Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering
Vol. 25, No. 8 (2013), pp.464-470
http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2013.25.8.464

신재생에너지 설비 설계방안 개발 및 시뮬레이션 사례 연구

Development of a Renewable Energy Facility Design and Its Simulation Case Study

신영기(Younggy Shin)†, **김은주**(Eun Joo Kim), **김태형**(Tae Hyung Kim)
세종대학교 기계공학과, 한국건설기술연구원
Department of Mechanical Engineering, Sejong University, Seoul 134-747, Republic of Korea
Korea Institute of Construction Technology, Gyeonggi-Do 411-712, Republic of Korea

(Received March 28, 2013; revision received June 17, 2013)

Abstract Economic feasibility was conducted regarding the regulation that dictates obligatory installation of renewable energy facilities in small proportion. A concern is how to allocate the capacities of candidate facilities (solar collectors, PV cells and geothermal heat pumps) with minimum cost, and meet the obligatory energy supply proportion. A design rule has been developed, with which a designer can tune his or her design strategy between installation cost and LCC. This was derived mainly from documents regarding the KEMCO installation guide. It was concluded that PV was the cheapest, with respect to installation cost, but a geothermal heat pump was the most recommended, when LCC was also taken into account. The proposed design result was also confirmed, by simulation results obtained from Energy Plus.

Key words Renewable Energy(신재생에너지), LCC(생애주기비용), Energy Plus(에너지 플러스), Solar Collector (태양집열기), PV(태양광), Geothermal(지열)

† Corresponding author, E-mail: *ygshin@sejong.ac.kr*

기호설명

C : 설비 용량 [kW or m^2]
E : 연간 에너지량 [kWh/yr]
e : 용량당 연간 에너지량 [$kWh/unityr$]
f : 인자(factor)
i : 실질 할인율
i' : 이자율
i'' : 물가상승율
N : 설비 종류 총 수
n : 경과 년수
P : 현재가치
S : 면적 [m^2]

그리스 문자

ρ : LLC 투자 가중치

하첨자

b : 건물(building)
c : 보정(correction)
$inst,\ i$: 설치(installation)
j : 설비 종류 인덱스
m : 유지보수
p : 생산(production)
r : 신재생 설비(renewable)

1. 서 론

고갈되어가는 화석연료 의존도를 줄이고 화석연료 연소로 발생하는 이산화탄소 발생량을 줄이기 위한 방안으로 우리나라를 포함한 선진국들은 신재생에너지 사용량을 점차적으로 확대하고 있다. 우리나라의 대표적 실천방안이 신재생에너지 설치의무화 제도이다. 공공기관이 신·증·개축하는 연면적 1,000 m^2 이상의 건축물에 대하여 예상에너지사용량의 10% 이상을 신·재생에너지 설비 설치에 투자하도록 의무화하는 제도로서 2013년 1월 1일부터 공급의무비율 11% 이상을 적용하게 된다.

신재생에너지 설비가 아직은 시장 경쟁력을 확보하고 있지 못하기 때문에 의무화 제도를 통해 확대를 꾀하고 있으나 수요자 입장에서는 정해진 제도 내에서 경제성이 극대화되는 설계를 하고자 할 것이다. 에너지관리공단에서는 수요자의 선택이 용이하도록 설계가이드를 제시하고 있으나[1] 최종 설계는 수요자가 판단해야 한다.

ⓒ SAREK

실제의 설계사례를 보면 완주군청사의 경우[2] 연면적 14,847 m^2에 대하여 106 kW의 지열열펌프와 15.75 kW의 평판형 태양광 시스템을 설치하였다. 설비설계 사무소에서는 관련된 여러 구속조건을 고려하여 최적의 설계를 수행하였을 것이나 그 기준을 객관적으로 알기는 어려운 상황이다.

