

# 지열시스템의 TAB 및 성능측정과 검증

지열원 열펌프 시스템의 TAB를 위한 성능 측정 및 검증 방법과 사례를 기술하고자 한다.

노진덕  
(주)화인텍센추리

## 1. 머리글

국내의 지열원 열펌프 시스템 보급이 시작된 지 벌써 5년이 넘었다. 최근에 에너지 이용 합리화법에 의한 공공건물에 5% 대체에너지 사용의무 규정으로 인하여 지열을 하는 업체들이 많이 생기고 있다. 그러나 지열업체들의 건물 공조시스템과, 열펌프의 특성에 관한 이해부족, 또한 지중열교환기에 대한 시공능력 등등 많은 문제점 등으로 인하여 고가의 지열원 열펌프 시스템이 에너지 절약에 도움이 되지 못하고, 시스템이 효율적으로 운영되지 못하는 사례가 많다. 따라서 Test and Commissioning 및 성능측정과 검증을 통하여 업체에 관한 자격 및 시공능력을 평가가 되어야 할 시점이 되었다고 본다.

따라서 지열원 열펌프 시스템 설계에서부터 설치가 완료되어 운전이 되는 전체 과정에 관한 책임과 역할이 한계를 명확히 하여 Test and Commissioning 및 성능측정이 이루어져야 한다. 미국에서도 설비 설계 엔지니어링 회사에서 지열 냉난방 시스템 설계를 할 때, 지열열교환기 설계사를 고용하여 설계하고 있다. 지열업체는 크게 나누어 단순한 시공을 전문화하는 업체가 있고, 에너지 절약 및 신재생에너지를 할 수 있는 대형업체가 있다. 하니웰, 존슨콘트롤, 트레인, 클라이마스터 등과 같은 대형업체들은 설비설계회사, 지

중열교환기 시공업체 및 자동제어업체 등과 계약하여 에너지 절약사업(ESCO and Super ESPC)을 하고 있다. 또한 이러한 에너지 절약사업을 하는 업체가 의무적으로 하는 것을 Test and Commissioning(성능측정과 검증)이라고 한다. 따라서 에너지 절약 및 신재생에너지 사업을 하는 지열업체는 향후 이러한 에너지 경제성 검토 및 에너지 절약에 대한 성능평가를 할 수 있는 업체로 기준안이 강화되어야 하며, 단순한 지중열교환기 시공업체와 구분 될 수 있는 기준안이 마련되어야 한다.

민간건물에서 고가, 고효율의 지열원 열펌프 시스템에 Test and Commissioning 과 Measurement & Verification(성능 측정)에 선도하기는 어려움이 많이 있기 때문에 공공기관에 지열시스템에서부터라도 시스템 성능, 제어, 기능에 대한 것이 확립되어야 한다.

## 2. 지열원 시스템의 Test and Commissioning

### 2.1 건물 Test and Commissioning의 이점

지열시스템 운전에서 아래와 같은 이점이 되도록 시운전에서 Commissioning이 점검되어야 한다.

- 1) 지열시스템이 요구하는 최저효율 이상 성능이 나오는지 확인
- 2) 지열시스템 설계자가 의도한 대로 운전이 되

- 고 있는지 확인
- 3) 실내 공기의 질, 안전, 환경적인 문제가 없는 확인
- 4) 최대한의 효율이 발생되도록 운전이 되고 있는지 확인
- 5) 최소한 유지관리비용으로 A/S가 이루어질수 있는지 확인  
운전자 및 시설관리자가 장비수명연장 및 유지관리가 될 수 있도록 훈련되고, 매뉴얼이 준비되어 있는지 확인 되어야 한다.
- 6) 현재 미국에서는 공조시스템 설치 비용의 1.5 ~ 2.5%에서 Test and Commissioning 을 하여 운전 에 에너지 절약 및 시스템 운전 이 정확히 되도록 하고 있다.

## 2.2 지열시스템 Test and Commissioning 개요

- 1) Test and Commissioning은 거주자 및 주인 이 운전 에 필요한 기능과 설계자의 의도가 여러 가지 시스템이 일치하는지 시설물의 기능 에 대하여 서류화하여 확인하고 성과를 검증 하는 과정이다.  
이러한 과정은 본래의 설계의도가 지속적으로 효율을 보장하도록 운전 및 유지관리도 포함된다.
- 2) 잘된 Commissioning 계획은 아래의 기본적인 요소가 포함되어야 한다.
  - (1) 절차서를 만들어 건물의 성능 점검서류가 준비되어 성능이 확인되어야 한다.
  - (2) 실질적인 거주자의 요구와 일치되어야함
  - (3) 피크부하 및 부분부하의 동안에도 만족하여야 함
  - (4) 에너지효율이 건물의 설계된 운전범위에서 가동되고 있는지 확인
  - (5) 운전 및 유지관리지침서 마련되어야함
  - (6) 운전자 교육이 실시되어야함
- 3) 모든 타당성있는 자료와 현장의 결정된 것을 통한 서류에 의한 의사소통이 증진되어야하고, 아래의 사항이 명확히 확인되어야한다.

