일반원고

지열원 히트펌프 시스템 사전 성능 예측 및 사후 성능 검증 기술

이 의 준
한국에너지기술연구원 지열에너지연구센터

1. 서 론

오늘날 세계는 화석연료의 사용으로 인한 지구 온난화문제를 해결하기 위해 대체에너지 개발이 시급한 과제로 대두되고 있다. 우리나라 또한 정책적으로 다각적인 방안을 마련하고 있으며 대표적으로 태양열, 태양광, 풍력, 지열 등 각종 신재생에너지의 개발에 많은 투자가 이루어지고 있다. 그 중에서도 지열 에너지는 건물의 냉·난방에너지원으로 효과적으로 활용 될 수 있는 에너지원으로서 주목을 받고 있다. 또한 지열 에너지를 열원으로 하는 지열원 열펌프 시스템은 기존의 냉난방 시스템보다 에너지소비량이 적고 공기열원보다 안정적인 지열을 열원으로 다른 열원을 사용하는 열펌프 시스템에 비하여 효율이 높은 시스템이다.

지열원 열펌프(GSHP, Ground Source Heat Pump) 시스템은 주거 및 비주거 시설의 난방과 냉방을 위해 지하 50m 이하 약 15℃의 연중 일정한 열을 상대적으로 활용하여 냉난방에 이용한다. 지하열원 시스템과 대기열원 시스템을 비교하였을 때 나타나는 장점 중 첫 번째는 지하 환경이 대기환경 보다 안정적인 온도범위를 가지고 있다. 이러한 지하열원을 사용하는데 드는 비용은 때때로 높은 초기비용을 요구하지만 효과적인 설계를 통해 운영·유지보수 비용을 줄임으로써 전주기 비용(Life Cycle Cost)이 저감될 수 있다. 미국을 비롯한 여러 선진국에서는 이러한 지열원 열펌프 시스템의 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 미국의 경우 GHPC(Ground Heat Pump Consortium)와 IGSHPA (International Ground Source Heat Pump Association) 등의 단체를 중심으로 한 연구단체와 여러 기업을 중심으로 많은 발전을 거듭하고 있다. 또한 미국 정부 기관인 환경보호국에서는 지열원 열펌프의 장려 및 객관적 평가를 위해 에너지 스타 등급제를 시행함으로써 지열에너지 보급을 활발하게 장려하고 있다. 그러나 성공적인 보급을 위해 신뢰성 있고 정확한 에너지 저감 성능예측 및 검증이 가능하고 사용상의 편리함을 갖춘 지열원 열펌프시스템 성능 예측 도구의 보완이 필요하고 또한 높은 초기비용으로 인한 투자회수기간의 장기화와 지열보급과 관련한 제도정비 보완이 필요하다. 시스템의 신뢰성 높은 보급 확대를 위해서는 시스템의 통합 설계와 평가기술 및 제도의 확충이 매우 필요하다. 본고에서는 최근 국제적으로 이 분야에서 범용적으로 사용되는 성능 예측 기술중 의 하나인 RETScreen 과 국제 표준 성능 확인 기술 IPMVP(International Performance Measurement Verification Protocol)를 살펴보도록 한다.

2. 지열원 히트펌프 시스템 성능 예측 기술

신재생에너지 사업 초기 타당성 평가용 여러 도구 중에서 사업 초기 효과적으로 사용할 수 있는 도구중 하나는 RETScreen 이다. RETScreen은 캐나다에서 개발된 프로그램으로 간단하게 정의한다면, 지속가능한 에너지기술(RET : Renewable Energy Technology)프로젝트나, 신재생에너지를 에너지원으로 하는 특정 요소 기술 설비의 시행

타당성 분석을 위한 사업 예비 가능성 평가를 주목적으로 사용되는 시스템 평가 도구이다.