본 연구에서는 각 건물과 관련된 특수한 상황은 배제하고 에너지관리공단의 설비 설계 가이드라인에 기반한 수요자의 최적설계 방안을 일반론 형태로 제안하고자 한다. 그리고 실제 건물의 에너지 소비량과 건축도면을 기반으로 구축한 Energy Plus 모델 건물에 대하여 설계한 신재생에너지 설비를 적용하여 설계방안의 타당성과 추가 검토사항을 서술하고자 한다.

2. 공공기관 설치의무화 제도

2.1 제도 개요

본 제도는 2004년 3월부터 시행되었으며 신에너지 및 재생에너지 개발・이용・보급 촉진법 제12조 제2항 및 동법 시행령 제15조의 개정을 통하여 대상 건축물을 연면적 3,000 m^2 이상에서 연면적 1,000 m^2 이상으로 대폭 확대되었으며, 설치기준 또한 총 건축공사비의 5% 이상에서 예상 총 에너지 사용량을 기준으로 연도별로 강화되었다.[3]

그 기준에 따르면 2012년 10%에서부터 매년 1%씩 증가하여 2018년 16%, 2020년에는 20%로 공급비율이 증가한다.

2.2 공급 의무비율 산정방법

신재생에너지 공급의무 비율은 건축물에서 예측되는 연간 총 에너지사용량(E_b)에 대하여 신재생에너지 설비를 이용하여 공급되는 연간 에너지 생산량(E_r)의 백분율로 계산된다.

예상 에너지 사용량은 건축 연면적(S_{floor}), 용도별 건축물의 단위면적당 연간 예상 에너지 사용량(e_b), 건축물 용도별 보정계수($f_{b,c}$) 그리고 지역별 기상조건에 따른 에너지 사용량의 차이를 반영하기 위한 지역계수($f_{b,r}$)의 곱으로 구할 수 있다.[1]

$$E_b = S_{floor} e_b f_{b,c} f_{b,r} \tag{1}$$

식(1)에서 S_{floor}를 제외한 우변의 모든 계수는 에너지관리공단 설계 가이드라인에 명시되어 있다.[1].

신재생에너지 연간 생산량(E_r)은 신재생에너지원별 단위 에너지생산량($e_{p,j}$), 원별 용량(C_j), 원별 보정계수($f_{c,j}$)의 곱으로 구할 수 있다.[1] 여기서 N은 설계에 반영된 신재생에너지 설비의 총 수이다.

$$E_r = \sum_{j=1}^{N} e_{p,j} C_j f_{c,j} \tag{2}$$

3. 설치의무화 제도에 따른 설비 설계방안

3.1 투자비 최소화 문제 정의

설계를 위한 가정은 다음과 같다.

(1) 에너지 사용량은 1차 에너지 기준이다.
(2) 1차 에너지 비용은 가스 발열량 비용으로서 2013년 2월 도시가스 회사 평균 단가인 21.02원/MJ을 적용한다.
(3) 업무용 건물의 경우 전기요금은 평균 90~120원/kWh (연평균)으로 알려져 있으므로[4] 전기요금은 105원/kWh로 가정한다.
(4) 태양광 발전 에너지는 자체 소비하는 것이 아니라 한전에 REC 시장가격으로 판매한다. 1 MWh의 현재가격은 16만 원으로 가정한다.[5]

신재생에너지 생산량 공급비율은 f_s로서 인증 받을 신재생에너지 생산량 E_r과 다음의 관계에 있다.

$$E_r = f_s E_b \tag{3}$$

초기 설치비 P_{inst}는 원별 용량과 단위 용량당 설치비 $p_{i,j}$의 곱으로 다음과 같이 표현된다.

$$P_{inst} = \sum_{j=1}^{N} p_{i,j} C_j \tag{4}$$

신재생에너지 설비의 생애주기비용(LCC) P_{life}는 다음과 같이 계산된다.

$$P_{life} = P_{inst} + \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \sum_{j=1}^{N} p_{m,j} \tag{5}$$