- (1) 건물주의 요구사항 및 기준
  - (2) 설계된 도서 및 형식
  - (3) 설계에 영향을 준을 결정사항
  - (4) 시험에서 시스템 성능을 확인하는 절차서
  - (5) 모든 예산 허가 및 청구서
  - (6) 시공감리 보고서
  - (7) 운전 에 관한 정보
  - (8) 유지관리 표준절차서
  - (9) 예비 성능시험 및 성능시험 완료
  - (10) 시험 및 바란싱 보고서
  - (11) 진행현황 보고서
- 4) 건물 시스템 성능 보고서가 설계지침과 일치 여부를 아래의 사항이 확인되어야한다.
    - (1) 피크부하와 부분부하
    - (2) 모든계절의 운전 상태
    - (3) 연계된 시스템 운전이 표준에 일치되어야함

## 2.3 건물 Commissioning 과정

- (1) 일반적으로 미국에서는 건물 Commissioning 을 기획단계, 설계단계, 시공단계, 인수단계 및 기록단계 등 5단계를 거쳐 실시한다. 그리고, 정부건물 신축이나 개보수의 경우에 건물의 평가계획서, 개발계획설명서, 승인 및 자금 조달, 사전설계검토, 설계검토 승인, 시공, 건물 시설의 완공, 설계안 확인 등을 통해서 명확히 측정하고 검증한다.
- (2) 기획단계: 기획단계에서는 건물주의 요구사항, 에너지효율, 운영방법, 시설의 기능 및 시설에너지효율 요소를 고려한 수명을 기초하여 예산을 세우고, 시공관리 계획을 세우는 단계이다.
- (3) 설계단계: 건물의 설계에서 시스템의 모든 구성요소가 완성되어 설계기획안에 따라서 설계가 보증되고 কমیشن팀이 설계기획안을 검토한다. 설계기획안에는 시스템의 기능적인 성능시험을 위한 절차서, Commissioning 스케줄, 작업범위 및 책임이 시방서에 따라서

명문화 되어야 한다. 또한 Commissioning팀의 자격과 측정과 검증(M&V)에 수준 및 시험의 종류를 명확히 하여야 한다.

용산 미군부대 경우에 설계단계에서는 미정부의 공인된 프로그램에 의한 에너지 계산서, 설계도면, 연간 및 준별 부하계산서, 준별 지중열 온도 입구온도에 열펌프 선정서, 지열순환펌프 계산서, 시퀀스 오퍼레이션, 시스템의 자동제어 범위, 공사 범위 및 책임 범위 서류가 제출되었다.

- (4) 시공단계: 건물의 모든 유틸리티가 확립되고, 시스템 구성요소가 사전 기능성능시험(공장시험)과 현장시험을 하여 수행하고 완성되어야 Commissioning에 승인을 득 할 수가 있다. 또한 모든 책임과 스케줄이 기능에 대한 성능이 결정되고, 유지관리 지침서가 장비 보증서가 제출하여야 한다. 현장감독은 현장시공이 설계계획에 따라서 하는지 확인하여야 한다.
- (6) 준공단계: 준공단계에서 기능적인 성능시험은 모든 복합적인 시스템 설계 기본안에 명문화된 목적의 성능과 일치하는지 확인 되어진다. 왜냐하면 전체 건물의 성능은 모든 구성요소의 복합적인 성능에 대한 기능이다. 또한 기능적인 성능시험은 정확하게 설치되고, 조정하고, 장비와 시스템이 시방서에 따라서 최대한 효율적으로 운전 하는 것을 확인하는 단계이다. 이 시험은 모든 구성요소, 장비, 시스템의 성능과 준공이 서류화 할 될 예정이다. 모든 시스템은 기능적인 성능 시험을 하기 전에 조정하고 시험이 되어야만 한다. 추가적으로 시공업체는 건물 시스템의 유지관리 지침서를 Commissioning 부서에서 승인하고, 검토 하여야 하고, 시설 유지관리 지침서에 따라서 교육이 되어야 한다.
- (7) 준공후 단계: 준공후 단계는 건물의 운전과 일상적인 사용을 통해 건물에 동적인 변화를 점검하는 과정이다. 만약에 준공의 연장선상

에 장비, 기타 구성요소 및 시스템이 충분한 시험이 되지 못하였다면 준공후 계절적인 시험을 통해서 기능적인 성능을 확인하여야 한다. 또한 장비의 사용에 관한 어떠한 변화나, 사용시간의 변화, 사용자의 변경 등을 서류화하여야 하고, 건물 내부의 환경적이나 에너지 성능이 시험에 관한 프로그램이 확립되어야 한다. 미국 정부에서는 입주 후 2년 동안에 설계서류에 명시된 대로 건물 운전이 되는 것이 맞는지 검토한다. 이러한 검증은 적절한 시험, 운전자와 사용자의 인센티브를 기준으로 한다.

설계기준안에 따라 보증하는 승인에 관한 기준은 대충 받아 들이는 것이 아니라 장비의 시험결과에 따라서 되어야 한다.

