

주거용 건물의 지하수 이용 지열 히트펌프 시스템의 난방성능 특성에 관한 연구

Research on the heating performance of SCW heat pump system for residential house

김 주 화* 김 주 영**
Kim, Ju-Hwa Kim, Ju-Young

홍 원 화*** 안 창 환****
Hong, Won-Hwa Ahn, Chang-Hwan

Abstract

Geothermal heat pump system using standing column wells as their ground heat exchanger can be used as a highly efficient source of heating and cooling in massive buildings. But there is no case of a small scale residential house. So this study estimated heating coefficient of performance(COP) of geothermal heat pump system using standing column well type which is excellent in heat recovery in the residential house. As a result of analysis, The COP of heat pump is over average 6 and is excellent. And in consequence of making a comparative study according to the bleeding, the cop is higher in the case of bleeding. Therefore, bleeding affects the performance of the system.

This study has shown performance result that stands on actual data. Therefore, this study provides ground data that needs when a low capacity of system designs for a residence with confidence elevation.

키워드 : 지열에너지, 난방성능, 주거용 건물, SCW 종류

Keywords : Geothermal energy, Heating performance, Residential house, Standing column well type.

1. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

에너지경제연구원의 전망결과에 의하면, 가정부분의 에너지 소비는 2001년 2,410만toe에서 10년 후인 2011년에는 3,060만toe, 20년 후인 2020년에는 3,560만toe로 매년 50~60만toe씩 높아질 것으로 전망하고 있다. 용도별로 보면 난방용 에너지 소비는 큰 변화를 보이고 있지는 않지만, 향후에는 주택공급의 증가 및 중앙난방의 보급 확대로 난방에너지 수요가 계속 높아질 것으로 예상하고 있다. 난방용의 경우에도 소비구성비는 낮지만 최근까지의 경향과 마찬가지로 가정용 난방기기의 보급 증가로 향후에도 꾸준한 증가가 예상되고 있다. 이러한 상황에서 자원의 빈곤인 우리나라에서는 거의 모든 에너지를 해외로부터 수입에 의존하고 있으나, 최근 에너지 사용량의 증가와 고유가로 인해 에너지 자급을 위한 방안이 시급

히 마련되어야 한다. 이에 따라 미국의 환경보호청(EPA)에서 현존하는 냉난방 기술 중에서 가장 높은 효율을 자랑하며, 환경 친화적이고, 비용효과 또한 높은 공기조화 시스템으로 주목하고 있는 지열냉난방시스템을 적용한 주거용 건물의 보급 및 활성화가 필요하다.

그러나 선진국의 활발한 지열시스템의 보급 및 관련기술개발 현황에 비하여 국내에서는 아직까지 이에 대한 연구가 저조하다. 특히 주거용·중소규모 건물 등의 냉·난방 용도로서의 이용과 경제성 분석에 대한 검토가 거의 없는 실정이다. 이에 따라 주택 및 소규모 건물에 적합한 시스템 설계 및 개발을 위한 모델 개발이 시급하다.

따라서 본 연구에서는 열복원력이 우수한 스탠딩 컬럼 웰(Standing Column Well, 이하 SCW로 표기) 타입의 지열히트펌프시스템을 적용한 주거용 건물을 대상으로 난방시 성능(성적계수, Coefficient of performance, 이하 COP로 표기함)을 평가 하고자 한다. 실증 데이터를 분석하여 성능검증 결과를 제시한다면 이 시스템의 신뢰도 향상과 더불어 주거용으로 적합한 저용량의 시스템 설계시 필요한 기초자료로 활용 될 수 있을 것이다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 SCW 타입의 지열히트펌프시스템이 소

* 경북대 대학원 석사과정

** 경북대 대학원 박사과정

*** 경북대 건축공학과 교수, 공학박사

**** 대구공업대 건축설비소방안전학과 교수, 공학박사

"본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업인 한양대학교 친환경건축 연구센터의 지원으로 수행되었음."

규모 주거 건물의 난방열원으로 적합한지를 분석하기 위해서 난방시 운전현황을 조사하고 시스템 적정 설계를 분석하기 위해서 난방성능을 평가하였다.

따라서 본 연구는 다음과 같은 방법으로 진행하였다.