여기서 $p_{m,j}$는 에너지원별 유지보수비용으로서 단위 용량당 유지보수비용 m_j로 표현하면 다음과 같다.

$$p_{m,j} = m_j C_j \tag{6}$$

i는 실질할인율(Effective discount rate)로서 다음과 같이 계산된다.

$$i = \frac{1+i'}{1+i''} - 1 \tag{7}$$

그런데 신재생에너지 설비는 기존 설비와 달리 설비에 투입되는 1차 에너지량 보다 더 많은 에너지를 생산하는 설비이므로 초과생산에 따른 경제적 이득을 고려할 필요가 있다. 따라서 식(5)를 식(6)과 같이 변형한다.

$$P_{life} = P_{inst} + \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \sum_{j=1}^{N} (p_{m,j} - p_{p,j}) \tag{8}$$

여기서 $p_{p,j}$는 초과 에너지 생산에 의한 원별 금융이득으로서 다음과 같이 표현된다.

$$p_{p,j} = (e_{p,j} s_j - e_{k,j} c_j) C_j \tag{9}$$

위 식에서 $e_{p,j}$, $e_{k,j}$는 원별 단위 용량당 에너지 생산량 및 투입량, s_j 및 c_j는 원별 생산 및 투입된 에너지 단가이다. $e_{k,j}$는 태양광 및 태양집열기의 경우 $e_{p,j}$에 비해 매우 작으므로 무시하고 지열 열펌프 시스템의 경우에는 다음과 같이 근사한다.

$$e_{k,j} = e_{p,j} / COP_{comb} \tag{10}$$

COP_{comb}는 냉방 및 난방 평균 COP를 각각 연간 생산된 냉방 및 난방 에너지량으로 가중치를 둔 평균값으로 계산한다.

지금까지 서술한 구속조건을 만족하면서 최종적으로 정해야 하는 미지수는 원별 용량 C_j이다. 그런데 C_j의 선택은 투자비용 P_{inv}와 관련되며 초기 설치비 P_{inst}와 생애비용 P_{life}중 어디에 비중에 더 두느냐에 따라 달라지고 그 비중은 논리적 문제가 아닌 투자자의 투자정책 결정에 따른다. 따라서 LCC 투자비중 ρ를 기준으로 최종 투자비를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$P_{inv} = (1-\rho) \times P_{inst} + \rho \times P_{life} \tag{11}$$

위 식에 식(8)을 대입하여 더 전개하면

$$P_{inv} = P_{inst} + \rho \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \sum_{j=1}^{N} (p_{m,j} - p_{p,j}) \tag{12}$$

이제 결정해야 할 원별 용량 C_j항이 모두 포함된 식으로 식(12)를 다시 정리한 결과는 다음과 같다.

$$P_{inv,opt} \le \sum_{j=1}^{N} p_{i,j} C_j + \rho \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \times \sum_{j=1}^{N} (m_j - e_{p,j} s_j + e_{k,j} c_j) C_j \tag{13}$$

위의 최소 투자비 $P_{inv,opt}$와 관련된 구속조건은 식(1)~식(3)을 정리한 다음 관계식이다.

$$f_s S_{floor} e_b f_{b,o} f_{b,r} = \sum_{j=1}^{N} e_{p,j} f_{c,j} C_j \tag{14}$$

3.2 최적화 문제 풀이 방안

식(13)~식(14)는 다음과 같은 최적해 문제의 표준형에 해당한다.

$$f_{min} \le f(\boldsymbol{x}) \text{ subject to } c(\boldsymbol{x}) = 0 \tag{15}$$

여기서 벡터 $\boldsymbol{x}$는 최적화할 용량벡터 $C = [C_1\ C_2 \cdots C_N]^T$이다. 이와 같은 일반형 문제에 대한 가장 보편적인 해법은 다음과 같은 라그랑지안 승수(Lagrangian multiplier)의 2차 미분형인 Hessian 함수를 적용하는 것이다. 이 함수는 가능한 해의 범위 내에서의 국소곡률(local curvature)로서 국소 최소 및 최대에서 0이 된다.

