

교육시설의 신재생에너지 시스템 적용성 평가 방법론에 관한 연구

*박 은미¹⁾, 장지현¹⁾, 남 현진¹⁾, 배 민호¹⁾, 박 효순²⁾, 김 재민³⁾

Study on the feasibility test of Renewable Energy Systems for Schools

*Eunmi Park, Jihyun Jang, Hyunjin Nam, Minho Pae, Hyo soon Park, Jaemin Kim

Key words : Schools(학교), Renewable Energy (신재생에너지), Feasibility (적용성), Assessment methodology (평가 방법론)

Abstract : In terms of operation profiles and building characteristics, Schools, as public facilities, are one of the most suitable buildings for small scale Renewable energy systems since they have its energy demand on daytime mostly and large open area, roof surface available for the installation of Renewable energy systems such as solar collectors or Photovoltaic pannels. This paper presents a methodology of the feasibility test for Renewable energy systems to be intalled at schools. The methodology is based on the analysis of the demand/supply profiles dynamic matching. a case study is also presented to test the applicability of the proposed assessment methodology.

1. 서론

정부는 공공기관 신재생에너지 설치 의무화 제도 등을 바탕으로 신재생에너지 시스템 관련기술 개발 및 시스템 적용 실적을 증가시키기 위한 노력을 추진해 왔다. 이에 신축건물 98.5%에 해당하는 259건이 신재생에너지설비의 설치계획을 수립하는 등 가시적인 성과를 거두기도 하였다.⁽¹⁾

공공건물로서 학교시설은 최근 기능향상(구식의 냉난방시스템 교체 등)과 컴퓨터 등의 기자재 보급 그리고 급식에 따른 에너지 소비량이 증가하고 있어 에너지 절감 대책이 필요해 지고 있다.

또한 학교시설은 주간 사용빈도가 높고, 이용 가능한 넓은 대지와 지붕면 그리고 모듈화된 공간 구성을 함께 지니고 있어 태양에너지와 기타 다양한 신재생에너지를 복합적으로 적용할 수 있는 최적의 건물유형 중 하나라고 할 수 있다.

본 연구에서는 학교시설을 대상으로 수요/공급 매칭을 기반으로 하는 신재생에너지 적용성 평가 방법론을 제시하고자 하며, 사례 건물을 대상으로 방법론의 활용성을 검토하였다.

를 기반으로 경제성을 분석하여 적용성을 검토하는 연구가 보편적이었다(연구사례로 이관호(2006)⁽²⁾, 이태호(2007)⁽³⁾, 김현일(2003)⁽⁴⁾의 연구 참고).

경제성 평가 방법론은 초기투자비용에 대한 생산전력을 통한 회수기간을 산정하여 분석하고 있다. 초기투자비와 신재생에너지시설의 용량변화에 따른 연간 운전비의 단순비교는 에너지의 수요를 고려하지 않은 공급위주의 적용으로 시스템이 과대설계 되거나 운전방식이 적정하지 못하는 등의 문제가 발생하게 된다. 특히, 건물에 설치하는 신재생에너지 시스템의 경우 그 용량이 소규모이며 전력망을 통해 출력함으로써 얻는 이익이 큰 의미가 없는 경우 그 효율성이 더 떨어지게 된다. 에너지관리공단의 보고에 따르면 신재생에너지시스템 설치량 대비 실제 발전량은 16%에 그치는 것으로 나타났고, 그 주요원인으로는 시스템 도입시 적정성평가기법의 미흡으로 인한 경제성저하 등이 지적되고 있다.⁽⁵⁾

학교 건물 혹은 부지 등에 설치하는 신재생에너지원을 이용한 발전은 소규모 분산형 에너지 공급시스템으로 전력망과 연계될 경우에는 기후등에 영향을 받아 일정하지 않는 공급 출력으로 전력망

2. 신재생에너지 도입시 적용성 평가

방법상의 이슈

2.1 수요/공급 매칭 기반 적용성 평가

현재까지 진행된 연구들은 현재 많이 사용되고 있는 에너지시스템에 대한 비교 와 단순계산법 및 시뮬레이션을 통해 연간 발전량을 산출하고 이

1) DASS Consultants, 연구원
E-mail : bagum83@dasskorea.com
Tel : (02) 913-2585 Fax : (02)949-2585
2) 에너지 기술 연구원, 책임연구원
E-mail : hspark@kier.re.kr
Tel : (042) 860-3211
3) University of Strathclyde, United Kingdom
E-mail : min@esru.strath.ac.uk
Tel : (44) 141-548-3313