RETScreen은 캐나다의 정부기관과 해당 관련 산업체의 전문가들로 구성된 CEDRL(CANMET Energy Diversification Research Laboratory)에 의해 개발되었으며 국내기후 및 시스템 등에 관한 연구는 KIER에서 수행하였다. RETScreen은 다양한 신재생에너지 이용 요소기술 설비개발 및 보급 프로젝트를 통하여 검증된 프로그램으로써, 신재생에너지관련 프로젝트의 표준 통합 분석용 도구라 할 수 있다. 이렇게 구성된 RET Screen 프로그램은 Excel 프로그램을 기초로 제작되어 있으며 시스템 성능평가 과정은 크게 네 단계(① 에너지 모델단계, ② 비용 모델단계, ③ GHG 분석단계, ④ LCC 분석단계)로 구분하여 진행되도록 이루어져 있는데 각 단계마다 독립적인 Worksheet로 구성되어져 있다.

그림 1은 ENERGY MODEL Worksheet로 신재생에너지 시스템을 적용하고자 하는 건물에 대한 정보 입력과 에너지 시스템의 정보 입력을 통한 연간에너지 절감량을 계산하는데 이용된다. 시스템의 성능에 대한 정량적인 결과를 얻어내기 위해서는 Ground Heat Source Worksheet에서 지중열교환기의 설치면적, 그 지역의 토양성분, HVAC 시스템 사용여부 및 계절적 효율, 열교환기 타입 및 배치, 그리고 열펌프의 냉난방 효율을

RETScreen® Energy Model - Ground-Source Heat Pump Project — Training & Support

Site Conditions		Estimate	Notes/Range
Project name		공동주택용 지열 냉난방 시스템	See Online Manual
Project location		대전, 한국	
Available land area	m²	35,000	
Soil type	-	Light soil - damp	
Design heating load	kW	1,064.0	→ Complete H&CLC sheet
Design cooling load	kW	1,449.2	

System Characteristics		Estimate	Notes/Range
Base Case HVAC System			
Building has air-conditioning?	yes/no	No	
Heating fuel type	-	**Natural gas**	
Heating system seasonal efficiency	%	75%	55% to 350%
Air-conditioner seasonal COP	-	3.5	2.4 to 5.0
Ground Heat Exchanger System			
System type	-	Vertical closed-loop	
Design criteria	-	Heating	
Typical land area required	m²	8,464	
Ground heat exchanger layout	-	Standard	
Total borehole length	m	29,020	
Heat Pump System			
Average heat pump efficiency	-	Medium	
Standard cooling COP	-	4.50	
Standard heating COP	-	3.20	
Total standard heating capacity	kW	1,096.7	
	ton (cooling)	311.9	
Total standard cooling capacity	kW	1,406.4	
	ton (cooling)	400.0	
Supplemental Heating and Heat Rejection System			
Suggested supplemental heating capacity	kW	0.0	
	million Btu/h	0.000	
Suggested supplemental heat rejection	kW	713.0	
	million Btu/h	2.433	

Annual Energy Production		Estimate	Notes/Range
Heating			
Electricity used	MWh	490.0	
Supplemental energy delivered	MWh	0.0	
GSHP heating energy delivered	MWh	**1,007.9**	
	million Btu	3,438.8	
Seasonal heating COP	-	2.1	2.0 to 5.0
Cooling			
Electricity used	MWh	575.6	
GSHP cooling energy delivered	MWh	**2,137.9**	
	million Btu	7,294.4	
Seasonal cooling COP	-	3.7	2.0 to 5.5
Seasonal cooling EER	(Btu/h)/W	12.7	7.0 to 19.0

[그림 1] Energy Modeling Worksheet

입력해야 해야 한다. 기상요소에 대한 신뢰성이 확보된 데이터를 입력하기 위해서는 선 처리 과정을 필요로 하는데 이런 표준화 데이터는 NASA에서 제공하는 월일평균데이터 혹은 국내 데이터를 사용한다. 실제 건물의 설계 초기단계에서 현장 기상 자료, 건물 열성능 자료 및 열펌프 및 지중열교환 정보를 활용하여 건물과 GSHP를 포함한 여러 시스템을 통합적으로 모델링하고 시뮬레이션을 수행함으로서 건물의 에너지사용량 및 비용을 사전 예측하고 그 성능을 분석할 수 있다. RETScreen 개발자들은 2008년 version에는 SCW(Standing Column Well) system도 모델링이 가능한 것으로 주장하고 있다..