$$\nabla_H^2 L(\boldsymbol{x}, \lambda) = \nabla^2 f(\boldsymbol{x}) + \lambda \nabla^2 c(\boldsymbol{x}) \tag{16}$$

그런데 식(13)과 식(14)는 모두 선형으로서 2차 미분이 0이므로 식(16)에 대입하면 정의역 $\boldsymbol{x}$의 모든 범위에 걸쳐 0이 된다. 따라서 1차 미분은 일정한 상수이므로 최적해는 정의역 $\boldsymbol{x}$ 내부에 서 최소값 f_{min}을 갖는 것이 아니라 정의역의 경계에 위치함을 의미한다.

이는 식(13)과 식(14)를 충족하는 범위 내에서 가장 유리한 신재생에너지 설비에게 허용되는 최대 용량까지 배분되고, 그래도 남으면 차순위 설비에게 할당되는 순으로 하여 최소값 f_{min}을 만족하는 용량까지 우선순위 배분 방식으로 정해진다는 것을 의미한다. 그러므로 설계자는 적용 대상 건축물이 처한 특수한 구속여건들을 반영하여 각 후보 설비에 대하여 허용가능한 용량 범위를 먼저 세심하게 정하는 것이 매우 중요하다.

4. 시뮬레이션에 의한 적용 사례

4.1 적용 대상 건물 모델

전 절에 개발한 설계방안을 적용하기 위하여 건물 모델을 개발하였다. 건물 에너지 모델 프로그램은 Energy Plus를 적용하였다.[6] Energy Plus는 미국 에너지부(DOE)가 건물 에너지 절약설계를 위해 전 세계에 무료 배포하는 프로그램으로서 미국 샌프란시스코 연방정부 건물 설계 등에 적용되어 정확성과 신뢰성이 입증되어 왔다.

ⓒ SAREK

Fig. 1 Real office building and its model in Google Sketchup.

본 연구에서는 서울에 위치한 Fig. 1의 사무용 빌딩의 건축자료와 에너지 소비 계측량을 토대로 Energy Plus 기반 모델링을 수행하였다. Fig. 1의 Google Sketchup 도면은 Energy Plus zoning 설계기준에 따라 실제도면을 이용하여 작성하였다. 지상 9층, 지하 2층이며 지상층은 사무실, 지하 1층은 식당 및 매점, 지하 2층은 주차장으로 구성되어 있다. 주차장을 제외한 건축연면적은 5,400 m^2이다. 220 RT 흡수식 냉온수기로 냉난방을 하고 추가난방을 위해 증발량 1,000 kg/h인 노통연관식 보일러가 구비되어 있다. 정풍량식 AHU 3대의 풍량은 각각 16,000, 17,100 및 20,500 m^3/h이며 각각 지하 1층 근린생활시설, 1~4층 사무실과 홀, 5~9층 사무실과 홀을 담당하고 있다. 그 외에 용량 2.67 kW, 3.95 kW인 팬코일 유닛이 각각 150대, 15대가 갖추어져 있다.

설비사항을 반영하고, 설비 운전스케줄, 외기 환기율 및 존 설정 온도를 조정하여 Fig. 2와 같이 계측된 월별 가스 소비량과 유사한 시뮬레이션 결과를 얻었으며 연간 소비량 오차는 5.07%였다.

