

스마트표시기능을 갖는 풍력/태양광 복합발전시스템

정병호*, 윤상진*, 정병수*, 최영국***
 남부대*, (주)해성이엠씨***

Wind/PV Hybrid system with Smart Display Device

Byeong-Ho Jeong*, Sang-Jin Yeon*, Byeong-Soo Jung*, Young-kuk Choi**
 Nambu University*, Hea-Sung EMC Company**

Abstract - 화석에너지의 유한성과 공해문제로 인해 대체에너지 개발에 대한 관심이 고조되는 가운데 태양광발전과 풍력발전이 그 중에서 가장 활발하게 연구되고 실제 이용비율도 상당히 높은 편이다. 이는 외기 기후변화에 대한 상대적인 보완성을 가진 두 가지 형태의 에너지원으로부터의 에너지변환과정으로 인해 그 이용이 더욱 부각되고 있다. 기존의 풍력발전시스템, 태양광발전시스템 또는 풍력/태양광 복합발전시스템 중 대형발전시스템의 경우는 일사량센서나 풍속센서를 부착하여 최대 출력점 제어나 외기환경 인식을 위해서 일사량이나 풍속과 같은 외기환경정보를 획득하여 사용하며 이를 교역용 또는 외기환경정보를 분석하는데 이용하기도 하고, 다양한 표시장치를 통해 표시하기도 한다. 그러나, 일사량센서나 풍속센서는 고가의 센서로 대형 태양광발전시스템이나 풍력발전시스템에서는 여러 개소의 설치를 통해 보다 정확한 정보를 획득해야 하며, 이를 위해 많은 개수의 센서가 필요하다. 현실적으로 여러 개의 센서는 고가의 설치 비용으로 인해 샘플링을 위해서만 설치될 뿐 발전시스템의 설치사이트의 다양한 분석이 어려운 점이 있었다. 본 논문에서는 풍속센서나 일사량센서 없이 태양전지모듈로부터 직접 일사량을 검출하는 방식의 일사량 정보획득과 풍력발전시스템에서의 풍속정보를 획득하는 방법을 제안한다.

1. 서 론

독립형 태양광/풍력 하이브리드 발전시스템은 외기환경에 상호보완적인 기능을 갖는 청정에너지원이라는 특·장점을 갖는 미래형 시스템이며 이러한 시스템의 발전성을 좌우하는 팩터는 외기환경뿐만 아니라 전력제어기술이 역시 매우 중요한 요소이며 이러한 전력제어기술을 바탕으로 스마트 표시 및 관리기능을 구현할 수 있다[1][2]. 특히, 최대전력점 제어는 두 종류의 발전시스템의 성능을 15~20% 이상 향상시킬 수 있는 전력제어기술로 시스템 효율 향상과 안정성, 설계기술에 큰 역할을 하며 대상 제품의 품질에 큰 영향을 줄 수 있다[3]. 최대 전력점의 추적에 관한 평가는 일사량에 대한 발전량의 형태로 이루어지므로 일사량의 정보는 시스템의 성능에 영향을 주는 가장 중요한 팩터이다. 또한, 태양광발전 시스템의 성능분석에 있어서 일사량은 발전량의 산출에 가장 큰 영향을 미치는 요소로 작용한다[4][5].

본 논문의 스마트 디스플레이부의 표시는 일사량, 풍속, 온도, 습도 등의 기상정보를 표시하거나 전압, 전류, 발전량 등과 같은 발전량 데이터, 또는 배터리 충전상태나 배터리의 유지보수와 관련한 정보를 표시해주는 기능을 의미한다. 이러한 표시기능은 신재생에너지의 활용을 촉진시키는 홍보 수단으로 활용될 경우에 발전량을 표시하는 의미는 에너지 변환에 관한 인식의 확대를 가져올 수 있는 중요한 수단이다. 이러한 조건은 풍력발전에서도 마찬가지이다. 풍속이 전기 에너지로 변환하는 실질적인 수치 데이터를 제공함으로써 풍력발전의 에너지변환과정을 가시적으로 보여줄 수 있는 형태이다.