- 1) 소규모 SCW 타입의 지열 히트펌프 시스템이 적용된 주거용 건물 선정.
- 2) 실험대상주택의 건물 및 시스템 개요 조사.
- 3) 실험 계획수립 및 실험 장비설치.
- 4) 난방시 운전현황 조사 및 성능평가를 위한 데이터 모니터링
- 5) 데이터 분석을 통한 시스템의 난방성능 특성 분석.

II. 지열히트펌프시스템의 개요 및 이용현황

1. 지열히트펌프시스템

최근에 공기원 열펌프 보다는 훨씬 효율적이고 개선된 냉난방 시설로서 채열원으로 지중열(지하수열 포함)을 이용하는 열펌프가 널리 개발 이용되고 있는데 이를 지열 펌프라 한다.¹⁾

2. SCW 시스템의 개요

개방형 방식 중 하나인 SCW공법은 하나의 관정에서 열매체로 물을 순환하여 히트펌프에서 발생하는 에너지를 지중열과 열교환 후 이를 다시 동일한 관정에 주입하는 방식으로 수중펌프가 설치된 공급관을 통해서 관내의 지하수를 끌어올린 후, 기계실에 설치된 2차 열교환기를 통해 순수온도만을 이용한 후 동일한 관정에 재투입한다. SCW 시스템은 국내처럼 암반 절리가 발달된 지역에 유리하며, 열교환 성능은 깊이에 의해 좌우된다. 이 깊이를 결정하는 인자로는 열전달율, 암반의 종류, 블리드(bleed)량 등이다. 시스템 개략도는 다음과 같다.

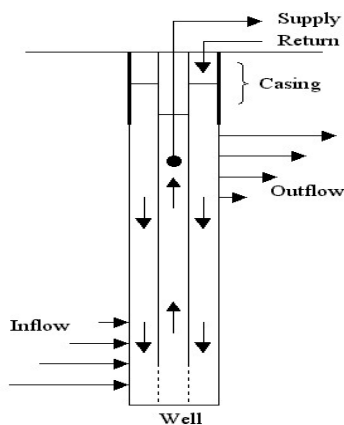


그림1. SCW 시스템의 개략도

SCW공법의 특징 중 하나는 우리나라처럼 난방부하가 큰 지역에서 적용이 많다는 점인데 미국의 북태평양지역

이나 캐나다, 중국 등 난방부하가 크거나 난방 기간이 긴 지역에 주로 적용하고 있다. 이 시스템을 밀폐형에 비교했을 때, 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- 1) 전도저항이 제거되어 관정과 순환수의 열전달성능이 향상된다.
- 2) 지름 40mm인 U-tube보다 더 넓은 열전달 범위를 가지고 있다.
- 3) 케이싱이 되어 있지 않은 구역은 울퉁불퉁하여 표면적이 증가되고, 증가된 표면적은 SCW의 열교환을 향상시키는 국지적 소용돌이를 일으킨다.

3. 국내외 지열 히트펌프 시스템 이용현황

1) 국내 현황

현재 국내에서는 주로 공공기관 신축건물이나 상업용 건물, 복지시설, 학교 등 중대형 건물에 지열시스템을 설치하고 있다. 이는 시스템의 저렴한 운영비, 환경친화성, 건물 설계와의 적합성 등 지열에너지의 장점과 시장의 요구가 일치하기 때문이다. 하지만 많은 장점이 있는 지열시스템이 주거용으로는 보급되지 못하고 있다. 다양한 시스템이 보급되어 있는 외국은 초창기에 주거용으로 보급을 시작한 후, 점차 중대형 건물에 적합한 시스템을 보급한 점은 우리와 반대라고 할 수 있다.²⁾

2) 국외현황

연속 냉난방 보급이 보편화되어 있는 미국, 유럽 등 선진국에서는 일반가정 및 중소규모의 건물, 스포츠 센터, 원예단지 등을 대상으로 냉난방시스템에 지열을 이용하는 히트펌프시스템이 일반적으로 설치되어 운용되고 있으며, 특히 미국에서는 일반주택을 중심으로 냉·난방시스템 및 항온·항습용의 보조에너지 개념으로 널리 이용되고 있다. 한편 일본에서는 전력소비가 많은 주간의 전력부하 경감을 위해 심야전기를 이용하는 히트펌프를 설치하여 좋은 결과를 얻었으며 주거용 에너지 시스템으로도 보급시키고 있다.