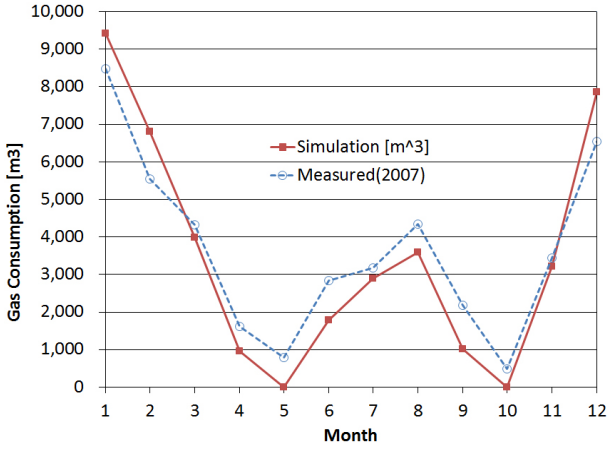


Fig. 2 Comparison of simulation result.

4.2 신재생에너지 설비 설계수치 적용

이제 이 건물이 가상의 신축건물로서 10%의 신재생에너지 설비 설치의무화 대상이라고 가정한다. 서울지역, 상업용 업무시설 용도, 연면적 5,400 m^2에 대하여 에너지관리공단 설계가이드에 제시된 계수들을 적용한 결과 연간 예상에너지 사용량은 $3.85\times10^6\ kWh/yr$이다. Table 1은 신·재생에너지 설비의 지원 등에 관한 지침 공고 제2012-7호 제37조에 의거하여 에너지관리공단이 정한 값이다. 따라서 신재생에너지 설비 설치와 관련한 에너지 생산량 및 설치단가는 이 표를 참고하도록 되어 있다. Table 1에는 설비단위 용량당 에너지 생산량, 보정계수 및 해당 설비 용량 당 설치원가가 제시되어 있다. Table 1에서 단위 중 unit은 해당 설비의 용량 단위인 kW 또는 m^2을 의미한다. Table 1에는 3가지 에너지 유형(태양광, 태양열, 지열)의 신재생에너지 설비가 있다. 각 유형에서 한 모델을 선택하고 건축물의 여건에 적합하게 용량의 상한을 정한다. 가령 태양집열기는 설치가능 면적 및 필요 급탕부하를 동시에 충족하는 상한을 정한다. 현재는 여름철에 급탕부하 이상의 태양열을 소비할 방법이 없기 때문이다.

본 연구에서는 Table 1의 설비 중 고정형 태양광 전지, 단일 진공관형 태양집열기 그리고 지열 시스템의 적용을 고려하는 것으로 가정한다. 급탕 설비 용량 상한을 정하기 위하여 김민경 등[7]이 연구한 서울소재 건물의 에너지 소비량 분포를 참고하였다. 연구결과에 의하면 업무시설용 건물의 급탕부하 비중은 2.8%이다. 이 양을 Table 1의 단일진공관형 집열기로 생산하기 위한 집열면적은 145 m^2가 필요하다. 지열 시스템에 허용가능한 용량은 이미 설치된 냉온수기 용량인 220 RT 즉, 770 kW가 최대허용 용량이다. 태양광 전지(PV)는 옥상에 설치하는 것으로 가정하면 최대 허용면

Table 1 Energy production and installation parameters according to energy sources[1]

Energy source		Specific energy production (kWh/unit-yr)	Correction factor	Installation cost (1,000 won)
PV	Fixed	1,358	6.17	6,247/kW
	Tracking	1,765	5.35	7,041/kW
Solar collector	Flat plate	596	1.98	1,012/㎡
	Single-vacuumed	745	1.82	1,160/㎡
	Double-vacuumed	745	1.61	1,012/㎡
Geothermal		2,045	0.72	1,260/kW

적은 옥상층 전체면적인 498.7 m^2으로 태양집열기와 설치 면적이 겹치지 않아야 한다. PV의 용량은 면적이 아닌 정격출력 기준이므로 해당면적에 설치 가능한 출력용량을 추정해야 한다. PV 모듈 크기와 최대출력 간의 상관관계를 보면[8], 0.14 kW/m^2이므로 옥상에 설치 가능한 PV최대 허용용량은 69.8 kW이다.

