같다. GLD의 경우 여름철 2,878m, 겨울철 1,844m가 필요하며, GLHEPRO의 경우 냉방과 난방중 최대 길이로 표현되어 2,996m로서 난방의 길이를 의미한다. 이 둘의 길이차이는 118m로서 GLD 대비 약 4%의 오차로 그 차이는 미미한 것으로 나타난다. 따라서 이후 검토는 GLD를 이용하여 수행하였다.

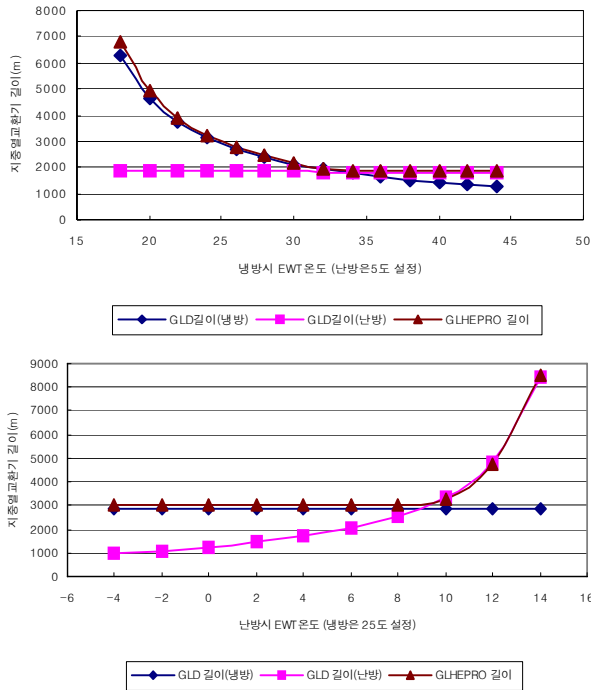


Fig. 7 Comparison of length in accordance with EWT change in cooling & heating for GLD and GLHEPRO

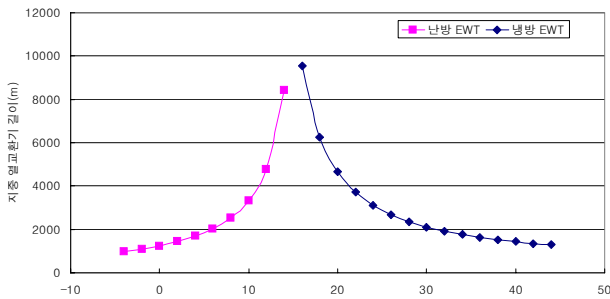


Fig. 8 Length of GHEX in accordance with cooling & heating EWT (GLD used)

4.3 EWT에 따른 System 성능 검토 결과

EWT의 변화에 따른 지중열교환기 길이, 전력 소비량, COP, System COP(펌프 전력소비량 포함)을 검토 하기위해 다음과 같이 EWT를 A~H 까지 8 Case로 분석하였다.

Table. 6 Set-condition of EWT by case

Case	A	B	C	D	E	F	G	H
냉방온도	20	24	27	31	35	38	41	49
난방온도	12	9	7	5	3	2	0	-2

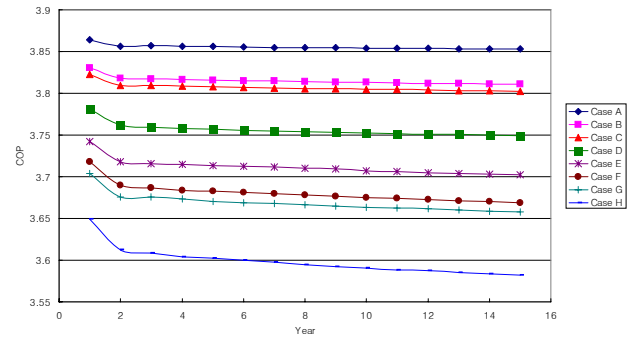


Fig. 9 System COP by case (GLD used)