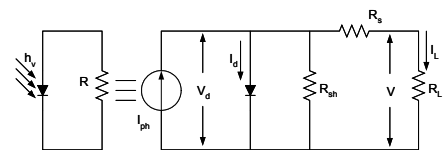
2. 스마트표시장치의 구현

2.1 일사량 검출방법

일사량에 대한 정보는 태양전지의 발전량으로부터 획득될 수 있다. 태양전지의 모델링은 일반적으로 등가회로를 이용한 방식이 주로 적용되고 있다. 등가회로를 이용한 방법은 한 개의 이상적인 다이오드와 I_{ph} 의 크기를 갖는 정전류원으로 구성되어 있지만 접촉저항 및 표면층의 시트(sheet) 저항 등을 표시하는 직렬저항 R_s 와 병렬저항 R_{sh} 를 고려하려 이를 나타낸다.

태양전지 표면에 입사하는 빛의 일부는 표면에서 반사되며, 표면을 투과한 빛은 태양전지 내에서 흡수되어 광자수는 지수 함수적으로 감소한다. <그림 1>은 빛이 조사될 때 광기전력효과(Photovoltaic Effect)를 이용한 태양전지의 등가회로이다. 단락전류 I_{sc} 는 $V_L = 0$ 인 조건으로부터

$I_{sc} = I_{ph}$ 가 된다.



<그림 1> 태양전지의 등가회로

태양에너지는 분광(spectrum)에 의해 나타나는 각 파장에 따라 그 에너지 분포가 결정된다. 이러한 특성은 일정한 에너지갭(energy band gap)이상의 에너지만을 흡수하는 태양전지의 특성을 말한다. 일사량이 모두 태양전지에 흡수되어 이용된다면 태양전지의 온도는 외기온도와 같게 된다. 그러나 일정 에너지값 이상의 일사에너지만을 흡수하는 태양전지의 특성으로 인해 흡수되지 않는 일사에너지는 열로 변환되어 손실로 나타나고 이 열에너지가 태양전지의 온도를 상승시켜 내부 저항을 크게 하여 효율을 감소시킨다. 일사량, 태양전지의 표면온도, 풍속, 이외에도 Air Mass, 투명도, 혼탁도, 오존층과 수증기층의 두께 등이 태양전지의 효율에 영향을 미치는 파라미터로 작용한다.

결정계 태양전지의 경우 온도가 상승함에 따라 변환효율이 급격하게 감소되는 현상을 나타낸다. 따라서 한 여름철에 비해서 봄, 가을에 출력이 크게 나타나는 현상이 발생한다. 실리콘태양전지의 출력은 1°C 온도 상승에 따라 출력이 0.4~0.5[%] 정도 감소하는 특성을 갖는다. 도 4는 온도의 변동에 따른 태양전지의 출력특성의 변화이다. 태양전지의 모듈 일 대당 변환되는 전력량은 식(1)과 같다.

$$P_{module} = I_{sc} \times G \times [V_{oc} - 0.0023 \times N_s \times (T + (\frac{T_m - 20}{0.8 \times G_c}) - STC)] + FF \quad (1)$$

여기서, 0.0023은 시스템 손실율이고, I_{sc} 는 단락전류, G는 일사량, V_{oc} 는 개방전압, N_s 직렬로 연결된 셀의 수, T는 주위온도, T_m 는 모듈의 온도, G_c 는 유효일사량 STC는 표준시험조건으로 일사량 $1000 W/m^2$, 셀의 온도 25°C이며 FF는 충전률이다. 태양전지모듈의 출력량을 토대로 일사량을 산출해내기 위해서는 일사량을 기준으로 식 (2)을 정리하면 된다.

$$G = \frac{P_{module} - FF}{I_{sc} \times [V_{oc} - 0.0023 \times N_s \times (T + (\frac{T_m - 20}{0.8 \times G_c}) - STC)]} \quad (2)$$

일사량의 산출을 위해 모듈의 발전량은 실제 발전량을 전압과 전류값을 측정하여 얻은 값을 통해 실측값을 확보한다. 충전율(Fill factor)은 개방전압과 단락전류를 얻는 식을 통해 산출하고 모듈의 온도와 주위온도는 온도센서를 이용하여 그 값을 산출한다. 표준시험조건 값은 모듈의 생산시에 제공되는 사양값을 토대로 입력함으로써 태양전지모듈의 발전량을 통해 일사량을 산출할 수 있다.