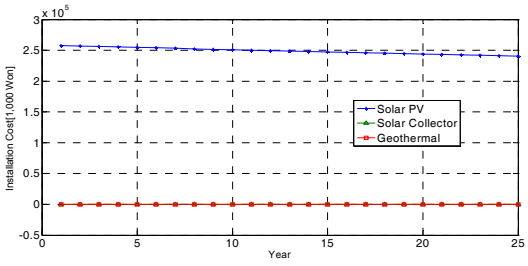
그 외 설계에 필요한 계수들을 정해야 한다. 식(10)의 총합 지열시스템 성능계수 COP_{comb}는 냉방과 난방 COP의 평균(3.51+3.39)/2 = 3.45를 취하였다.[9]

설비 LCC인 식(8)의 계수 결정이 설비 설계에 매우 중요하다. 원별 유지보수비용 $p_{m,j}$의 정확한 산출은 어려우나 Martin 등[10]이 조사한 유지비용 분석에 의하면 지열시스템은 2.13 ¢/ft^2 · yr이 소요된다. DOE[11]도 유사한 비용을 제시한다. 본 연구용 건물 모델에서는 공조면적 4,426 m^2에 770 kW의 냉온수기가 설치된 상황이므로 단위용량 kW당으로 유지보수 비용을 환산하면 147원/$kW-yr$이다. EPRI[12]의 분석에 의하면 Solar PV의 유지관리비용은 47-52 $/$kW-yr$($\approx$ 59,400원/$kW-yr$)이다. 태양열 집열기는 유지관리비가 설치비의 0.5~1.0% 수준으로 알려져 있으므로[13] 0.75%로 정하기로 한다. 용량당 설치비는 Table 1의 자료를 적용한다. 식(9)의 원별 에너지 생산량 $e_{p,j}$는 Table 1을 적용한다.

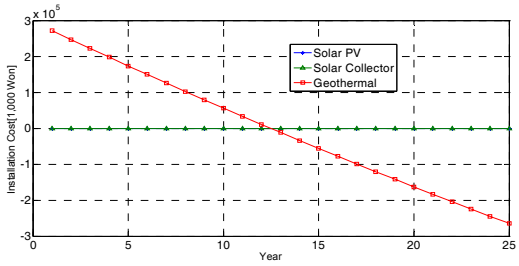
4.3 설계 결과

식(13), 식(14)로 구성된 최적해를 구하기 위하여 Matlab에 내장된 Optimizatin tool을 활용하였다.[14] Fig. 3은 투자전략에 따른 경과년수 별 현가(Present value) 비용 추이를 나타낸다. 초기 투자비 최소화에 목적을 두면 PV 설비에만 모두 투자하는 것으로 41.4 kW 용량에 258 백만 원이 소요되었다. Fig. 3(a)에서 PV 이외 설비의 설치비가 0이 된 이유는 해당 설비들이 설치되지 않았기 때문이다. 즉 개별 설비가 아닌 총 설치비 관점에서 그래프를 작성하였다. 25년 수명 기준의 LCC 비용 최소화 전략을 선택한 경우에는 Fig. 3(b)에서 보는 바와 같이 235.6 kW의 지열시스템 용량에만 투자되어 초기 투자비용은 272백만 원이 소요되었다. Fig. 3(b)에서 음수가 나타나는 이유는 식(8)에서와 같이 신재생에너지 설비는 기존 설비와 달리 설비에 투입되는 1차 에너지량보다 더 많은 에너지를 생산하는 설비이므로 초과생산에 따른 경제적 이득이 초기 설치비 및 운전유지비용을 상각하고도 남기 때문이다.