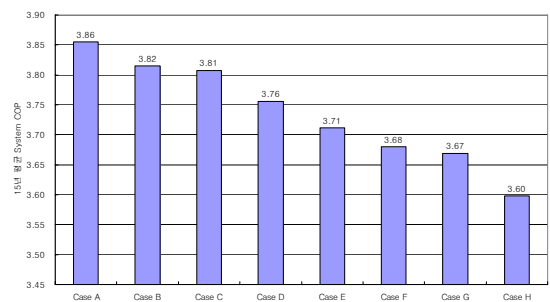


Fig. 10 15-year average system COP by case

4.4 경제성 분석

EWT에 따른 소비전력, 지중열교환기 길이, 시공비에 의한 15년간 유지비용을 산출하였다 (일반용 단가 95.3원⁽⁷⁾, 2008. 12. 31, 기준으로 물가 상승률 5% 적용). 시공비의 경우 지중 열교환기의 길이별 시공비를 산출하기 위해 4군데 지열 현장의 검토결과를 토대로 회귀방정식을 도출 하였다. 시공비는 지열원 Heat pump 및 설치비용을 제외한 금액으로 산정하였으며 현장별 지중열교환기 길이는 상이하겠지만 1RT 당 50m 기준으로 하였다.

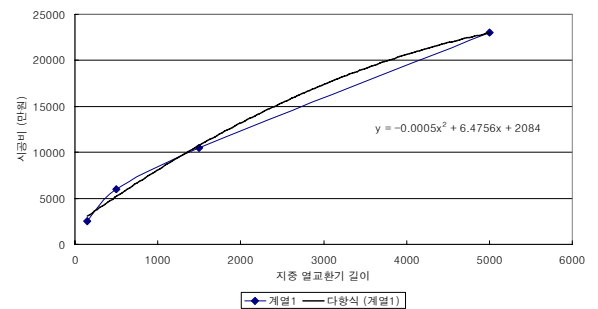


Fig. 11 Construction cost in accordance with length of ground heat exchanger

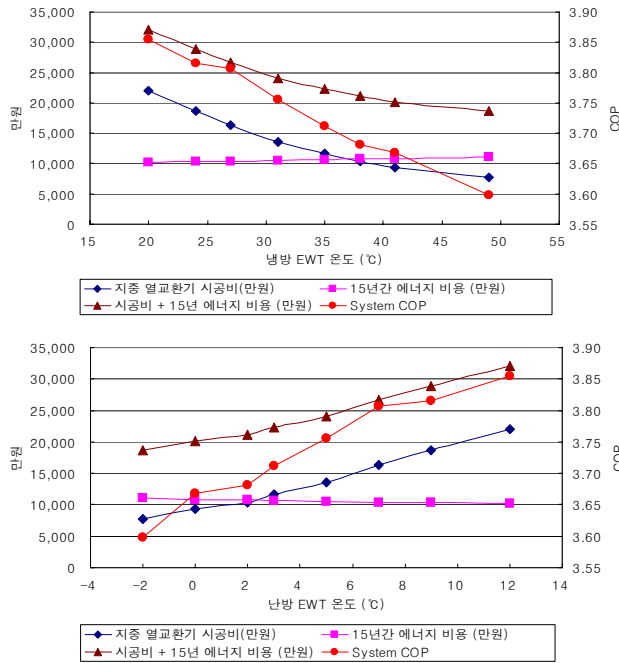


Fig. 12 Construction cost, 15-year energy cost and COP in accordance with EWT

분석 결과 Fig. 12와 같이 EWT에 따른 시공비는 Case A(20, 12°C)의 경우 21,962만원, Case H(49, -2°C)의 경우 7,674만원으로 286%의 큰 차이가 발생하나, 15년 에너지 비용은 Case A의 경우 10,193만원, Case H의 경우에는 11,011만원으로 8%의 미소한 차이가 나타난다. 또한 EWT에 따라서 COP 차이는 0.26을 나타낸다. 결국 지열원 Heat pump의 설계시 COP를 높게 하기 위해 EWT를 지중온도(15~16°C)에 근접하게 설계하는 것은 초기설치비가 증가하게 되어 효율적이지 않으며, 지중온도와 차이가 많이 나게 하는 것은 지열원 Heat pump의 성능 및 운전가능 범위를 벗어날 수 있다. 이에 따라 최소 COP를 결정하기 위해, 공기열원 Daikin (社)의 멀티에어컨⁽¹⁹⁾을 같은 조건으로 평가해 보았으며 그 결과를 Table. 7에 나타냈다.