#### 2.4 Testing, Adjusting, and Balancing :

위에서 Commissioning은 신규건물이나 개보수 건물에서 설비를 인수하는 종합적인 과정인 것에 반해서, TAB는 시설물의 각종시험, 조정과 밸런싱을 통해서 시스템을 기능적으로 성능시험을 하여 결과에 대한 것을 서류화 하는 행위이다. 따라서 지열원 냉난방 시스템이나 일반적인 공조시스템이나 특별이 다른 것은 없다.

그러나 지열원 냉난방 시스템은 지중열교환기의 물의 입구온도가 열펌프의 성능에 커다란 영향을 미치, 준공 후에 에너지 성능 보증을 좌우한다.

따라서 TAB업체는 TAB를 하기 전에 지열원 열펌프 시스템 설계에 관한 것을 검토하여 사전 점검표를 작성하여 제출하여야 한다. 그리고 준공 후에 지열원 열펌프 냉난방 시스템이 에너지성능에 관한 보증을 위하여 측정과 검증(Measurement and Verification)을 할 수 있도록 되어 있는지 아래의 사항이 검토가 되어야 한다.

- 지중열교환기 설계도서 의 냉난방시 열펌프 입구온도
- 지열열교환기기 입-출구 온도
- 지중열교환기 의 유량계 및 유량측정 장치

- 지중열교환기 수직형 또는 수평형의 경우 바람향이 잘 되어있는지?
- 지중열교환기 세정(Flushing)을 할 수 있는 구조인가?
- 지열원이 열펌프에 바람향이 잘 되어있는지?
- 열펌프 선정자료 및 점검표
- 열펌프 시스템 자동제어에 시퀀스 운전
- 열펌프 및 순환펌프에 대한 전기 사용량을 측정할 수 있는 장치 등등

지열원 냉난방 시스템에서 TAB는 단순히 지열원 열펌프 냉난방 시스템의 일정한 온도 및 유량 등을 측정하는 것이 아니라, 여러 가지 다른 기준으로 다양한 측정을 하여야 한다. 따라서 이것이 측정과 검증의 단계의 일종이다.

### 3. 성능측정 및 검증 (Measurement and Verification)

#### 3.1 성능측정 과 검증의 개요

에너지 성능측정과 검증은 반드시 ESCO사업에서 실시를 하여 사전과 사업 후에 성능을 측정하고 검증이 필요한 항목이다. 그러나 성능측정과 검증에 명확한 기준치에 대한 검증과 서류화를 하여 이것을 계약서에 반영이 되어야 하고, 사업이 완료된 후에 성능측정과 검증을 하는 일종이 과정이다. 그러나 성능측정과 검증을 하는 데는 많은 비용과 시간이 소요되기 때문에 시간과 비용, 및 현장 여건에 따라서 여러 가지 방안을 선택하여 하여야 한다.

신규로 발주되는 지열원 열펌프 시스템에 대해서는 현실적으로 기준점 검증이 어려워 위에서 언급한 Test and Commissioning으로 설계에 기본 안을 기준으로 성능측정을 하여 열펌프 시스템을 검증이 되어야 한다.

#### 3.2 성능측정 및 검증 방안

각각의 성능측정 및 검증 방안에 적용되는 기본

적인 개념은 모두 동일하다. 그러나 신규건물의 경우에 기준값을 결정하는 것이 불확실한 정보 즉 날씨데이터, 운전시간, 건물의 운영방법, 건물의 설계, 온조설정 등으로 인하여 매우 어렵다. 따라서 위에서 언급된 Test and Commissioning에 절차대로 장비와 시스템에 성과와 운전에 관한 것을 효율을 측정하여 지열원 열펌프 냉난방 시스템을 검증하는 것이 바람직한 것으로 생각한다. 표 1에서 방안1에 해당한다.

계산된 에너지 절약량 또는 절약비용의 정확도, 성능측정에 소요되는 비용 및 구체적인 기법 그리고 분석대상 등에는 서로 차이가 있다. 각각의 성능 측정 및 검증방안에 관련된 내용은 다음의 표를 참조한다.

#### 3.3 성능측정 및 검증계획(서)

- (1) 성능측정 및 검증계획(서)은 신축 건물에서 지열시스템을 설치하는 경우에는 방안 1에 의하여 정부나 에너지관리공단에서 인정하는 업체나, TAB업체에서 Test and Commissioning을 할 수 있는 객관적인 업체에 의하여 시험 및 성능측정을 계획서를 작성하여 에너지관리공단 및 사업체 감리자 최종확인 하는 방향으로 되어야 한다.
- (2) 지열원 냉난방 시스템으로 ESCO사업 또는 신재생에너지사업을 하는 경우에는 기존 시스템에 에너지 비용 및 유지관리 비용을 기준하여 신규 지열시스템의 에너지 절감량 및 유지관리 비용의 절감을 계산하여 방안 1, 2, 3 및 4 중에 성능검증의 목적 및 필요성 그리고 전체적인 수행절차, 적용하고자 하는 성능측정 방안 및 세부 기법, 에너지 절약량 계산방법 등이 명시된 문서이다. ESCO업체 및 신재생에너지사업체가 발주자에게 제출하는 사업계획서의 일부분(계획)으로 작성되거나 또는 별도(계획서)로 작성될 수 있다.

