

# 다중 터빈 방식의 풍력-태양광 하이브리드 시스템

한국과학기술정보연구원  
전문연구위원 나덕주  
(djra15@reseat.re.kr)

## 1. 서언

- 풍력에너지는 도로조명, 양수 펌핑, 전기 생산시스템 등 여러 분야에 널리 사용되고 있다. 그러나 풍력에너지는 전기출력이 예측할 수 없는 날씨와 기후변화에 크게 좌우되는 단점이 있다. 풍력터빈은 물론 태양광에 의해 발생하는 전력은 수요를 만족하지 못하지만 이 두 가지 에너지는 상호 보완적인 관계가 있다.
- 여름에는 태양광 조사량이 많고 바람 에너지가 적은 반면에 겨울에는 상대적으로 풍력에너지가 많고 태양광 조사량이 적다. 또한 낮 시간에는 태양광 조사량이 많고 바람 에너지가 적은 데 비해 밤에는 태양광 조사량이 적고 상대적으로 풍력 에너지가 풍부하다. 풍력-태양광 하이브리드 시스템은 어느 한 에너지가 부족할 때 다른 에너지를 보충하여 부하 수요를 충족할 수 있고 또한 더 적은 배터리를 사용하여 예측하기 어려운 전기 수요를 극복할 수 있다.
- 풍력-태양광 하이브리드 시스템은 일반적으로 풍력터빈, 태양광 모듈, 제어장치, 인버터 및 배터리로 구성된다. 이 시스템은 단일 풍력 에너지 시스템이나 단일 태양광 에너지 시스템에 비해 신뢰성이 대단히 높은 장점이 있다. 이 하이브리드 시스템의 핵심 기술은 시스템 구성에 대한 모델링, 풍력터빈과 태양광 모듈의 최적 배합 및 발생 전력에 관한 시뮬레이션 방법이다.
- 중국의 경우 국토 면적의 1%만이 대형 풍력터빈의 설치에 적합하고 풍력터빈의 10%가 100kW 이하이고, 풍력터빈의 40% 이상이 10kW 이하이다. 따라서 마당, 농지 및 교외에 설치할 수 있는 소형 풍력터빈에

대한 시장 잠재력이 아주 크다. 다중 터빈 풍력발전시스템은 동일한 타워에 설치한 대형 풍력터빈에 비해 많은 장점을 가지고 있다. 본문에 다중터빈 풍력-태양광 하이브리드 시스템을 소개하고, TRNSYS 소프트웨어를 사용하여 이 시스템의 성능분석 방법에 대해 설명한다.

## 2. 풍력-태양광 하이브리드 시스템의 구성

- 새로운 다중터빈 시스템과 기존 시스템의 성능을 비교하였다. 두 시스템은 풍력 터빈을 제외하고 나머지는 모두 똑 같은 부품으로 구성되어 있다. 50W 풍력터빈 및 400W 풍력터빈의 소해면적(swept area)은 각각 0.635m<sup>2</sup> 및 2.009m<sup>2</sup>이다.
- 다중터빈 풍력시스템은 8개의 풍력터빈, 타워, 선회(swivel) 베어링, 꼬리 베인(tail vane) 및 드래그라인(dragline)으로 구성되어 있다. 타워는 하부 및 상부 2 부분으로 구성되고 선회 베어링으로 연결되어 있다. 8개 터빈과 꼬리 베인은 상부타워에 설치하고 하부타워는 드래그라인으로 고정하였다.
- 하이브리드 시스템을 설계하는데 가장 중요한 변수는 태양광 모듈, 배터리, 풍력터빈, 제어장치 및 인버터 등 부품의 공칭전압이다. 이 두 시스템은 공칭전압을 똑같이 24V로 설정하였다. 8개 풍력터빈의 공칭 전압은 12V이고, 두 개씩 직렬로 연결한 4 그룹의 풍력터빈은 병렬로 연결되어 있다.
- 데이터 획득을 위해 TBQ-DL 전천일사계(pyranometer)로 태양광 조사량을 측정하고, 타워에 설치된 FC-2B 풍속계로 풍속을 측정하였다. 태양광 모듈, 터빈 및 배터리의 전압과 전류는 컴퓨터로 계측하고 기록하였다. 측정시험은 2013년 4월에 10일 동안 실시하였다.