III. 조사대상 시스템의 개요 및 실측방법

1. 실측 현장 및 시스템 개요

1) 현장 개요

본 실험의 건물은 대구광역시 산격동에 소재한 지하1층, 지상 5층 규모의 건물로써, 지상 1층~3층은 상가로 사용되고 있으며, 4층과 5층은 복층으로 1개 가구가 거주하고 있다. 1~3층은 개별 냉난방이며, 4, 5층만 지열 히트펌프 시스템을 사용하여 실제 지열시스템을 사용하는 연면적은 231㎡이다. 기계실은 지하 1층에 위치하며, 급탕은 태양열 및 심야전기를 이용하고 있다.

1) 한정상 외 3인(2005), 지열펌프 냉난방 시스템, 도서출판 한림원.

2) 손병후(2008), 지열 열펌프 시스템의 건축응용 기술현황, 건축환경설비 Vol.2 No.1.

표1. 조사대상건물의 개요

구분	내용
위 치	대구광역시 북구 산격동
구 조	RC조
시 설 명	U-building
연	231m ²
시설용도	1~3층, 지하1층 : 상가 4~5층 : 일반가정 1주호

2) 난방시스템 및 지열 히트펌프시스템의 개요

실험대상 건물의 냉난방시스템은 천정형 냉난방시스템과 바닥 난방으로 이루어져 있으나, 난방은 바닥 난방만 실시하였다. 4, 5층의 난방 계통도는 다음과 같다.

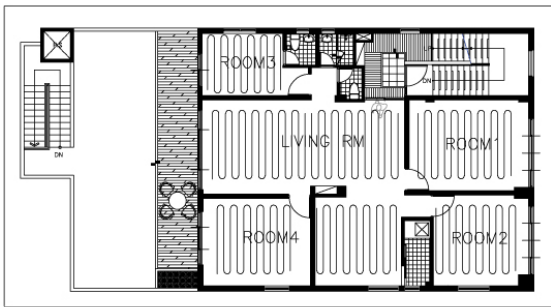


그림2. 4층 난방계통도

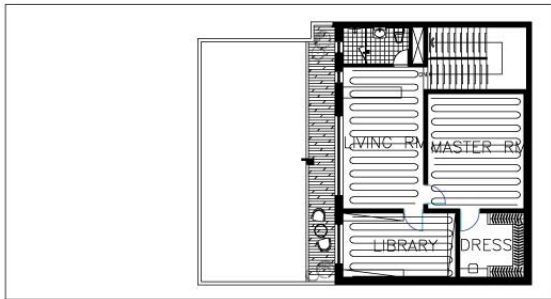


그림3. 5층 난방계통도

본 현장에 적용된 지열히트펌프시스템은 SCW 타입으로 지하수열을 추출하여 사용한 후, 사용한 지하수는 다시 심정의 상부구간으로 재순환시키거나 외부로 버리는 시스템이다. 천공 관정은 건물 뒤편 주차장 공간에 위치하며, 지하 196m로 천공하였다. 현 시스템은 지중 열교환기, 취득된 지열에너지를 냉풍과 온풍으로 변환시켜주는 지열원 히트펌프, 지중 열교환기 작동 매체를 순환시키는 순환펌프 등으로 구성되어 있다. 히트펌프의 냉동능력은 4.1 RT이며, 냉방능력은 26,700kcal/h, 난방능력 32,000 kcal/h이다. 판형열교환기는 태봉산업의 TX 3AN-15제품으로 최대 설계 압력은 34kg/cm², 최대설계온도범위는 -30~210℃이다. 압축탱크는 Zilmet사의 Ultrapro, 차압조절 밸브는 SPD-12, 온수 순환용펌프는 PH-431I(최대양수량

24,000l/h)이다.

지열원 히트펌프내 작동유체는 순수한 물이며, 지열교환기측에 2대(PH-4311), 지열원 히트펌프측(냉온수 순환펌프)에 2대(PH-4311)의 순환펌프가 운전되고 있으며, 실제 운전은 각 1대씩만 하며, 나머지 2대는 예비용이다.

