퍼지 스위치와 풍력 발전을 이용한 스마트 전력 시스템

고영훈, 성기문*
협성대학교 컴퓨터공학과
*아트테크놀로지 주식회사
e-mail: tigerko@uhs.ac.kr

Smart Power System with Fuzzy Switch and Wind Energy

Ko Young-Hoon, Sung Ki-Mun*
Dept of Computer Engineering, Hyup-Sung University
*Art Technology Company

요 약

본 논문은 풍력 발전기와 ESS(Energy Storage System)를 효율적으로 연결하는 퍼지 스위치를 제안한다. 최근들어 친환경 전력 시스템의 중요성이 날로 커지고 있다. 친환경 에너지의 대표적인 태양광과 풍력의 경우 지속적인 발전이 불가능하므로 ESS의 사용이 필수적이다. 즉, 발전 가능할 때에 ESS에 충전하고 발전이 어려울 때는 ESS를 방전하는 방식이다.

이러한 스위치는 애매 모호한 구간이 존재하는데 이를 효율적으로 제어하기 위하여 퍼지를 적용하였다. 충전레벨이 낮을 경우 충전하고 충전레벨이 높을 경우 방전하는 것은 기본적인 로직이지만 충전레벨이 중간인 경우 충전이 유리한지 방전이 유리한지 모호해진다. 3단계 충전레벨과 2단계 전력레벨을 입력으로 받아 효율적인 퍼지 스위치를 구성하였다. 또한 효과적인 구현을 위하여 서피스플롯울 참조테이블로 변환하여 사용하였다.

특히, 3단계 충전레벨은 가우시한 함수를 사용하고 2단계 전력레벨은 삼각함수를 사용하여 출력 멤버쉽함수가 보다 잘 반영될 수 있도록 감안하였다.

1. 서론

1997년 교토의정서에서 이산화탄소 배출량을 1990년 기준으로 5.2%를 줄이기로 합의한 이후 세계 각국은 쾌적환 지구 환경을 조성하기 위해서 노력해 왔다. 여러 문제점이 도출되었지만 2011년 더반 플랫폼을 계기로 2015년 파리 협정이 체결되면서 지구평균온도를 1.5도 안으로 묶어두려는 야심찬 목표가 모든 회원국의 동참으로 결정되었다.

21세기에 들어와서 크루드 오일이 2008년 7월에 150불을 찍을 때까지 오일 가격이 장기적으로 상승하였으며, 이는 대체 에너지 개발을 가속화하였다. 하지만 2008년 7월 11일부터 오일가격의 폭락과 금융위기가 시작되었고, 100달러 정도에서 안정을 찾아가던 오일가격은 2014년 7월부터 2차 하락을 시작하였다. 이에 오일가격은 생산원가로 알려진 30달라까지 폭락하였고 아이러니하게도 대체에너지 개발을 무색하게 하였다.

오일가격의 하락은 값비싼 대체 에너지 생산을 의미없어 보이게 만들었지만 대체 에너지 가격도 끊임없이 하락할 것이며, 결국은 오일의 사용량을 넘어설 것이다.

(그림 1) 스마트 전력 시스템 구성도

본 논문에서는 풍력발전을 이용한 스마트 전력 시스템을 제시하며, 특히 퍼지 스위치를 도입하여 효율적인 운용이

가능한 시스템을 제안하였다.
ESS는 에너지 저장 시스템(Energy Storage System)으로 일본에서는 이미 정부차원에서 지원금을 제공하며 장려하고 있다. 이미 2015년에 일본에서 LG산전이 완제품 공급업체로 선정되는 등 급속히 대중화 될 것으로 추정된다.
풍력발전기에서 공급되는 전력은 직접 소비되거나 ESS에 충전된다. 이의 효율적인 전환이 핵심이다. 본 논문에서는 에코그린테크 사에서 제작한 스위치를 사용하였다.

에코그린테크(http://www.eco-gtech.com/)는 홍콩 소재의 친환경 에너지 기업으로 풍력 또는 태양광 발전과 가로등을 연결해주는 스위치를 판매하고 있다.