에 전압 강하/유동 현상 등으로 전체 전력망의 운영과 전력 품질에 영향을 줄 수 있다. 반면, 이러한 분산형 공급 시스템이 배전망에 연결하지 않고 부지 내 수요를 충족할 경우 송전 손실이 적고 전체 전력망에 걸리는 전력 수요 부담을 줄여 그 효율성을 증가시킬 수 있다.

이러한 문제점을 극복하고 안정적인 송전선로의 운영과 전력품질의 향상을 위해서는 분산형 에너지 시스템의 출력을 가능한 한 수요 측에 바로 공급하고 전력망으로의 출력을 최소화 하는 운영 전략이 요구된다. 이러한 운전 전략을 위해 건물의 에너지 수요량과 그 수요가 발생하는 시점 그리고 신재생에너지시설의 에너지 생산량과 생산되는 시점을 비교 분석하는 평가방법이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 동적 수요/공급 매칭 알고리즘에 기반한 학교용 신재생에너지 적용성 평가 방법을 제안한다.

2.2 매칭 알고리즘

수요와 공급 프로파일의 매칭은 매 순간을 평가하기 위해서 수학적 기법이 요구된다.

$$CC = \frac{\sum_{t=0}^n (D_t - d) \cdot (S_t - s)}{\sqrt{\sum_{t=0}^n (D_t - d)^2 \cdot \sum_{t=0}^n (S_t - s)^2}}$$

CC(Correlation Coefficient) 식은 수요와 공급의 상관관계를 나타내기 위한 기법으로써, 결과값은 -1과 1 사이의 계수를 가지며 최적의 상관관계 계수 1을 기준으로 낮아질수록 적합도가 낮아진다. Dt는 시간별 수요, St는 시간별 공급, d는 기간 평균 수요, s는 기간 평균 공급을 나타낸다.

$$IC = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{t=0}^n (D_t - S_t)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{t=0}^n (D_t)^2 + \frac{1}{n} \cdot \sum_{t=0}^n (S_t)^2}}$$

IC(Inequality Coefficient) 식은 수요 공급의 패턴 일치도 즉 매칭 정도를 나타내는 것으로 0과 1사이의 계수를 가지며 0은 최적의 매칭, 1은 아무런 매칭관계가 없음을 나타낸다.⁽⁶⁾

3. 소프트웨어 분석 틀

본 연구에서는 수요와 공급을 매칭 하기 위해 Merit⁽⁶⁾이라는 프로그램을 사용하였다. Merit은 건물이나 단지규모의 에너지계획을 수립하기 위한 프로그램으로써, 정책입안자가 자연형 에너지 자원을 사용하고자 할 경우 그 시스템에 대한 공급량과 건물이 원하는 요구량에 대한 용량 비교를 분석하여 최적의 설계를 할 수 있도록 정보를 제공한다.

이러한 수요-공급 시스템과 관련된 광범위한 데이터(즉, 전력사용량, 냉난방부하, 급탕 부하, 에너지 시스템 특성 데이터, 기상데이터 등)는 Entrak⁽⁷⁾이라는 에너지 정보 시스템을 사용하여

관리하며, 분석시 EnTrak 내의 데이터베이스와 연동하여 데이터를 제공받는다.

이 정보 시스템은 SQL 데이터베이스 프로토콜을 통해 인터넷상에서 정보 공유가 가능하며, 다른 에너지 시스템과 관련된 의사지원 소프트웨어들과 데이터 공유를 통해 다양한 규모의 에너지 계획을 수립하는 데 활용 할 수 있다.