## 3. 하이브리드 시스템 모델 및 부하

- TRNSYS는 모듈 구조로 되어 있는 과도기 시스템 시뮬레이션 프로그램이다. 라이브러리는 날씨와 기능에 관한 입력 데이터와 시뮬레이션

결과에 관한 출력 데이터를 취급하는 부품은 물론 열 및 전기 에너지 시스템에서 흔히 볼 수 있는 많은 부품을 포함한다.

- 프로그램 모듈은 유연성을 가지고 있어 표준 라이브러리에 포함되지 않은 수학적 모델을 추가할 수 있는 구조로 되어 있다. TRNSYS는 시간에 따라 거동이 변하는 시스템의 분석에 적합하므로 풍력-태양광 하이브리드 시스템을 시뮬레이션 하는데 아주 적합하다.
- 2개의 하이브리드 시스템의 모든 부품은 TRNSYS 라이브러리에서 취하고, 시뮬레이션에 사용하는 기상 데이터는 실험 장소에서 획득하였다. 속도계는 양 시스템의 타워 10m 높이에 각각 설치하였고, 태양광 조사량 데이터는 기상청으로부터 확보하였다. 400W 풍력터빈은 타워의 12m 높이에 설치하고 50W 풍력터빈은 각 터빈마다 다른 높이에 설치하였고, 각 터빈의 출력은 Hellmann 방정식에 의해 계산하였다.
- 태양광 모듈의 출력에 영향을 미치는 태양광 조사량과 온도는 Tianjin 실험에서 수집하였다. Tianjin은 동경 118° 194' 및 북위 38° 34'의 Bohai 해안에 위치하고 있고, 여름 기후는 덥고 건조하고 3월에서 10월까지 태양광 조사량은 충분하다. 각 시스템은 2개의 크리스털 태양광 모듈을 45° 각도로 남쪽을 지향하도록 설치하였다.
- 2개의 하이브리드 시스템은 실험장소의 경비실에 필요한 전기를 공급하였다. 부하는 4개의 15W 전구, 150W 냉장고 한 대, 300W 세탁기 한 대, 1,000W 전기 주전자 한개, 45W 텔레비전 한 대를 포함하고, 매일의 부하는 동일한 것으로 가정하였다.

#### 4. 하이브리드 시스템의 성능 검증

- 처음 가동할 때 초기 값을 제로로 하고, 8개의 50W터빈과 400W 터빈 각각의 출력에 대해 시뮬레이션 한 결과와 실험한 결과는 서로 거의 일치하고 있다. 태양광 모듈 출력에 대해 시뮬레이션 한 결과와 실험한 결과도 서로 잘 일치하였다. 실험 표준 조건 1,000W/m<sup>2</sup>, 10°C에서 정격 출력은 280W를 나타내고, 태양광 모듈은 저온에서 출력이 높아지고 따라서 효율이 더 향상되었다.

- 이 두 시스템에 대해 풍속의 영향을 비교 분석하였다. 풍속 7.2m/s 이하에서는 8개의 50W 터빈이 400W 터빈보다 더 큰 출력을 발생하였다. 그 이유는 소형 풍력터빈은 시동 풍속이 낮으므로 저속에서 더 많은 출력을 내기 때문이다. 반면에 풍속이 7.2m/s 이상이 되면, 400W 풍력터빈의 공기역학적 손실이 8개의 50W 터빈보다 적어지므로 에너지 손실도 적어져 더 큰 출력을 낸다.
- 이를 동안 실험한 결과 8개 50W 풍력터빈과 400W 풍력터빈의 출력은 각각 3,100Wh 및 2,850Wh로 다중 터빈 풍력시스템의 출력이 8.7% 높게 나타났다. 배터리 충전상태(SOC: State Of Charge)는 하이브리드 시스템의 안정성을 나타내는 중요한 변수이다. 초기 SOC 값을 30%로 또 충전효율을 0.7로 설정하고 48h 시뮬레이션 한 결과를 보면 기준 시스템의 SOC는 30% 이하를 나타내고, 하이브리드 시스템은 30%보다 약간 높게 나타나 안정성이 개선되었음을 알 수 있다.