표 1은 국외사례로서 캐나다 각 도시의 실제 모니터한 난방에너지 사용량과 RETScreen에서의 난방에너지 사용량을 비교한 데이터이다. 이러한 데이터 비교는 실제 측정되어진 데이터와 RETScreen에서 계산되어진 데이터를 비교 검증하여 RETScreen 프로그램의 신뢰성을 확인하는데 중요한 자료가 된다. 위의 각 도시별로 실제 사용량과 RETScreen 계산한 난방에너지 사용량 비교하면 Toronto 1.4%, Montreal 1.8%, Charlottetown 0.6%, Winnipeg 1.0%, Vancouver −3.0%의 차이를 보였다. 이처럼 근소한 차이는 RETScreen의 신뢰성을 검증하는데 중요한 자료이다.

본 고에서는 강릉지역에 3000m^2 규모의 마을회관 건축을 가정으로, 이 건축물에 지열원 열펌프 설치시 시스템의 경제성 분석을 위해 국제적으로 점증된 RETScreen을 활용하였다. **표 2**에서는 강릉지역 3000m^2 규모의 마을회관 건축시 산출되는 예상 냉난방 용량과 시스템 설치비용, 투자금 환수기간(Payback period), 유해가스 저감량(GHG)등이 자동으로 계산되어 보여주고 있다. 시스템 설치시 가장 중요한 투자금 환수기간(Payback period)과 내부수익률(IRR)을 중심으로 시스템의 경제성을 분석해보면 투자금 환수기간은 7.3년, 내부수익률은 17.9%로임을 알 수 있다. 또한 사용된 열펌프 모델은 제조회사별로 전

<표 1> RETScreen 및 실측 모니터 자료 비교 검증

		Heating Energy use kWh	Difference %
Toronto	RETScreen	37,202	1.4
	Monitored	36,686	
Montreal	RETScreen	36,138	1.8
	Monitored	35,490	
Charlottetown	RETScreen	37,158	0.6
	Monitored	36,922	
Winnipeg	RETScreen	33,243	1.0
	Monitored	32,926	
Vancouver	RETScreen	37,888	−3.0
	Monitored	39,016	

자료: www.retscreen.net.

<표 2> RETScreen 주요 입력 및 출력 값(강릉 시청사 사례)

	Community Hall project Kanynyng, Korea
Floor area(m^2)	3000
GSHP system type	Vertical closed −loop
Typical land area required(m^2)	58
Total bore length suggested(m)	210
heating capacity (ton(cooling))	17.8
Cooing capacity (ton(cooling))	20.3
system costs(KRW)	101,513,570
Heating fuel type	Natural gas
Heating cost	KRW 506/m^2
Annual savings(KRW)	4,523,479
Simple Payback Period(year)	7.3
IRR(%)	17.9%
Lifetime GHG emission reduction(TCO_2)	437.41
Project life	25

세계 열펌프 판매시장에서 가장 많은 판매 비중을 차지하고 있는 회사들의 모델로서 설치면적이 3000m^2 크기일 때 사용되는 열펌프 모델을 고려한 것이다.