2.2 풍속 검출방법

풍력발전기는 바람에 의한 기계적인 에너지로 변환되는 동력전달장치인 풍력터빈 특성에 의해 전기에너지를 생성하게 된다. 풍력발전기의 가장 일반적인 형태인 수평형(horizontal axis) 프로펠러형태의 기계적인 출력은 풍속의 세제곱에 비례한다. 풍력에너지를 기계적인 에너지로 변환하는 관계식으로 질량 $m[kg]$ 인 공기의 풍속이 $V[m/s]$ 일 때 유체가 갖는 운동에너지 E_w 는 식(3)과 같다.

$$E_w = \frac{1}{2} m V^2 [\text{joules}] \quad (3)$$

따라서 공기가 갖는 풍력은 식 (4)과 같다.

$$P_{air} = \frac{1}{2} (\text{mass flow rate per second}) V_w^2 = 0.5 \rho A T (V_w)^3 C_p [W] \quad (4)$$

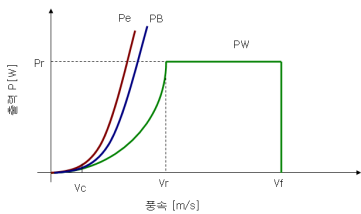
여기서 $\rho(\text{kg/m}^3)$ 는 공기밀도, $V_w(\text{m/s})$ 는 풍속, $A(\text{m}^2)$ 는 터빈 블레이드가 움직이는 면적, 즉 풍력터빈의 회전단면적, C_p 는 동력계수로 회전자의 효율로 정의되고, 풍력발전기의 동작 상태에 의존한다. 식 (5)은 풍속에 의해 발생할 수 있는 이상적인 풍력이다. 실제로 터빈에 일정속도의 바람이 도달 후 풍력에너지가 기계적인 에너지로 100% 변환한다면 터빈 뒷단의 풍속이 0으로 감소하나 이는 공기역학적으로 불가능하다. 따라서 풍력터빈에 의해 기계적인 출력으로 흡수되는 풍력은 터빈의 회전자에서 풍력의 감소분에 해당한다. 실제로 풍력터빈에 의해 획득될 수 있는 기계적인 출력은 상류풍속에서의 풍력과 하류풍속에서의 풍력사이의 차에 해당한다. 바람으로부터 얻을 수 있는 풍력발전기의 전기적 출력 $P(V)$ 는 식 (5)과 같다.

$$P(V) = \frac{1}{2} \rho A V^3 \cdot C_p \cdot \eta_m \cdot \eta_g \quad (5)$$

풍속과 전기에너지의 생성량은 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V^3 = \frac{P(V)}{\frac{1}{2} \rho A \cdot C_p \cdot \eta_m \cdot \eta_g} \quad (6)$$

여기서 발전량은 AC-DC 정류기를 통해 변환된 값으로 변환효율 96~98%의 다이오드 브리지 회로의 적용을 고려하여 계산할 수 있다. 또한 전달장치의 효율과 발전기의 효율은 표준조건에서의 효율로 산출하여 적용하고 $\rho(\text{kg/m}^3)$ 는 공기밀도, $A(\text{m}^2)$ 는 터빈 블레이드가 움직이는 면적, 즉 풍력터빈의 회전단면적, C_p 는 동력계수로 회전자의 효율로 정의하여 적용할 수 있다. 풍속의 변화에 따른 출력 P 의 변화를 <그림 3>과 같다.



<그림 2> 풍속과 출력과의 관계

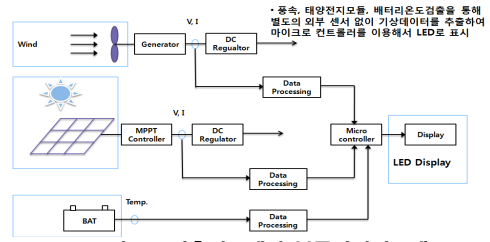
순수한 풍력에너지는 풍속의 3승에 비례하는 곡선으로 표시되고 이상적인 회전자인 Betz의 회전자에서 발생되는 에너지 P_B 의 곡선도 P_e 에 0.593을 곱과 같다. 위 식의 식 (7)과 같이 세제곱근(cubic root)으로 표현할 수 있으며 세제곱근에 대한 풀이를 개립법이나 뉴턴랩슨법을 이용하여 수행하면 된다.

$$V = \sqrt[3]{\frac{P(V)}{\frac{1}{2} \rho A \cdot C_p \cdot \eta_m \cdot \eta_g}} \quad (7)$$

검출된 값은 마이크로 컨트롤러를 통해 표시되거나 인터페이스 카드를 통해 외부로 전송된다.