<표 1> 성능측정 및 검증방안

성능측정 및 검증방안	에너지 절약량 계산	성능측정 및 검증에 소요되는 비용
방안1 : 지열원 열펌프 설비가 단순히 공사시방에 의해 설치되었는지를 검증하는데 초점을 맞춘다. 설치된 설비가 최초 계획서(또는 사업계약서) 상의 에너지 효율을 보증할 수 있는지 준공 시험 또는 계절적인 시험 걸쳐 현장에서 직접 측정을 수행한다. 핵심 성능인자(설비의 효율 또는 COP 등)는 현장에서 단기간 또는 순간측정으로 결정되고 운전인자 (예:연간 에너지 소비량 등)는 제조사가 제공하는 성능데이터 등을 이용하여 에너지효율을 측정한다.	에너지 효율 계산에 필요한 데이터를 준공 시 또는 계절에 걸쳐 측정하고 측정된 데이터를 이용하여 지열원 열펌프 에너지효율을 공학적 계산으로 계산하고, 간단한 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 에너지 다른 시스템과 비교하여 절감량을 계산한다.	소요되는 비용은 측정요소 및 계측 장비의 정밀도에 따라 다르지만 일반적으로 전체 사업비의 1% ~ 5% 범위.
방안2 : 기존에 설치된 설비가 최초 계획서(또는 사업계약서) 상의 지열원 열펌프 시스템 대표적인 (Sample test) 측정인자와 방법을 정하여 시스템 전체의 에너지 절약량을 계산하여 보증하는 것으로 단기간 또는 장기간에 걸쳐 현장에서 직접 측정을 수행한다. 측정기간은 계약서상에 명시된다. 장기간 측정하기 때문에 방안 1과 비교했을 때 비용이 많이 소요된다.	기존시스템에 유지관리 비용 및 유틸리티 비용을 기준으로 산설 지열시스템의 예상 에너지 비용을 차이에 의한 예상한 에너지 절약량과 실제 측정에 의한 에너지 절약량을 비교하고 공학적인 계산을 수행한다. 기존 설비에 대한 자료가 없을 경우 컴퓨터 시뮬레이션 모델 이용	미국에 가장 많이 사용하는 방법으로 방안1보다 비용이 많이 들지만 방안3과 4에 비하여 비용과 인력이 적게 들어 사업비에 많이 선호한다. 계측장비의 정밀도 등에 따라 다르지만 전체 사업비의 3% ~ 5% 범위
방안3 : 기존에 설치된 설비 에너지 사용 요금 자료 기준으로 과 산설되는 지열 열펌프 시스템과의 에너지 절약량을 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 계산하여 사업계획서에 제출한 절감량을 시스템에 전체에 시험과 측정을 통해서 실제 에너지 절감량 계산한다. 방안1과 방안2는 측정대상이 설치된 일부이지만, 방안3은 설비를 포함한 시스템전체가 성능 검증 대상이 된다.	단순비교에서 통계에 의한 다중변수 회귀 분석에 이르는 다양한 기법들을 적용하여 에너지 사용요금(계량요금)등을 분석한다.	분석에서 포함되는 항목의 수와 복잡도에 따라 다르지만, 전체 사업비의 1% ~ 10%범위
방안4 : 에너지 절약량을 대체 설비를 포함한 전체 건물(또는 시설)을 대상으로 하고 컴퓨터 시뮬레이션 모델을 적용하여 계산한다. 시뮬레이션모델에 대한 공학적 지식이 있어야 한다.	기존 또는 대체설비에 대한 성능 또는 운전 인자들을 입력 값으로 하여 에너지 소비량을 계산하고, 그 결과를 비교한다.	분석대상의 수와 복잡도에 따라 다르지만, 전체 사업비의 3%~10% 범위

- (3) 신재생에너지사업체는 또는 ESCO업체는 사업이 시작하기 전에 성능측정 계획(서)을 준비하여 이를 발주자에게 제출하여야 한다. 지열원 열펌프 설비를 운전함으로써 발생하는 에너지 절약량 계산방법은 성능측정 및 검증계획 또는 별도의 계획서에 명시되어 있어야 한다.
- (4) 사업체는 다음과 같은 기본 요소들로 구성된 성능측정 및 검증계획(서)을 작성하여 발주자와 감리자에게 제출한다.
  - 1) 전체 사업을 통해 달성하고자 하는 목표 및 목적
  - 2) 설치하고자 하는 지열원 열펌프설비의 특성
  - 3) 적용하고자 하는 성능측정 및 검증방안, 세부적인 방법 등
  - 4) 성능검증을 위해 필요한 데이터 및 이들을 측정하기 위한 계측장비, 데이터 측정주기, 측정에 적용된 기준 등
  - 5) 측정된 데이터의 분석방법 및 분석절차 그리고 이에 필요한 가정들
  - 6) 측정된 데이터 및 계측장비의 정확도, 신뢰 수준 등
  - 7) 능측정 및 검증 결과보고서에 포함되는 내용 등
  - 8) 성능측정과 검증에 필요한 예산과 작업범위가 명시