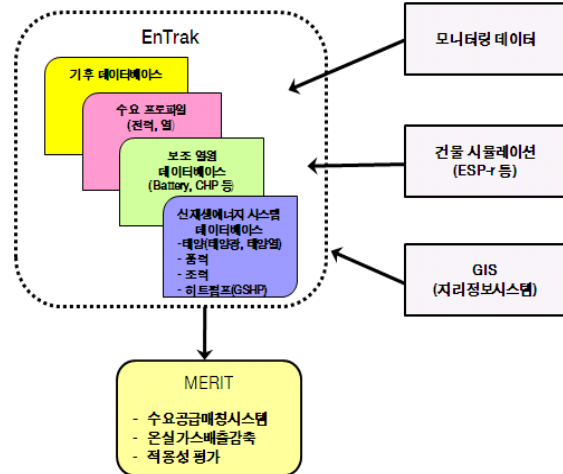


그림 1. Merit 과 EnTrak 의 신재생에너지 적용성 평가 시스템

4. 학교 건물 대상 사례 분석

난방 부하를 예측하기 위해 건물 에너지 시뮬레이션 실행하였고, 전력 부하는 에너지관리공단의 통계 조사 데이터를 활용하였다.

4.1 건물 개요.

신재생에너지 시스템 기술의 적용성을 평가하기 위하여 그림2와 같은 대상건물의 모델을 선정하였다. 사례연구에 사용된 곳은 2층이며 학생 수는 168명, 일반교실 5개와 컴퓨터실 과학실로 이루어져 있다.



그림 2. 평가대상 학교

4.4 열 부하 예측을 위한 시뮬레이션

건물 난방 부하 예측을 위해 동적 부하 시뮬레이션을 ESP-r을 사용하여 수행하였다. 기율은 1.3 회/시간으로 가정하였으며 기상 데이터는 광주지역 기상 데이터를 사용하였다. 시뮬레이션 모

텔에 사용한 건물 구조체는 표1과 같다.

표 1. 벽체 구성재

부위	구성재
지붕	60mm 단열재 + 120mm 콘크리트 + 24mm 모르타르 + 방수마감
유리창	12mm 복층유리
외벽	0.5B 벽돌 + 50mm 단열재 + 200mm 콘크리트
천장	120mm 콘크리트 + 24mm 모르타르

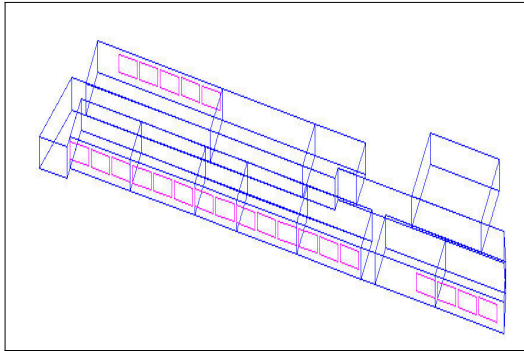


그림3. 시뮬레이션 건물 모델

4.3 전력 사용량 프로파일

현재 사례연구에서 사용된 대상학교의 2층에는 총 5개 학급으로 되어있으며 그중 4개 학급은 36명으로 구성되어 있고 나머지 한 개의 학급은 24명으로 구성되어 있다. 36명으로 구성된 학급에서는 연간 6006kWh의 전력을 사용되는 것으로 나타났다으며 24명의 구성된 학급의 경우 4000kWh의 전력을 사용하는 것으로 나타났다. 학교의 전력 사용량 프로파일은 통계 데이터 사용하였으며, 대상 건물의 규모에 맞춰 스케일을 조절 하여 전력 수요를 가정하였다. 그림 4는 에너지 관리 공단에서 제공된 학교 호당 전력 수요량⁽⁷⁾을 계절별 요일별로 나타낸 것이다.

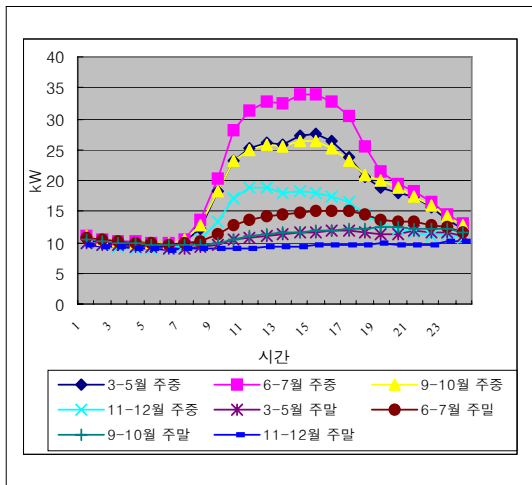


그림 4. 교육시설의 전력부하 프로파일.