2. 전력 시스템

2.1 풍력 발전기

풍력발전기는 유도기를 사용하는 것과 영구자석 동기발전기(PMSG)를 사용하는 것으로 크게 나누어진다. 유도발전기는 가격이 싸고 견고하다는 장점은 있으나 역률이 낮고 교류여자전원이 필요하다는 단점이 있어 PMSG의 사용이 증가되고 있다. 일반적으로 PMSG를 이용한 풍력발전 시스템은 back-to-back 컨버터를 이용하여 발생전력을 전력계통에 전달하고 있으나, 중소용량 풍력발전시스템에서는 발생전력을 제어하기 위하여 회로 구성이 간단하여 가격이 저렴하고 효율이 양호한 부스트 컨버터를 사용하는 것이 유리하다.

소형 풍력발전 시스템에서는 PMSG를 많이 사용하며, 소형 풍력 발전 시스템은 그림 1과 같은 다이오드 정류기와 부스트 컨버터로 이루어진 구조적으로 간단하며 가격이 저렴한 DC-DC 컨버터 구조를 많이 사용한다.

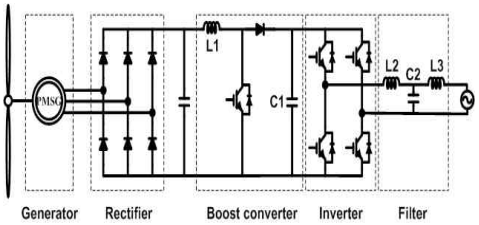

그림 2 풍력발전기의 기본 구성도

이 시스템은 발전기로부터 얻어지는 AC 전력이 다이오드 정류기를 통해 추가의 제어 회로 없이 간단히 변환되며 하나의 스위치로 발전기를 제어하기 때문에 시스템이 간단해지는 장점이 있다. 그러나 일반적으로 다이오드 정류기 뒤쪽에 발전기 전압을 승압하기 위한 L, C 수동소자와 발전기를 최대 전력점 동작 제어를 위한 속도 센서가 필수적으로 사용되어야 하는 단점이 있다.

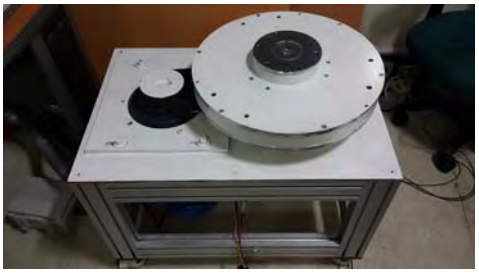

그림 3 풍력발전 시뮬레이터

MPPT(Maximum Power Point Tracking)제어를 통하여 특정 바람의 세기에 맞춘 최대 파워를 트랙킹 할 수 있다. 바람은 특성상 변동이 심하므로 ESS를 통한 충방전 시스템과 연결하는 것이 효과적이다.

그림 4 제어기

2.2 에너지 저장 시스템

에너지 저장 시스템은 납축전지를 이용한 100Ah용량의 장치를 사용하였다. 자체 컨트롤러를 내장하고 있으나, 컨트롤러를 끄고 직접 연결하여 사용하였다.

그림 5 에너지저장시스템

에너지 저장 시스템은 PC와 시리얼포트로 연결되어 제어 및 모니터링이 가능하며 간단한 프로토콜을 내장하고 있다.

2.3 스위치

풍력발전 전력을 ESS 또는 직접망에 연결해주는 장치로 ESS 대신 24V 납축전지로 간단히 연결할 수 있다. 납축 전지는 또한 스위치의 전원으로도 활용되는데 스위치 역시 컴퓨터와 시리얼포트로 연결되어 모니터링이 가능하다.

그림 6 스위치

다음은 스위치의 회로 연결도이다. 기능상으로는 풍력발전기와 태양발전기 포트에 모두 연결가능하며 납축전지와 2 포트의 출력단과 연결된다.