### 3.4 에너지 절약량 산정

- (1) ESCO사업체 또는 신재생에너지사업체는 지열원 열펌프 설비가 설치 된 후, 최초 사업계획서 또는 성능측정 및 검증 계획서에 명시된 예상 에너지 절감량 과 실제 에너지 절감량을 측정기간 동안 적절한 계측장비를 이용하여 데이터를 측정한다. 이들 데이터를 이용하여 실제 에너지 절약량 및 절약비용을 산정한다.
- (2) 다음에 열거한 방안 중 한 가지를 이용하거나 또는 이들 방안을 조합해서 기존 설비의 에너지 사용량, 설치된 지열원 열펌프설비의 에너지 사용량 그리고 향후 발생하는 실제 에너지 절약량 및 절약비용 등을 결정한다.
  - 1) 장비의 효율을 기준으로 공학적 계산에 의한 보증 : 방안 1
  - 2) 중요한 부분측정에 의한 지열시스템 보증 : 방안 2
  - 3) 지속적인 계량기에 의한 요금 분석에 의한 보증 : 방안 3
  - 4) 컴퓨터 시뮬레이션(예 ; DOE-2를 이용한 에너지사용 시뮬레이션) : 방안4
- (3) 기존 설비와 지열원 열펌프설비의 운전조건, 건축물의 환경, 및 날씨조건에 따른 변화로 인하여 예상 에너지 절감량과 실제 에너지 절감량이 일치하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 이러한 경우에는 변화된 조건에 따라서 지열원 열펌프설비의 에너지 절감량을 서로가 인정하는 합리적인 방법에 따라서 보정(adjustment)을 하여 실제 에너지 절약량을 계산할 수 있다.
- (4) 기존 냉난방 설비의 에너지 소비량 계산
  - 1) 기존 설비의 특성을 조사하거나 단기간의 측정을 통해 기존 설비의 전력 수요, 즉 에너지 소비량을 계산한다.
  - 2) 기존 설비의 조사는 다음과 같은 항목들을 포함하고 있어야 한다.
    - 명판에 기재된 기존 설비의 성능 데이터

- (nameplate data)
  - 기존 설비 가동 연수, 운전조건 및 정격 성능
  - 가동부하
  - 운전일정
  - 기존설비의 사용용도
  - 기존설비의 설치위치 등
- 3) 신재생에너지사업체 또는 ESCO업체에게 제조사가 제공한 기존 장치의 성능데이터는 고정된 값이다. 이들 데이터는 최초 설치되면서 성적서 등의 문서로 제공되거나, 또는 명판에 기재된다. 기존 설비의 성능데이터는 가동 연수와 운전조건 등에 따라 그 성능이 저하된다. 이와 같은 데이터를 이용하여 시뮬레이션 모델을 만들어 연간 또는 월간 에너지 소비량을 계산한다.
- 4) 반면, 대표적인 성능 인자를 측정 또는 단기간의 측정에 의한 기존 설비의 성능검증을 위해 다음과 같은 데이터를 측정한다.
  - 기존 설비의 전체 전력소비량 (kWh)
  - 전체 전력보시 측정이 불가능할 경우, 각 요소기기의 전력소비량
  - 냉온수의 유량
  - 냉난방 용량 계산에 필요한 냉온수의 입·출구 온도 등.

### 3.5 성능측정 및 검증 기법의 선정

성능측정 및 검증의 목적은 발주처에 의해 시행된 지열원 열펌프설비 설치 사업의 타당성을 정량적으로 보이는 것이다. 이러한 성능측정 및 검증은 시행되는 사업의 특성, 설치되는 설비의 종류, 그리고 사업체와 발주자간에 체결되는 사업계약 등의 성능측정 예산, 측정기간, 측정의 신뢰도, 등에 요인에 의해 그 적용되는 구체적인 방법이 서로 다르다. 성능측정 및 검증 방안에 따른 구체적인 측정방법을 선정할 때, 다음과 같은 사항들을 고려한다.

- (1) 전체 사업비용 (project costs)
- (2) 예상되는 에너지 절약량 (energy savings)

- (3) 산정된 에너지 절약량의 불확실도 (uncertainty)
- (4) 사업결과에 대한 책임소재 (risk allocation)