4.4 신재생에너지 시스템 개요

태양광발전의 경우 패널 발전용량이 130W인 다결정(polycrystalline) 전지 공급 시스템으로 설정하였다. 단위 면적이 1.00 m² (1.5 x 0.67) 패널 50개를 옥상에 설치 한 것을 가정하였다. 이때 방향은 정남향으로 설치 각도는 30 도로 설치 하는 것을 가정 하였다.

태양열시스템의 설치각도 및 방향은 태양광발전의 경우와 동일하게 가정하였다. 단위 집열기의 면적은 3.04m²(2.5 ×1.2) 하였다.

4.5 결과 및 분석

4.5.1 전력 수요/공급 매칭 분석

그림 5에서 빨간색부분은 수요를 의미하고 나머지는 신재생에너지 공급을 의미한다. 전력의 경우 표4에서 학기가 시작되는 3월과 여름방학 직전 냉방을 하는 6월을 선택하여 매칭하였으며 난방의 경우 초봄인 3월과 초겨울인 11월을 대상으로 매칭을 하였다. 상대적으로 6월의 경우가 수요총량이 많으며 이때 신재생에너지를 통해서 얻어지는 에너지는 735.16 kWh이지만 실제로 공급에 의해 수요를 커버할 수 있는 에너지량은 실제 수요대응 공급량에서 제시한 668.38kWh에 해당한다. 일반적으로 신재생에너지 용량은 건물의 최대부하가 걸리는 시점을 중심으로 결정하나, 이럴 경우 최대부하가 걸리는 시점을 제외하면 그 효율이 극히 낮아지게 된다.

3월에서 전력의 경우 그림5에서 최대수요보다 최대에너지공급이 낮지만 불일치도는 0.54인 반면에 최대수요보다 최대에너지공급이 높은 난방의 경우 불일치도는 0.69로 증가한다는 것을 볼 때, 단순히 에너지 최대 수요량에 맞춰 공급량을 결정하는 것이 수요/공급적인 면에서 불리한 결과를 얻을 수 있다고 볼 수 있다. 더욱이 학교시설과 같이 소규모 신재생에너지 시설을 설치하는 경우에는 사용하고 남은 에너지는 다른 용도로 사용하거나 남은 에너지를 상계처리할 수 있는 일정한 용량에 미달하는 경우가 흔하기 때문에 적절한 수요공급 매칭을 하지 않는다면 신재생에너지 시설을 설치하였으나 지나치게 설치하여 에너지 낭비가 될 수 있고 혹은 너무 적게 설치하여 에너지절감에 의미가 없어질 수도 있는 문제점이 생긴다.

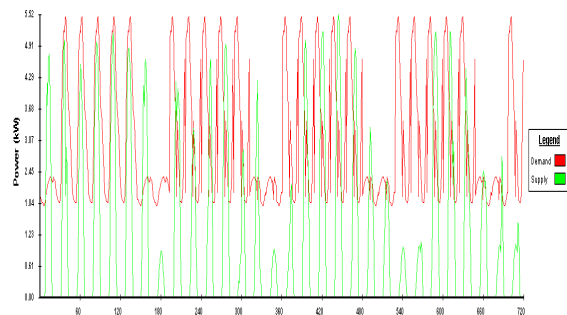


그림 5. 수요/공급 프로파일 결과(전력, 3 월)

표 2. 전력 수요/공급 매칭 분석 결과

항목	3월	6월
에너지 총 생산량	788.64 kWh	735.16 kWh
수요 총량	2.22 MWh	2.60 MWh
잉여 량	152.98 kWh	59.95 kWh
수요 대비 공급 부족량	1.58 MWh	1.95 MWh
실제 수요대응 공급량	629.58 kWh	668.38 kWh
불일치도(IC)	0.54	0.58

4.5.2 난방 부하 수요/공급 매칭 분석

그림6은 대상학교의 난방부하프로파일과 공급프로파일을 매칭한 결과이다. 최대 부하량을 기준으로 설정된 태양 집열관 설치는 실제 운전 전 기간에 걸쳐서는 그 효용성이 극히 미약함으로 알 수 있다. 태양열의 경우 태양 전지와 달리, 남은 열을 별도로 다른 용도에 소비하기에는 그 선택의 폭이 전력보다 좁다는 문제점도 안고 있다. 태양열 시스템을 효과적으로 활용하기 위해서는 다른 수요처(예, 수영장, 급탕등)를 검토하는 것이 추천 된다.