표2. 지열원 히트펌프의 개요

구분	내용	
형식	SCROLL COMP'	
냉방능력 [[kcal/h]	26,700	
난방능력 [[kcal/h]	32,000	
압축기 동력(KW)	냉방시	7.246
	난방시	10.928

표3. 기타 구성요소의 개요

구분	내용	
지중열 순환펌프	형식	심정펌프(4")
	동력	1.2(KW)
2nd 순환펌프	형식	인라인
	유량	118(LPM)
	동력	0.6(KW)
냉온수 순환펌프	형식	인라인
	유량	110(LPM)
	동력	0.6(KW)
지중 열교환기	형식	판형
	전열량	35,140(kcal/h)
팽창탱크	개방형 팽창탱크	-
	밀폐형 팽창탱크	용량 40L

2. 실측 장치 및 실측 방법

1) 실측 장치

본 연구에서는 지하수 수온 변화 및 지하수위 등을 파악하기 위해 보어홀의 깊이에 따른 지하수 온도를 측정하였다. 보어홀의 총 깊이는 196m이며, 지하 60m에 지하수 공급 양수 펌프가 설치되어 있다.

지열 히트펌프와 전체 시스템의 성능측정과 지열 히트펌프 입·출구와 지중 열교환기 입·출구, 그리고 Supply 및 Return 온도를 측정하기 위해서 각각 열전대(thermocouple, T type)와 데이터 로거(Agilent 34970A)를 설치하였으며, 유량 측정을 위해 정밀 초음파 유량계 Transport model pt868을 사용하였다.

2) 실측 방법

실측 방법은 다음과 같다.

- 1) 실험은 2008년 3월 2일 저녁 6시부터 3월 9일 오전 10시까지 실시.
- 2) 매설깊이에 따른 지중온도 변화를 측정하기 위하여 보어홀 1m, 3m, 5m, 10m, 20m, 30m, 40m, 50m, 60m(총 9 포인트)에 열전대(thermocouple)를 설치하여 데이터 모니터링.

- 3) 히트펌프의 성능평가를 하기 위하여 히트펌프 및 열교환기의 입·출구 배관 온도 측정.
- 4) 기계실 시스템의 전력 소비량을 측정하기 위해 전력량계를 설치하여 데이터 취득
- 5) 초음파 유량계(Transport model)와 수도계량기를 이용하여 유량 측정.
- 6) 블리딩(bleeding) 유무에 따른 성능변화를 살펴보기 위해 지하수를 보어홀로 재순환시키는 방법과 외부로 배출시키는 방법 시행.

3. 시스템 성능 해석방법

본 시스템의 성능평가를 위해서 식(1)~(3)를 이용하여 성적계수(COP)를 산출하였다.

난방 사이클로 작동하는 지열원 히트펌프에서 지중 열교환기가 지중으로 방출하는 열량은 다음의 (1)식과 같이 계산할 수 있다.

$$Q_{heating} = c_p m (T_{out} - T_{in}) \quad (1)$$

여기서, m 은 지중 열교환기를 순환하는 유체의 질량유량, C_p 는 순환유체의 비열이며, T_{in} 과 T_{out} 는 각각 지중 열교환기 입구와 출구에서의 유체 온도이다. 또한 히트펌프의 압축기 및 순환 펌프가 소비하는 전력은 다음과 같다.

$$W_p = \frac{I_p V_p \cos \Phi}{1000} \quad (2)$$

여기서, I , V , ϕ 는 각각 전류, 전압 그리고 역률(power factor)이며, 하첨자 c 와 p 는 각각 압축기와 펌프를 의미한다.

전체 시스템의 난방 성적계수는 다음과 같이 계산된다.

$$COP_{heating} = \frac{Q_{heating}}{W_c + W_p + W_f} \quad (3)$$

IV. 실측 결과 분석 및 고찰

1. 난방성능 특성

지하수 배출방법을 달리하여 실험한 결과 지하수를 열교환한 후 보어홀로 재순환시킬 경우 히트펌프의 난방 성적계수는 4.3~10.1로 평균 6.1이며, 전체 시스템의 효율은 3.5~8.3으로 평균 5.0으로 나타났다. 지하수를 재순환하지 않고 블리딩(외부로 배출)할 경우 히트펌프의 난방 성적계수는 4.9~11.9의 범위로 평균 7.2이며, 전체 시스템의 효율은 4.0~9.8 범위로 평균 난방 성적계수는 5.9로 나타났다.