### 3.6 성능측정 및 검증 비용에 영향을 미치는 요인들

- (1) 성능측정 및 검증을 수행하기 위한 내용이 구체적이고 복잡할수록, 또한 그 결과의 적용이 엄격할수록 측정에 소요되는 비용은 증가한다.
- (2) 일반적으로 최초 성능측정 및 검증 비용은 전체 사업비의 3%~5% 범위가 적절하며, 연중 성능측정 및 검증 비용은 에너지 절약 비용의 5%~10% 범위가 적절하다. 당시의 경제적 여건 등 다양한 요인들을 고려하면서 성능측정 및 검증에 소요되는 비용을 타당한 방법으로 결정한다.
- (3) 성능측정 및 검증 결과의 정확성 및 소요되는 비용에 영향을 미치는 요소들은 다음과 같다.
  - 1) 에너지 소비경향 등, 기존 설비와 지열원 열펌프 설비의 특성은 어느정도 수준까지 규명할 것인가.
  - 2) 측정하고자 하는 데이터의 크기, 즉 획득되는 데이터의 수, 측정위치, 측정기간등
  - 3) 측정된 데이터를 이용하여 에너지 절약량을 계산할 때, 데이터의 정확도 및 신뢰수준의 정도 (precision and confidence levels)
  - 4) 데이터 계측장비의 정확도 및 신뢰수준
  - 5) 에너지 절약량 계산에 사용되는 변수들, 즉 종속변수와 독립변수의 개수 및 복잡성 등

## 4. 성능측정 및 검증

### 4.1 일반사항

지열원 열펌프 설비의 성능측정 및 검증과 관련된 활동내용은 다음과 같다.

- (1) 발주자와 사업자간에 체결되는 지열원 열펌프설비 사업계약서에 성능측정 및 검증

의 목적 및 필요성 그리고 관련조건 등을 정의한다. 이 때 앞서 언급한 성능측정 및 검증 방안과 이에 따른 세부방법 등을 기초로 한다.

- (2) ESCO 및 신재생에너지사업자와 발주자는 최종 사업계약을 체결하기 전에 사업의 정의를 명확하게 내리고, 이 사업을 위한 현장 성능측정 및 검증 계획을 상세하게 준비하여 발주자에게 협의의 하여 제출한다.
- (3) 사업의 성격이 개보수 사업인 경우, 기존 냉난방 설비에 대한 특성을 다음과 같이 조사한다. 조사된 기존 설비의 특성은 향후 설치되는 지열원 열펌프설비를 운전하여 얻을 수 있는 다양한 결과와 비교된다.
  - 1) 전체 시스템 및 부속 장비 등
  - 2) 기존 설비의 에너지소비 형태 (에너지소비 및 이에 따른 비용 등)
  - 3) 기존 설비의 에너지소비 형태에 영향을 미치는 모든 요인들
  - 4) 기존 설비의 특성조사는 현장조사, 단기간 및 장시간 성능측정 및 에너지 사용요금 분석 등과 같은 방법을 이용하여 수행될 수 있으며, 지열원 열펌프 설비시공 계약 체결 전이나 체결후에 이루어진다.
- (4) 기존 냉난방 설비를 대상으로 이 설비의 특성을 조사한 결과 동일한 방법으로 설치하고자 하는 지열원 열펌프 설비의 특성을 규명한다. 즉, 전체 시스템 및 부속장비, 설치 후 에너지 소비 및 이에 소요되는 비용 그리고 에너지 소비 형태에 영향을 미치는 제반인자 등을 명확하게 제시한다.
- (5) 시공자는 설치된 지열원 열펌프설비 및 부속장비의 운전을 검증하고, 지열원 열펌프 설비 설치로 인해 발생하는 당해 년도의 에너지 절약량을 계산하기 위해 연간 성능측정 및 검증활동을 수행한다. 이로부터 얻은 결과를 차기 년도 및 향후의 에너지 절약량을 예측하기 위한 기본자료로 활용한다.

4.2 성능측정 및 검증 계획(서) 작성

- (1) ESCO사업자 또는 신재생에너지 사업자는 다음의 표 2와 표 3에 나열된 항목들을 포함시켜 지열원 열펌프설비의 성능측정 및 검증 계획(서)를 작성한다.
- (2) ESCO사업자 또는 신재생에너지 사업자는

성능측정과 성능분석이 합리적인 방법으로 수행된다는 것을 성능측정 및 검증 계획(서)에 명확하게 기술해야 한다. ESCO사업자 또는 신재생에너지 사업자는 사업계획서 또는 별도의 성능측정 계획서를 발주자에게 제출하여 승인을 얻은 후, 실제 측정에 들어간다.

- (3) 만약 성능측정 및 검증 계획서가 본 지방서

<표 2> 성능측정 및 검증 계획서 작성에 필요한 요소들

항 목	내용 구성요소	예
전체사업 및 성능측정에대한 설명	전체 사업목표 및 목적	-
	현장 및 시스템 특성	-
	에너지 절감효과	-
에너지 절약비용 및 성능측정 비용	에너지 절약량 계산방법	-
	성능측정 소요 비용 산정	-
성능측정 일정	측정시점, 주기, 계측장비 설치일정 등	-
성능측정 방안	예상되는 에너지 절약량 계산의 정확도	에너지 절약량 계산의 정확도 : ±10%
	적용되는 성능측정 방안	방안1, 2, 3, 4 또는 이들의 조합
	성능측정 및 검증에 대한 책임소재	성능측정 수행기관 : 시공업체 또는 제 3기관
보고서 작성	측정된 원시 데이터	15분 간격으로 측정된 전력(kW), 온도(°C) 등
	편집된 데이터	월간 전력소비량 (kWh)
	보고 주기	분기 또는 연간