Table. 7 Result of 15-year average system COP for air-sourced heat pump

냉방부하 (kWh)	난방부하 (kWh)	냉방소비 전력(kWh)	난방소비 전력(kWh)
1,403,625	1,358,915	334,714	400,809
냉방 COP	난방 COP	System COP	
4.19	3.39	3.76	

15년의 부하가 일정하다고 할 경우 지열원 Heat pump는 최소한 공기열원 Heat pump의 성능 이상을 나타내어야 하므로, Fig. 9, 10에 의해 최소의 냉방 EWT는 31°C 이하, 난방 EWT는 5°C 이상으로 설정해야 하며 동일한 지중열교환기 값을 얻기 위한 EWT의 관계는 식(1)과 같이 표현된다.

$$y = -16.128\ln(x) + 60.342 \quad (1)$$

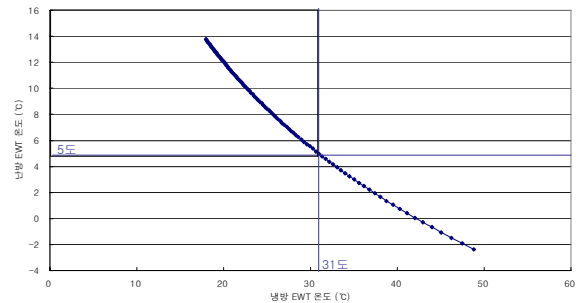


Fig. 13 Range of optimal EWT

5. 결론

본 연구에서는 EWT에 따른 지중열교환기 길이, 그에 따른 소비전력, COP의 성능평가를 수행하였고 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

1) 지중열교환기 프로그램 GLD와 GLHEPRO의 설계편차는 4% 이내로 프로그램 상의 해석 차이는 없는 것으로 나타났다 (Fig. 7 참조)

2) 지열원 Heat pump(물대공기)의 EWT에 따른 COP는 EWT가 낮아수록 COP는 냉방의 경우 증가하고, 난방의 경우 낮아지며, 지중온도인 15~16°C일 경우 COP는 냉방의 경우 5~6.8정도이며, 난방의 경우 3.8~4.8정도이다. (단, LG전자 제품 제외)(Fig. 3, 4 참조)

3) EWT 변화에 따른 Heat pump의 성능해석 결과, 냉방과 난방의 소비전력과 COP는 지중온도(15°C 설정)에 가깝게 EWT를 설정한 경우 해가 지남에 따라 연중 일정한 소비전력과 COP를 유지하나 지중온도와 ΔT를 크게 설정할수록 냉방소비전력은 해가 지남에 따라 크게 증가하며 난방소비전력은 감소하여 COP의 값은 크게 변하지 않는 것을 알 수 있다.