일반적으로 히트펌프는 실외온도가 비교적 낮은 동절기에 전열기를 이용하여 난방을 할 때 필요로 하는 열에너지에 비해 약 2/3의 에너지를 절약할 수 있으며, 히트펌프의 난방효율(COP)은 평균적으로 3 이상이다.³⁾ 따라

서 본 시스템의 난방효율은 6 이상으로 나왔으므로 난방 성능은 우수하며, 블리딩의 경우 성능이 더 우수한 것으로 나타났다.

표 4. 지하수 배출 방법에 따른 난방 성적계수 비교

구분		지하수 배출 방법	
		보어홀로 재순환	블리딩
평균 난방 성적계수	히트펌프	6.1	7.2
	시스템	5.0	5.9

2. 지중온도 분포 및 변화

시스템의 성능은 지중 열교환기와 열교환을 수행하는 토양의 온도분포, 구성 성분 등의 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 시스템이 설치된 곳에서의 매설 깊이에 따른 지중 온도 변화를 측정하기 위해 시스템을 가동하지 않는 낮시간 동안의 보어홀의 깊이에 따른 온도 변화를 조사하였다.

그림 4를 살펴보면 10m 이내의 온도가 급격히 하강하는 것으로 보아 지하수의 자연수위가 10~20m에 형성되고 있는 것으로 사료된다. 10m 이상의 깊이에서는 외기의 기온 변화에 따른 지하수의 온도변화가 1℃ 미만으로 그 변화가 미미함을 알 수 있다. 30m에서 온도가 미세하게 하강한 것으로 보아 대수층이 존재할 것으로 사료된다. 지하 5m 지점에서의 온도는 외기의 온도변화에 다소 영향을 받지만, 외기 온도가 변동하는 것과 비교하면 상대적으로 안정적이다. 또한 측정기간 동안 지하 10m 이하의 지중온도는 깊이 및 외기 온도의 변동에 상관없이 거의 일정한 값을 보이고 있다.

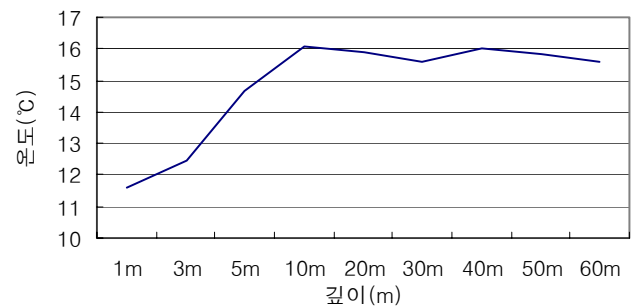


그림4. 보어홀 깊이에 따른 지중온도 분포

시스템 가동시 지하수 배출방법에 따른 지하수 공급온도를 살펴본 결과 보어홀로 재순환시 약 5시간 정도 후에는 지하수 온도가 떨어지는 것으로 보아 본 시스템에서 지하수를 재순환할 경우 보어홀의 부하감당 용량은 5시간 정도인 것으로 판단된다. 또한 지속적으로 이 운전 방식으로 가동할 경우 시스템의 성능에 문제가 발생할

3) 한정상 외 3인(2005), 지열펌프 냉난방 시스템, 도서출판 한림원.

수 있다. 그러나 보어홀로 재순환 후 블리딩할 경우 지하수 온도는 회복되는 것으로 나타났다. 따라서 난방 성능 향상과 지하수 유출 문제를 고려하여 보어홀 재순환과 외부로 배출하는 방법을 자동적으로 제어할 수 있는 시스템이 필요하다.