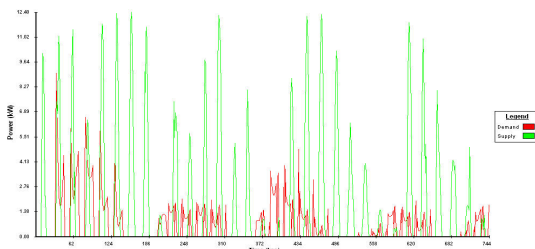


그림 6. 수요/공급 프로파일 결과(전력, 3월)

표 3. 난방 부하 수요/공급 매칭 분석 결과

항목	3월	11월
에너지 총 생산량	1.29 MWh	1.18 MWh
수요 총량	512.39 kWh	178.63 kWh
잉여 량	190 kWh	60 kWh
수요 대비 공급 부족량	- 1.10 MWh	- 1.12 MWh
실제 수요대응 공급량	185.6 kWh	51.82 kWh
불일치도(IC)	0.69	0.84

결과적으로 보았을 때, 학교시설에서 신재생에너지를 통해 전력 공급이 적절함을 판단할 수 있으나 난방부하를 처리하기 위해서 태양열을 설치하였을 경우에는 수요량을 크게 넘어서는 결과가 발생하여, 매칭결과 난방을 위해 태양열 시설을 설치하는 것이 부적절하는 것을 의미한다. 만일 사전 수요/공급매칭을 통한 분석을 하지 않을 경

우 에너지가 얼마나 필요하고 얼마나 공급해야 할지에 대한 계획을 정하지 못하므로 과도한 태양열 시설 설치 및 불필요한 에너지 낭비로 이어질 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 소규모 신재생에너지 시스템을 학교 건물에 설치할 경우 그 효용성을 높이고자 설치 후 전력생산량 대비 경제성 평가 보다는 수요/공급의 시간대별 매칭 분석을 통하여 신재생에너지 공급 시스템의 활용성을 평가 하였다. 열 및 전력 에너지 수요와 공급을 매칭함으로써 최적의 신재생에너지 공급 시스템의 선정과 운영 시나리오 및 그 효과를 예측 할 수 있었다. 이번 연구에 사용된 수요 공급 매칭 기반 적용성 평가 방법은 교육시설만을 대상으로 평가하였지만, 수요와 공급 프로파일과 관련된 데이터만 확보된다면 매칭 프로세스를 통해서 군 단위 혹은 도시 규모 에너지 시스템을 대상으로 한 적용성 평가도 가능하리라 사료된다.

References

- [1] <http://www.mocie.go.kr>, 공공기관 신재생에너지 설치의무화제도 정착 (산업자원부 보도자료)
- [2] 이관호, 2006, "공동주택의 배치 및 블록별 재생에너지시스템의 적용성에 관한 연구," 한국태양에너지학회논문집, pp.79-87
- [3] 이태호·반영운, 2007, "공동주택 태양광발전설비 타당성 검토," 대한국토도시계획학회 추계정기학술대회, pp1,539-1,547
- [4] 김현일, 2003, "공동주택을 위한 태양광발전시스템의 적용성에 관한 연구," 대한건설학회 학술발표논문집, pp801-804
- [5] <http://www.kenesis.ken.co.or.kr/>(신재생에너지센터) 보급량:5,225천TOE, 대비 발전량 838천TOE.
- [6] Born F J, Clarke J A and Johnstone C M, 2001, "development and demonstration of a renewable energy based energy demand/supply decision support tool for the building design profession," Seventh International IBPSA Conference, pp245-250
- [7] Kim J and Clarke J A 2004, The EnTrak System: Supporting Energy Action Planning via the Internet, Proc. CTBUH 2004, Seoul, October.
- [8] 에너지 관리공단 2007, 수용가 부하곡선을 이용한 전력 사용행태 분석 보고서, <http://www.kemco.or.kr/web/kcms/main/kcms.asp?c=BORDVI000000306&s=&k=&p=5&q=12847&v=0&t=>