<표 3> 현장 성능측정 및 검증 계획 작성에 필요한 요소들

항 목	내용 구성요소	예
분석방법	필요한 데이터	전력(kW), 온도(°C) 등
	고정 변수	연간 냉난방시간, 재실인원수
	에너지 절약량 계산식	(기존 설비)-(지열원 설비)
	곡선맞춤에 의한 상관식	3차 선형방정식 등
	컴퓨터 시뮬레이션 모델	DOE-2, EnergyPlus 등
측정 및 모니터링	적용된 측정방법의 기준	KS, ASHRAE 기준 등
	계측장비 목록	사용하고자 하는 센서, 데이터로거 등
	계측장비 보정방법 및 보정에 적용된 기준	계측장비 보정 및 보정에 적용된 기준
	측정 데이터 / 지점	유량, 전력, 온도/열교환기 입구와 출구
	데이터의 신뢰도	95% 신뢰수준에서 ±10% 불확실도
	측정기간 및 주기	15분 간격으로 데이터획득 및 2주간 지속
기존 설비의 특성	성능특성	냉동톤 당 소비전력
	운전특성	시간 당 냉난방 부하
	기존 설비의 성능	실내온도, 기기효율 등
	성능분석에 적용되는 기준	KS 기준 등



가 제시하는 방법이 아닌 다른 방법을 이용하여 작성되었다면, ESCO사업자 또는 신재생에너지 사업자는 다음의 사항들을 명확히 제시해야 한다.

- 1) 본 시방서에 제시되는 성능측정 및 검증방법이 아닌 다른 방법을 적용한 이유
  - 2) 적용하고자 하는 방법의 개요
  - 3) 단기간 또는 장기간 측정 방법
  - 4) 에너지 절약량 계산 및 성능분석 방법
- (4) 성능측정에 필요한 도구
- 1) 컴퓨터 및 소프트웨어: 시뮬레이션 도구 (TRACE 600, TRACE 700, System Analyzer), Excel, Word, PowerPoint\*, and Metrix
  - 2) 계측기 : 유량계, 전력계, 풍량계, 압력계, 기압계
  - 3) 기록장비 : 온도, 장비사용시간, 전압, 전력, 거주시간, 운전시간.

### 4.3 측정

- (1) 지열원 열펌프설비의 성능검증을 위한 데이터는 정확한 수준에서 일관적이고 합리적인 방법으로 측정되어야 한다.
- (2) 측정결과를 내용으로 하는 최종 보고서는 측정대상, 방법, 사용 장비 그리고 측정시기 등을 정확하게 언급하여야 한다.
- (3) 일반적으로 사용할 수 있는 소프트웨어를 이용하여 측정된 원시 데이터 및 이들을 편집한 데이터를 확인할 수 있어야 한다.
- (4) 사업체는 원시 데이터 및 편집된 데이터를 최종 보고서 또는 정기 보고서와 함께 발주자에게 제출한다.
- (5) 지열원 열펌프설비가 운전되는 동안 시스템의 온도가 압력을 확인하기 위해 디지털형 데이터 획득 시스템을 이용해야 한다. 여기서 디지털형 데이터 획득시스템 (data acquisition system, DAS)이란 센서, 데이터로거 (data loggers) 그리고 컴퓨터로 구

성된 자동 계측시스템을 말한다.

- (6) 측정된 데이터의 신뢰성을 확보하기 위해 사용하고자 하는 센서 또는 계측장비를 보정하는 것은 반드시 필요하다. 센서 및 계측장비를 적정한 적용 기준에 따라 보정하고, 그 결과를 성능측정 및 결과 보고서에 포함시켜야 한다.
- (7) 지열원 열펌프설비의 성능검증을 위한 데이터 측정기간은 에너지 소비량을 정확하게 산정할 수 있을 만큼 충분하면서도 적절해야 한다.
- (8) 지열원 열펌프설비의 운전결과를 직접 측정할 수 있는 지점에서 계획서에 명시된 기간 동안 필요한 데이터를 측정한다.
- (9) 물 대 공기 열펌프를 이용하는 지열원 열펌프 설비의 성능검증을 위해 지중 열교환기 입구와 출구에서 순환유체(부동액)의 온도와 압력, 실내로 공급되는 공기(supply air)의 온도, 실내의 온도와 습도 그리고 압축기와 부동액 순환펌프의 소비전력(kW) 등을 측정한다. 이 때 데이터 획득주기를 5분에서 15분 간격으로 설정한다.
- (10) 물 대 물 열펌프를 이용하는 지열원 열펌프 설비는 열펌프의 열교환기 입구와 출구에서 물의 온도를 측정한다. 그 외의 측정지점은 (9)항과 동일하다.
- (11) 열펌프의 압축기와 부동액 순환펌프 등에 공급되는 전력은 기계실 내의 배전반을 거친다. 따라서 전력측정용 데이터로거와 부속 연결선 등을 배전반에 직접 연결하여 전체 소비전력을 측정한다. 이 때 소비전력 측정주기를 온도 측정 주기와 동일하게 설정한다.
- (12) 기타 측정지점 및 측정용 계측기 등은 본 공사와 관련된 설계도 및 설계도서를 따른다. 또한 공사 진행 중 발주자가 필요하다고 판단되는 계측지점 및 이 때 소요되는 각종 계측기 및 센서의 설치에 대해 발주자는 시공자에게 이들의 설치를 요구할 수 있으며, 상