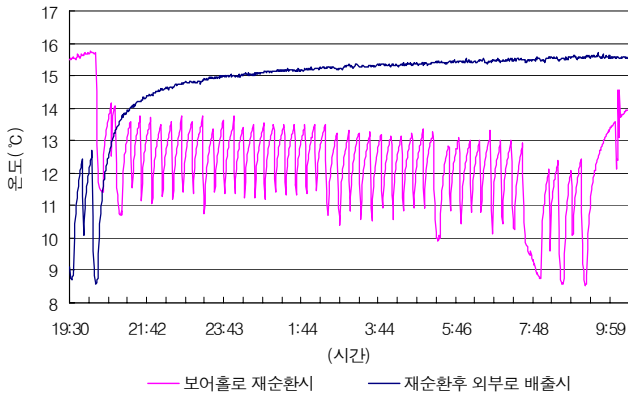


그림5. 지하수 배출방법에 따른 지하수 공급온도 변화

V. 결 론

본 연구에서는 주거용 건물에 적용된 SCW 타입의 지열 히트펌프시스템을 대상으로 난방시 시스템 성능을 분석해 보았다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 지중 온도는 보어홀 입구에서 약 10m 정도까지는 온도가 상승하다가 그 이하로는 일정한 온도를 유지하였다.
- 2) 지하수를 보어홀로 재순환시킬 경우 히트펌프의 난방 성적계수는 4.3~10.1로 평균 6.1이며, 전체 시스템의 난방효율은 평균 5.0으로 나타났다.
- 3) 블리딩 경우 히트펌프의 난방 성적계수는 4.9~11.9의 범위로 평균 7.이며, 전체 시스템의 평균 난방 성적계수는 5.9로 나타났다.
- 4) 블리딩이 시스템의 성능에 영향을 주는 것으로 나타났다.
- 5) 지하수를 재순환할 경우 보어홀의 부하감당 능력은 5 시간 정도인 것으로 나타났다.

본 실증연구를 통해서 소규모 SCW 타입 지열히트펌프시스템의 적용 가능성은 확인했으나 주거용 건물에의 보급 확대를 위해서는 경제성 평가가 필요하므로 추후에는 환경비용을 고려한 경제성 평가를 할 것이며, 장기 운전 데이터 분석을 통해 지중열 온도 변화에 관한 연구를 실시할 것이다.

기 호 설 명

COP	: 성적계수 [-]
C_p	: 비열 [J/kg · K]
m	: 질량유량 [kg/s]
Q	: 열전달량 [W]
T	: 온도[°C]
I	: 전류 [A]
V	: 전압 [V]
W_c	: 압축기 소비전력 [W]
W_p	: 순환펌프 소비전력 [W]
W_f	: 팬 소비전력 [W]

그리스 문자

ϕ	: 역률 [-]
--------	----------

하첨자

h	: 난방
in	: 입구
out	: 출구

참고 문헌

1. EPA(1993), Space Conditioning : The Next Frontier. Office of Air and Radiation, 430-R-93-0044(4/93), EPA, Washinton, D.C.,
2. 임효재 외(2006), 개방형 지열 히트펌프 시스템의 운전 특성, 대한설비공학회 2006 하계학술발표대회 논문집 pp.701~706
3. 1 Lund, J. W. and Freeston, D. H.(2001), World Wide direct use of geothermal energy 2000, Geothermics, Vol. 30, pp. 29-68.
4. Shin, H. J., Ahn, C. H. and Cho, C. S.(1995), Overview for the effective use of geothermal energy, Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 24, No. 4, pp. 409-419.
5. 박성룡(2006), 지열시스템 설치 사례분석, 설비 | 공조 냉동 위생(한국설비기술협회지), v.23 n.3.
6. Kavanaugh S. P. and Rafferty K.(1997), Ground source heat pump - Design of geothermal systems for commercial and institutional buildings, Proceedings of the ASHRAE, Atlanta Georgia, pp. 72-113.
7. 조정식 외(2005), 지열에너지이용 냉난방 시스템 성능분석, 지열에너지 저널, 제 1권 1호.
8. 김용식 외(2006), 주상복합 건축물에 적용된 지열이용 히트펌프 시스템의 냉방성능 평가, Journal of the Korean solar Energy Society Vol. 26, No.4.
9. 임효재(2005), 지열시스템의 특성 비교, 지열에너지저널 제1권 제 2호.
10. 산업자원부, 지열냉난방 시스템 실증연구, 2005년 5월
11. 김진한 외(2006), 스탠딩컬럼웰을 적용한 지열히트펌프 실증 연구사업 최종보고서, 산업자원부
12. 산업자원부(2005), 지열냉난방시스템 성능평가 및 엔지니어링 기술 확보.