초기 투자비용은 별 차이가 없으나 LCC 비용 관점에서는 그 차이가 매우 커서 지열시스템 채택이 유리함을 알 수 있다. Fig. 4에서는 LCC 투자비중 ρ에 따른 투자비용 추이를 검토하였다. 초기투자비만 고려한 경우(ρ = 0)에만 좌측 상단의 데이터이고 ρ를 10%부터 100%까지 점차 증가시킨 경우는 모두 Fig. 3(b)와 같이



(a) Minimum installation cost



(b) Minimum life cycle cost

Fig. 3 Life cycle cost according to investment strategies.

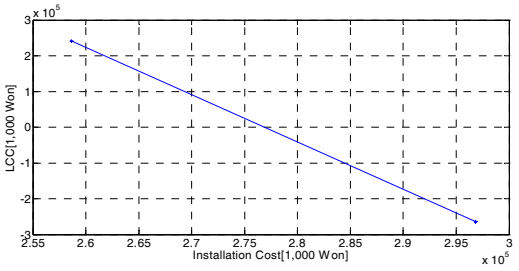


Fig. 4 Installation cost vs. LCC.

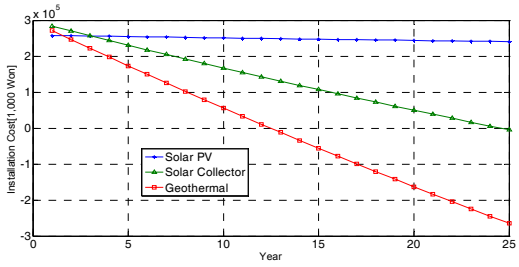


Fig. 5 LCC comparison with each equipment installed only.

지열 시스템만을 채택하는 결과를 가져왔다. 이러한 추세의 원인을 파악하기 위해 신재생에너지 생산량을 각 후보 단일 설비만으로 설치한 경우의 LCC 추이를 Fig. 5에 도시하였다. Fig. 5를 보면 초기 설치비는 PV가 약간 우수하나 비용 대비 전력생산량이 적고 지열시스템은 약 12년이 경과하면 투자비용이 회수됨을 알 수 있다.

ⓒ SAREK

4.4 Energy Plus 시뮬레이션 결과

앞에서 설계한 초기 설치비 기준의 PV 설계 용량과 LCC 기준 설계결과인 지열시스템 용량을 건물 모델에 반영하여 시뮬레이션에서의 LCC 거동을 관찰하였다. PV 모듈은 12% 효율로서 Fig. 6과 같이 건물 옥상에 남향 45도 각도로 296 m^2를 설치하였다. 지열 시스템은 235.6 kW용량의 열펌프를 흡수식 냉온수기와 병렬로 연결하여 해당 부하 범위에서는 열펌프가 우선순위로 운전되게 하였다.

시뮬레이션 결과 PV로 생산한 1차 에너지는 11,361 kWh/yr로서 Table 1에 근거하여 계산한 56,221 kWh/yr의 20.2% 수준이었다. 지열 시스템의 경우 시뮬레이션에 의해 생산된 1차 에너지는 350,564 kWh/yr로서 Table 1에 의한 계산값 481,802 kWh/yr의 72.8% 수준이었다. 이는 시뮬레이션 사례이므로 다른 관련 연구들의 발표를 종합한 후 신중한 판단이 필요하지만 에너지관리공단의 설계가이드에 의한 에너지 생산량은 다소 높은 값을 예측하는 것으로 판단되나 앞서 도출한 경제성 설계 방안의 결론과 일치하는 추세를 나타낸다.

5. 결 론

신재생에너지 설치의무화 제도에 따른 설비설계 최적화 방안을 경제성 관점에서 최적화 관계식을 유도하고 실제 건물에 도출된 설계방안을 적용하였다. 그리고 설계 평가를 위해 대상건물에 대하여 보정한 Energy Plus 건물 모델에 설계방안을 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 에너지관리공단 설치의무화 사업안내서에 의거하여 초기 설치비와 LCC를 모두 고려할 수 있는 설비투자 관계식을 얻었다.