미국 Oklahoma의 국제지열히트펌프협회(IGSHPA)에서는 GSHP 시설 설계방안, 설계기준, 교육, 연례회의를 주도하여 미국 및 전 세계적으로 GSHP 기술개발을 주도하고 있다. 이러한 IGSHPA의 활동은 설계시공자들을 위한 설계교육과 엔지니어들을 위한 공인 지열설계자 인증인 CGD(Certified Geothermal Designer) 프로그램들을 보급, 운영하고 있다. 현재 GSHP의 시장은 지속적이며 안정적으로 성장하고 있으며 미국 시장은 미국 DOE의 에너지정보국(EAI: Energy Information Administration)과 제조업자들에 의해 국제규격(ISO 13256-1,2)이 정립되고 이를 기준으로 미국 공조냉동협회로부터 GSHP 단위 유니트에 대한 정량적 성능평가방안이 정해져 있어 이를 안정적인 성장을 뒷받침하고 있다. 최근에 GSHP 시장은 보급 초기와 달리 비주거시설용 시장이 우위를 차지하고 있으며 1998년 미국 DOE가 허가한 새로운 에너지 진단회사(Super-ESPCs : Super-Energy Service Provider Companies)들은 GSHP 시스템을 성능계약(Performance Contract) 제도를 활용하여 효과적으로 보급하고 있다.

우리나라 또한 신재생에너지원으로써 지열원에 대한 관심이 날로 증가하고 있다. 현재 공공건물에 대한 신재생에너지적용의무화법이 실행되어 특히 건물 분야에 지열원 열펌프 냉난방 시스템에 관한 관심이 더욱 증가하고 있다. 그러나 이러한 높은 증가 추세에 대하여 지열원 열펌프 시스템의 성능 및 신뢰성 보장을 위한 건물, 시스템, 사이트에 대한 통합 설계, 시공 운전 단계에서 일관된 사전 성능예측 기술과 성능 확인 과정에 대한 구체적인 규격이나 제도적인 장치는 미흡한 실정이다. 따라서 보다 경제성 있고 신뢰성 있는 지열 시스템 확대 보급을 위해서는 건축물과 지열 시스템을 통합적으로 성능예측하고 그 예측된 성능을 객관적으로 국제 호환 가능한 확인검증기술이 필요하며 이를 기반으로 한 선진국과 같은 성능계약 제도로의 보완이 필요하다.

3. 건물통합 시스템 성능 검증 기술

현재 GSHP 시스템의 성능 확인 방법은 지중열교환기의 설치 확인을 위한 시공 예정 지중의 열성능을 판가름 할 수 있는 지반보고서, 설치확인 및 사후 관리를 위한 시스템 설치 후 중요 데이터 모니터링 시설 구축과 공인된 기관에서 ISO 조건에 의해 설치 전 열펌프 유니트에 대한 인증과 같은 방법이 있다. 그러나 아무리 고효율로 인증된 열펌프 유니트 설치와 시스템을 구성하더라도 현장에서 발생되는 저효율 시스템 설계, 시공, 운전관리 현안에 대한 문제는 해결이 되지 않는다는 것이다. 결국 아무리 열성능이 우수한 지반에 열교환기를 설치하더라도 용량 설계가 잘못되거나 건물 부하 변동에 시스템의 적절히 반응하지 못할 경우 GSHP 시스템은 열펌프 유니트 자체의 최적 성능을 유지할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 지중열교환기 및 펜 코일, 펌프 등의 전체 시스템에 대한 최적 설계 및 운전 관리가 이루어져야 한다. 이에 대한 해결방안에 하나로 국제 에너지 기구는 시스템 성능에 대한 국제적 약속 즉 규약(IPMVP)을 정의하고 상호 준수하는 방안을 사용하고 있다.