<표 4>

일시	실제 측정 데이터					순환펌프 소비전력 (kW)	정미 소비전력 (kW) (a)	소비전력 상관식 (kW) (a)	편차 {(a)-(b)} /(b)
	외기온도 (°C)	GHX 입구온도(°C)	GHX 출구온도(°C)	공급 공기온도(°C)	전체 소비전력(kW)				
8/1/2003 13:00	00	00	00	00	00	00	00	00	4.88%
8/1/2003 13:05	00	00	00	00	00	00	00	00	5.12%
8/1/2003 13:10	00	00	00	00	00	00	00	00	6.88%
8/1/2003 13:15	00	00	00	00	00	00	00	00	-2.46%
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
8/14/2003 12:45	00	00	00	00	00	00	00	00	2.91%
8/14/2003 12:50	00	00	00	00	00	00	00	00	7.19%
8/14/2003 13:00	00	00	00	00	00	00	00	00	-5.73%
8/14/2003 13:05	00	00	00	00	00	00	00	00	-4.88%

호 협의하여 설치하여야 한다.

#### 4.4 에너지비용 계산

- (1) 에너지 절약비용은 계산된 혹은 실제 측정된 에너지 절약량에 설비가 사용하는 에너지의 단위비용(단가)을 곱하여 에너지 절약비용을 계산한다.
- (2) 시공자는 계약전력, 계절 별 단위비용 등 실제 지열원 열펌프에 공급되는 전기 에너지의 공급계약 내용을 반드시 확인한다.

#### 4.5 성능측정 및 검증결과 보고

- (1) 시공자는 지열원 열펌프 설비의 성능검증을 위해 사용된 각종 기기의 제조사, 일련번호 및 오차 등을 자세하게 기술한다. 또한 사업 결과 보고서 및 측정된 데이터를 포함한 성능검증 결과보고서 등을 책자로 인쇄하여 발주자와 감리자에게 제출하고, 아울러 파일로 저장하여 제출한다.

- (2) 성능측정 및 검증 결과를 보고서로 제출할 때, 시공자는 최초 사업계획서에 명기된 양식을 이용하여 측정된 원시 데이터(raw data)를 함께 제출한다. 이 때 제출되는 원시 데이터는 발주자 또는 감리자가 쉽게 사용할 수 있는 파일 형식이어야 한다. (예 ; MS Excel.)

#### 방안1과 방안4를 조합하여 검증한 에너지 절약량과 절약비용 결과(예)

성능 측정 시기	운전모드	평균 소비전력 편차
2003. 2. 1 ~ 2003. 2. 15	난방모드	-5.74%
2003. 8. 1 ~ 2003. 8. 14	냉방모드	-13.26%
2004. 1. 15 ~ 2004. 1. 30	난방모드	2.24%
평균		-5.59%

\* 평균 소비전력 편차가 (-)라는 것은 소비전력 상관식에 의한 전력소요보다 실제 측정에 의한 전력이 적게 소요되었다는 것

을 의미한다.

대상건물	보증한 에너지 절약량(kWh)	실제 에너지 절약량(kWh)	에너지 절약비용 **(천원)
건물 A	922,876.0	974,464.8	48,723.2
건물 B	537,839.0	564,736.5	28,236.8
계	1,457,715	1,539,201	76,960.0

\*\* 전력 단 2.2 성능측정과 검증 계획 : 우선적으로 지열원 열펌프 시스템에 성능과 검증에 대한 계획에는 아래의 내용이 포함되어야 한다.

### 5. 결론

지열을 열원으로 이용하는 열펌프시스템이 현존하는 냉난방시스템 중에 가장 에너지 효율이 높고, 친환경적인 시스템으로 알려져 있다.

그러나 지중열교환기 설계나, 열펌프 선정, 내부 배관 시스템의 이해부족 등으로 인하여 많은 현장에 효율적이지 못하고, 많은 초기 투자비만 낭비하는 현상이 이루어지고 있다. 따라서 Test

and Commissioning 및 성능측정과 검증은 직접적인 에너지절감과 는 무관하지만, 지열원 냉난방 시스템의 잘못된 점을 시정하고, 사업체가 또는 설계업체에서 지열원 열펌프 시스템에 신뢰도가 쌓이도록 성능향상 및 효율 향상시켜 경제적인 이점이 되는 방향으로 개선의 목적이 있다.

또한 지열원 열펌프 냉난방 시공업체에 대한 공정한 평가가 Test and Commissioning 및 성능측정과 검증을 통해서 정립이 되어 고객의 지열원 열펌프 냉난방 시스템에 대한 신뢰도를 높여서 발전을 기해야 할 것이다.

### 참고 문헌

1. Federal Government Commissioning Guide
2. US Army Commissioning
3. Trane Commissioning Manual
4. DOE M&V Guide