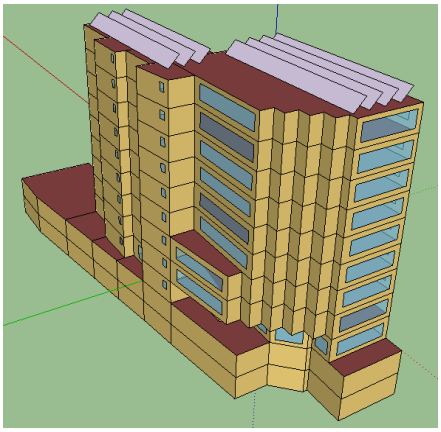


Fig. 6 Building with PV installed.

(2) 설비 용량 결정식은 다변수 선형식이기 때문에 허용 용량범위에서 비교우위가 높은 설비가 허용 용량까지 우선배분되는 특성을 나타낸다.
(3) 초기 투자비 경제성을 위해서는 PV가 비교 우위에 있으나 가격 대비 에너지 생산이득이 지열시스템보다 매우 낮고 초기 설치비도 거의 비슷한 수준이다.
(4) LCC도 고려하여 투자한다면 지열 시스템만으로 설계하는 것이 가장 경제적이다.
(5) 시뮬레이션과의 비교 결과 설계가이드의 지열 에너지 생산량은 유사한 반면 PV 생산량은 차이가 커서 추가적 연구가 필요하나 설계 가이드 예측량보다는 작을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 초고층빌딩 설계기술 연구단 사업의 재생에너지 활용기술개발 일환으로 지원되었다.

참고문헌

1. Renewable Energy Center, 2011, Introduction to the regulation of obligatory installation of renewable energy facilities, Download site of http://www.energy.or.kr, pp. 7-8.
2. Byeon, W. S., Hwang, D. K., and Han, S. K., 2013, Certification Case of Building Energy Efficiency Grade of Wanjoo-gun Office Building and Administration Town, Magazine of the SAREK, Vol. 42, No. 2, pp. 28-37.
3. Park, C. Y., 2011, Analysis of methods to estimate renewable energy production applied to building, Construction Technology Ssangyong, Summer 2011, pp. 17-23.
4. KEMCO, 2008, Technology Information Net Q&A, http://kemco.or.kr/iecenter/net.
5. Park, K. J., 2012, How Much Did REC Market Get Mature?, The Korea Electric Power Times, Oct. 29th.
6. U.S. Department of Energy, 2010, Energy Plus The Most Powerful Predictor of a Building's Energy Efficiency, www.EnergyPlus.gov.
7. Kim, M. K., 2012, Energy Consumption Estimation Model of Buildings in Seoul, Seoul Institute, Working Paper 2012-PR-33.
8. ZEDfabric Company Ltd, 2013, ZED Products Catalog, heatweb.com/literature/ZedFactory%20All.pdf.
9. Kong, H. J., Kang, S. J., Yun, K. S., and Lim, H. J., 2013, An Experimental Study on the Cooling and Heating Performance of a Residential Ground Source Heat

Pump System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, No. 3, pp. 156-163.
10. Martin, M. A., Durfee, D. J., and Hughes, P. J., 1999, Comparing Maintenance Costs of Geothermal Heat Pump Systems with other HVAC Systems in Lincoln Public Schools : Repair, Service, and Corrective Actions, Oak Ridge National Laboratory, 1999 ASHRAE Annual Meeting.
11. Geothermal Technologies Office of DOE, 2013, Geothermal FAQs, http://www1.eere.energy.gov/geothermal/faqs.html.
12. EPRI(Electric Power Research Institute), 2010, Addressing Solar Photovoltaic Operations and Maintenance Challenges, www.epri.com.
13. NREL, 2012, Distributed Generation Renewable Energy Estimate of Costs, www.nrel.gov.
14. Mathworks, 2012, Matlab Help Manual, Matlab 2012a.

ⓒ SAREK