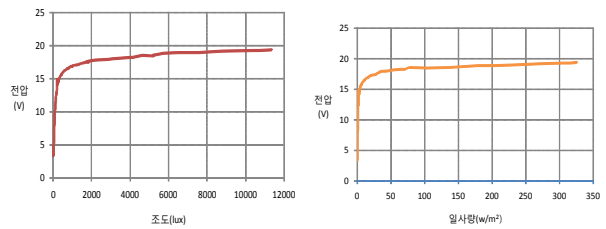
2.3 데이터처리

독립형 발전시스템의 경우는 배터리를 포함하는 것이 일반적이며 배터리 컨트롤장치에는 기본적인 온도센서가 부착되어 있다. 온도보상 처리를 위한 온도검출, 태양광발전의 출력, 풍력발전에 따른 출력값을 검출하여 온도, 일사량, 풍속의 계산에 활용한다. 또한 비선형적인 출력의 흐름으로 인해 별도의 룩업테이블을 구성하여 산출된 값을 보정하는 기능을 수행하도록 처리한다. <그림 3>은 팩터의 검출을 위해 적용된 블록다이어그램을 나타낸다.



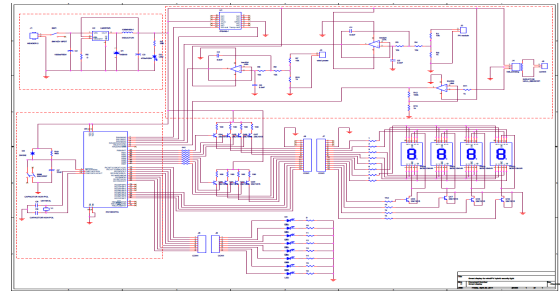
<그림 3> 검출시스템의 블록다이어그램

<그림 4>는 조도 및 일사량과 전압사이의 특성을 나타내는 그래프이다.



<그림 4> 전압 vs. 조도 및 일사량

<그림 5>는 디스플레이 장치의 구현을 위한 회로도이다.



<그림 5> 전압 vs. 조도 및 일사량

3. 결 론

본 논문에서는 독립형 풍력/태양광 복합발전시스템에 적용된 스마트 표시장치의 구현을 통해 센서없는 일사량 및 풍속의 검출을 통해 이를 표시하는 장치를 구현하였다. 구현된 장치를 통해 최대전력점 추정을 위한 정보활용이나 발전량 모니터링, 발전특성분석, 신·재생에너지의 활용 기술의 하나로 교육용, 홍보를 위한 보급용등으로 이용할 수 있을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] M Benganem, A Maafi, "Data acquisition system for photovoltaic systems performance monitoring", Ieee Transactions On Instrumentation And Measurement, Vol. 47, Issue 1, PP. 30-33, 1998
- [2] Chedly B Yahya, "Performance monitoring of solar photovoltaic systems using reference cells", 2008 International Conference on Microelectronics, 445-449, 2008
- [3] M Zahran, Y Atia, A Al-Hussain, "LabVIEW based monitoring system applied for PV power station", Proceedings of the 12th WSEAS International Conference on AUTOMATIC CONTROL MODELLING SIMULATION, pp. 65-70, 2010
- [4] S. Vergura, G. Acciani, V. Amoroso, G. Patrono, F. Vacca, "Descriptive and Inferential Statistics for Supervising and Monitoring the Operation of PV Plants", IEEE Trans on INDUSTRIAL Electronics (ISSN- 0278-0046), November 2009, pp. 4456-4464.
- [5] CEI-IEC International Standard 61724- Photovoltaic system performance monitoring- Guidelines for measurement, data exchange and analysis, 1998.