## 5. 결론

- 본문에 TRNSYS를 사용하여 전통적인 풍력-태양광 하이브리드 시스템과 새로운 하이브리드 시스템의 전기 성능을 비교 검토하였다. 새로운 시스템은 특히 낮은 풍속 조건에서 풍력발전 출력이 높고 SOC가 향상되는 것으로 나타났다. 또한 출력계수가 높은 소형풍력터빈을 채택하면 새로운 시스템의 성능을 증가시킬 수 있다.
- 2개 시스템을 중국의 서로 다른 도시에 설치하여 실험하였더니 남쪽 지방에서 풍력발전 출력이 더 높게 나타났다. 그러나 다중터빈을 상업적으로 사용하기 까지는 타워 상에서 터빈 간의 거리, 타워 복합재료 구조의 설계 및 해석 등과 같은 많은 노력이 필요하다.

출처 : Qunwu Huang, Yeqiang Shi, Yiping Wang, Linping Lu, Yong Cui, "Multi-turbine wind-solar hybrid system", *Renewable Energy*, 76, 2015, pp.401~407

## ◁ 전문가 제언 ▷

- 독일은 전체 전기 생산량 중 재생가능 에너지의 생산 비중을 2020년까지 20%로 확대한다는 목표를 수립하였고, 중국은 2020년까지 재생가능 에너지 전력 생산량을 2012년의 6배로 확대한다는 계획을 발표하였다. 2013년 세계 풍력발전 설치용량은 318GW 이고, 최근 풍력에너지가 가장 성숙된 신재생 에너지 기술로 인식되면서 급속히 발전하고 있다.
- 본문에 대형 풍력터빈을 다중 소형 풍력터빈으로 대체한 새로운 형식의 풍력-태양광 하이브리드 시스템을 제안하고, TRNSYS 소프트웨어를 사용하여 다중터빈 풍력-태양광 하이브리드 시스템의 전기적 성능을 기존 시스템과 비교 분석하였다. 기후조건이 다른 지역에 설치하여 실험하였더니 남쪽 지방에서 풍력발전 출력이 더 높게 나타났다.
- 똑같은 용량을 가진 2종류의 풍력-태양광 하이브리드 시스템을 설치하여 전기 출력을 측정하고, TRNSYS 소프트웨어를 사용하여 시뮬레이션 하였다. 낮은 풍속 영역에서는 다중터빈 풍력-태양광 하이브리드 시스템이 기존 시스템보다 더 많은 출력을 발생하였고, 시뮬레이션 결과는 실험결과와 잘 일치하는 것으로 나타났다.
- 예로 20MW 용량의 풍력발전시스템에서, 4개의 5MW 터빈, 45개의 444kW 터빈의 두 가지 경우에 대해 운전정비 비용을 비교해 본 결과, 45 x 444kW 터빈은 4 x 5MW 터빈 비용의 89% 수준까지 감소하였다. 소형 풍력터빈은 보다 낮은 풍속에서 시동할 수 있으므로 다중 터빈 하이브리드 시스템은 보다 많은 에너지를 획득할 수 있다.
- 독립형은 수요량과 발전량을 최적 관리하기 위한 설계 및 제어기술 개발이 중요하고, 계통 연계형은 최대부하에 대한 기여, 태양광-풍력-에너지 저장장치, 최적 용량 설계기술이 중요하다. 국내에도 신옥테크, 윈드렉스 등은 풍력 태양광 하이브리드 발전시스템을 공급하고 있지만, 산학연이 협력하여 기간의 안정적인 통합 및 운영 기술, 출력 예측에 의한 성능향상 기술 등의 개발에 집중하여야 한다고 생각한다.

이 분석물은 미래창조과학부 과학기술진흥기금, 복권기금의 지원을 받아 작성하였습니다.