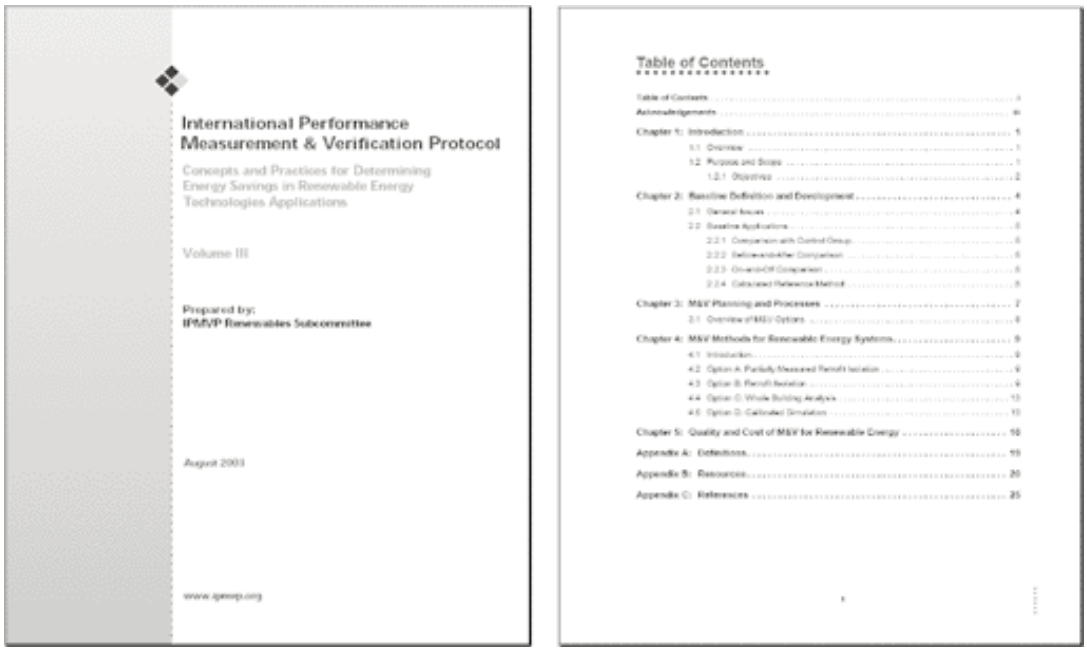
에너지 절약 사업의 개관적 성능 비교 기준의 필요에 의해 1997년 미국 에너지부서에 '국제 성능 측정, 검증 규약서인 IPMVP(International Performance Measurement & Verification Protocol)'를 만들었다. 국제적 에너지 사업의 객관적인 평가를 위한 IPMVP는 개도국 및 선진국에 있어서 효율적인 방법으로 에너지 절약 평가에 관한 국제적인 기준을 제공함으로서 건물의 에너지 효율성을 향상시키고, 에너지 효율성 프로젝트의 재정비용을 낮추고, 에너지 절약을 증대하

며, 오염을 줄여 공공의 건강을 증진시키는데 그 목적을 두고 있다.

전 세계적인 에너지 절약 사업에 대한 객관적인 평가 규칙 제정을 위하여 IPMVP가 개발되고 현 제도 지속적인 개선 작업을 하고 있다. 이와 같은 국제 표준 IPMVP 내용을 간략히 살펴보면, 옵션 A는 규정된 일부분의 측정으로 에너지 절감량을 검증하기 위한 규약으로 성능인자나 적절한 가동 상태를 조사하는 것이고, 옵션 B는 시스템적으로 중요한 부분을 측정하여 검증하는 규약으로 성능 및 가동 인자를 모니터하는 것이며, 옵션 C는 전체 건물에 대한 지속적 측정 및 검증하기 위한 규약으로 시간별 혹은 월별의 유틸리티 계량기 자료를 사용하여 "건물전체" 혹은 시설수준을 결정하는 것이다. 그리고 옵션 D는 모의 실험에 의한 데이터 측정 및 검증에 관한 규약으로 시설 구성요소 및 전체시설에 대한 시뮬레이션 하는 것이다. 이러한 규약들은 실행되어지는 프로젝트 과정 및 성격을 고려한 후, 그에 맞는 옵션을 적용하는 것으로 **그림 2**에 나와 있는 프로젝트의 특징별로 선택하여 적용시킬 수 있다.