4) 15년 장기운전을 고려한 시뮬레이션 결과, EWT를 지중온도에 가깝게 설계한 경우 COP의 향상보다는 지중열교환기의 길이에 따른 시공비가 훨씬 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있으며 가급적 지중온도(15°C)에서 ΔT 를 크게 설정하여 지중열교환기 길이를 짧게 설계하는 것이 유리함을 알 수 있다. 그렇다고 제조사에서 제시하는 운전가능 EWT로 설계하여 COP가 너무 낮아지게 설계하는 것은 지열원을 이용하는 의미를 상실할 수 있으므로 공기열원 Heat pump의 COP 이상으로 설계하는 것이 필요하다. 본 논문의 결과로는 중규모의 사무용 건물에 대해 냉방 EWT 31°C 이하, 난방 EWT 5°C 이상의 값이 도출 되었다.

국내에서는 아직 지중열교환기 설계에 대한 EWT 기준없이 Heat pump 인증기준인 냉방 EWT 25°C, 난방 EWT 5°C⁽⁶⁾를 그대로 적용하는 경우를 심심찮게 찾아볼 수 있다. 이번 연구결과와 향후 실측을 통해 얻은 결과들과 비교검토를 수행할 것이며, 이에 따른 타당성 검증은 토대로 현장의 부하, 적용되는 Heat pump의 종류에 따른 적절한 EWT에 의해 경제성 있는 지중열교환기 설계가 이루어지길 바라며 향후에는 장기적인 운전성능평가를 토대로 적절한 EWT 기준이 마련되어야 할 것이다.

참고 문헌

1. 인수위, 2008, 기후변화 위기를 경제성장의 기회로, 기후변화 에너지 대책 보고자료.
2. Park, C. J., 2004, A Study on Cooling Load Saving in School Building Using Geothermal Energy, Dong Eui University, Busan, Korea
3. LG Electronics Inc., 2009, Geothermal Economical Comparison Data
4. 강신영, 최종민, 손병후, 2009, 지열원 열펌프 시스템의 종류 및 설치사례, 설비저널, Vol. 38, No. 1, pp 18-27.
5. 신재생에너지 설비심사기준 NR-GT 101, NR-GT 102.
6. 한정상, 한규상, 한혁상, 한찬, 2005, 지열히트 펌프 냉·난방 시스템, 한림원.
7. KEPCO, 2009, 간추려 본 한국전력, pp 34
8. 에너지관리공단 신·재생에너지센터, 2008, RD&D 전략 2030 시리즈 지열, 북스힐, 서울
9. 신승호, 김중현, 황광일, 2008, 누리꿈스퀘어 건물에 적용된 400RT 수직형 지열시스템 하절기 성능평가, 2008 한국지열에너지학회 학술강연회 자료집, pp 18-26.
10. Research Institute of Industrial Science & Technology, 2007, Development of Design Package for Ground Loop Heat Exchanger of Ground Source Heat Pump System.
11. Design Builder Software Ltd., Design Builder Version 1.8.1.001
12. Hellstrom, G., and Sanner, B., 2001, PC-program and modeling for borehole heat exchanger design, Proceedings, International Geothermal Days Germany 2001, Bad Urach, pp. 35-44.
13. WaterFurnace, 2008, Envision series outdoor split specification catalog, WaterFurnace International Inc..
14. International Ground Source Heat Pump Association, GLHEPRO 4.0 Program for windows.
15. Gaia Geothermal, 2007, Ground Loop Design Geothermal Design Program.
16. Addison, 2008, Vertical Series Water Source Heat Pump System Specification, Addison.
17. LG Electronics Inc., 2009, LRG-N2901 Heat Pump System Specification, LG Electronics.
18. ClimateMaster, 2007, Water-source heating and cooling systems; Genesis Large (GL) Series, ClimateMaster.
19. Daikin, Technical data VRV II System RXYQ-M7W1B VRV II Inverter heat pump, pp 26-92.
20. Kavanaugh S. P., and Rafferty K. D., 1997, Design of geothermal system for commercial and institutional buildings, ASHRAE, Atlanta.
21. Oklahoma State University, 1988, Closed-loop/ground-source heat pump systems installation guide, International Ground Source Heat Pump Association, Stillwater, pp 63-101.