계약자간에 유니트 성능 확인 option A, B 와 시스템 성능 확인 option C, D 방안을 사전에 명시하여 사전 예측 성능을 사후에 성능 확인 검증이 가능하다. 이러한 성능 예측과 성능 검증을 의무화 제도이고 이에 따른 에너지 절감량에 대해에서 인센티브도 부과하는 제도는 현재 미국 등 선진국에서 사용 중이며 국내에도 적용 가능한 제도인 것이다. 지금처럼 설계 따로, 시공 따로 그리고 운전 따로의 현실에서 무엇보다 우선적으로 정부가 고려해야 할 제도와 장치로 사료된다. 이러한 체계가 구축되면 적어도 어느 용량 이상의 국가 보급 사업의 경우 설계 시 부터 사후 성능 검증 방안에 대한 약속을 받고 이를 시공 후 실제 운전 상태에서 확인하는 방안을 적용해서, 지열원 열펌프 냉난방 시스템의 신뢰성 향상에 기여 할 수 있을 것으로 생각된다.

산자부 고시 2007-52호에 의하면 신 · 재생에



[그림 2] IPMVP(International Performance Measurement & Verification Protocol)

너지설비의 설치확인 및 사후 관리를 위해 일정 용량이상의 설비인 경우 모니터링설비를 의무적으로 설치하도록 하고 있다. 30RT 이상의 지열설비는 단위시설별로 에너지생산량 및 가동상태를 웹(Web)으로 확인할 수 있는 모니터링 설비 설치 · 가동되도록 하여야한다고 명시되어 있다. **표 3**는 모니터링시의 시스템의 측정 위치 및 전송항목을 나타내고 있다. 이와 함께 에너지관리공단 지원 자문 연구모임인 지열이용기술연구회에서 검토가 이루어지고 있는 설치확인 제도인 지중의 열성능 측정에 대한 지반보고서 부분도 같은 맥락에서 이루어지는 제도며 **표 4**는 이러한 신재생에너지 설비에 대한 설치확인 의무화 제도를 나타내고 있다. 그러나 향후에는 이와 같이 시스템의 설치확인으로 끝나는 것이 아니라 성능예측 및 검증 부분에 대한 보완 되어야 할 것으로 사료된다.

4. 결 론

미국 Oklahoma의 국제지열히트펌프협회(IGSHPA)에서는 GSHP 시설 설계방안, 설계기준, 교육, 연례회의를 주도하여 미국 및 전 세계적으로 GSHP 기술개발을 주도하고 있다. 이러한 IGSHPA의 활동은 설계시공자들을 위한 설계교

<표 3> 성능 측정 위치 및 전송 항목

구분	전송 항목	전송데이터	측정위치 및 항목
지열	일일열생산량(kcal)	24개(시간당)	–물–물 방식 · 부하측 입출구 온도차, 유량 –물–공기 방식, 콘솔형, 하이브리드형 · 지열원측 입출구 온도차, 유량 –전력소비량 · 열펌프, 축열&지중 펌프
	생산시간(분)	1개(1일)	
	전력소비량(kWh)	24개(시간당)	

자료 : 산업자원부고시 제2007–52호 신 · 재생에너지설비의 지원 · 설치 · 관리에 관한 기준

<표 4> 공공건물 신재생에너지 의무화 제도

구분	설치의무 기관		신재생에너지센터
계획 수립	(매월말일)	설치 계획서 온라인 제출 (시행령 제 17조 1항) 07년 3월 1일 접수분부터 지열이용기술연구회의 "기술검토의견서"를 첨부하여 설치계획서를 제출 →	담당자검토 (추진위원회)
건축 설계		← 검토 결과서 (온라인조회) (시행령 제 17조 2항)	(30일 이내)
건축 허가	(설치 후 30일 이내)	신재생에너지 설비 현장설치 설치확인 신청서 (시행령 제 18조 제 1항) →	설치확인 (현장조사 등)
시공			
사용 승인		← 설치확인서 지급 (시행령 제 18조 2항)	(30일 이내)

자료: 산업자원부고시 제2007–52호 신 · 재생에너지설비의 지원 · 설치 · 관리에 관한 기준

육과 엔지니어들을 위한 공인 지열설계자 인증인 CGD(Certified Geothermal Designer) 프로그램들을 보급, 운영하고 있다. 현재 GSHP의 시장은 지속적이며 안정적으로 성장하고 있으며 미국 시장은 미국 DOE의 에너지정보국(EAI: Energy Information Administration)과 제조업자들에 의해 국제규격(ISO 13256-1,2)이 정립되고 이를 기준으로 미국 공조냉동협회로부터 GSHP 단위 유니트에 대한 정량적 성능평가방안이 정해져 있어 이를 안정적인 성장을 뒷받침하고 있다. 최근에 GSHP 시장은 보급 초기와 달리 비주거시설용 시장이 우위를 차지하고 있으며 1998년 미국 DOE가 허가한 새로운 에너지 진단회사(Super-ESPCs : Super-Energy Service Provider Companies)들은 GSHP 시스템을 성능계약(Performance Contract) 제도를 활용하여 효과적으로 보급하고 있다.

우리나라 또한 신재생에너지원으로써 지열원에 대한 관심이 날로 증가하고 있다. 현재 공공건물에 대한 신재생에너지적용의무화법이 실행되어 특히 건물 분야에 지열원 열펌프 냉난방 시스템에 관한 관심이 더욱 증가하고 있다. 그러나 이러한 높은 증가 추세에 대하여 지열원 열펌프 시스템의 성능 및 신뢰성 보장을 위한 건물, 시스템, 사이트에 대한 통합 설계, 시공 운전 단계에서 일관된 사전 성능 예측 기술과 성능 확인 규정에 대한 심사 검사 제도는 미흡한 실정이다. 따라서 보다 경제성 있고 신뢰성 있는 지열 시스템 확대 보급을 위해서는 건축물과 지열 시스템을 통합적으로 성능예측하고 그 예측된 성능을 객관적으로 국제 호환 가능한 확인검증기술이 필요하며 이를 기반으로 한 선진국과 같은 성능 계약 제도로의 보완이 필요하다.

건물용도별 GSHP 최적 시스템 설계 및 보급을 위해서는 건물 지열시스템 통합적 GSHP 시스템 설계 평가 기술 적용이 필요하다. 이를 통해 사업 초기 GSHP 시스템과 타 공조 시스템과의 운전비용 비교를 통해 사업의 타당성 판단 및 건물부하의 계절적, 시간적, 공간적 등의 다양한 요소의 부하 변동, 열펌프의 용량선정, 지중열교환기 용량 등의 유기적인 설계는 기존의 획일적인 설계에 비해 지열 시스템의 용량과다 선정으로 인한 초기 투자비 증가 방지 및 시스템의 에너지 시뮬레이션을 통하여 운전 효율을 극대화를 통해 에너지 절약 및 자원 절약을 실현할 수 있다.

이러한 GSHP 시스템의 보급 활성화 및 시스템의 경제성 및 신뢰성 확보를 위해서는 건물 통합설계 평가 기술인 RETScreen을 활용하여 사업 초기 GSHP 시스템의 사전 성능예측이 이루어질 수 있다. 그리고 성능 예측된 부분에 대한 국제표준 IPMVP 성능 검증 방안 제시를 포함한 선진국의 Super ESPC와 같은 성능계약으로 제도 개선이 필요하다. 현재 국가지원사업인 경우 사전 시스템 성능 예측 확인 절차 없이 초기 커미셔닝 및 지속적 커미셔닝 절차의 미흡으로 인하여 지열 시스템의 신뢰성을 확보할 수 없는 개선 사항이 있다. 이러한 현안을 해결하기 위해서는 지열 냉난방 사업 계약시 국제 규약에 근거한 IPMVP 성능 예측 및 검증 자료 첨부가 활성화되어져야 하며 이를 활용하여 현재의 유니트 설치확인기준(산자부고시 2007-52호)을 시스템 성능 확인기준으로 향후 개선 작업이 필요할 것으로 사료 된다.

5. 참고문헌

1. RETScreen web site : www.retscreen.net.
2. IPMVP web site : http://www.ipmvp.org.
3. 산업자원부고시 제2007-52호 신 · 재생에너지의 지원 · 설치 · 관리에 관한 기준.