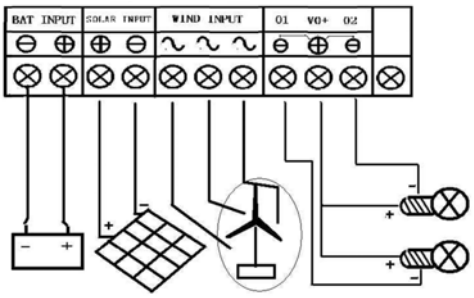

그림 7 스위치의 회로 연결도

다음은 스위치 LCD 패널이다. 여기서 연결상태와 기본 수치등을 확인 할 수 있다.

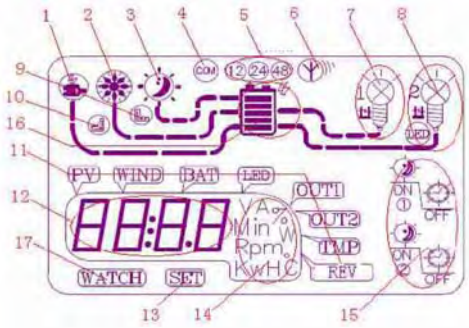

그림 8 스위치의 LCD 패널

다음은 시리얼포트로 연결된 컴퓨터에서 모니터링하는 창이다. 다양한 옵션을 가지고 있다.

그림 9 스위치의 모니터링 윈도우

3. 퍼지 스위치

보다 효율적으로 스위치를 제어하기 위하여 퍼지 로직을 사용하였다. 입력단으로는 풍력발전기의 출력전압과 ESS의 충전레벨을 사용하였다.

3.1 퍼지 로직

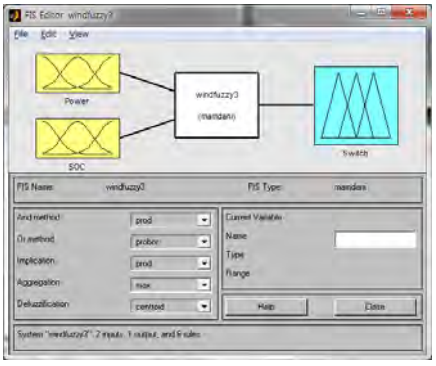

그림 10 mamdani 퍼지시스템

파워의 멤버쉽 함수는 삼각함수로 Weak과 String으로 구분된다. 그리고 충전레벨인 SOC(State of Charge)는 가우시안 함수로 고,중,저의 3단계로 구분된다.

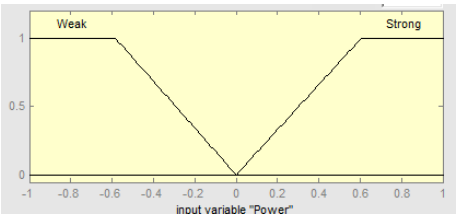

그림 11 Power의 멤버쉽함수

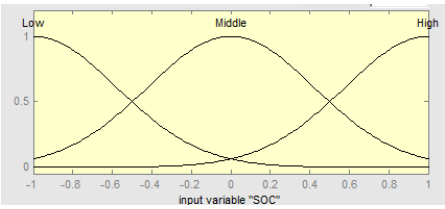

그림 12 SOC의 멤버쉽함수

출력 역시 멤버쉽 함수로 표현되는 Mamdani 시스템으로 구현하였으며 출력단의 멤버쉽함수는 가우시안 함수로 충전과 사용으로 구분된다. 최종적으로는 0을 기준으로 하드디시션한 이진 값이 스위치를 구동하게 된다.

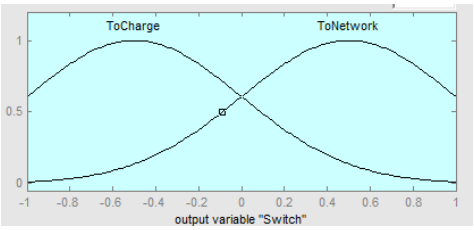

그림 13 Switch의 멤버쉽함수

3.2 로직 구현

퍼지 로직은 6개로 구성되며 전력의 2레벨, SOC의 3레벨의 조합으로 구성된다.

기본적인 로직은 충전레벨이 낮으면 충전으로 충전레벨이 높으면 사용으로 연결되지만 충전레벨이 중간인 경우에는 모호해진다. 이 때는 공급 전력이 약하면 충전으로 강하면 사용으로 연결시킨다.

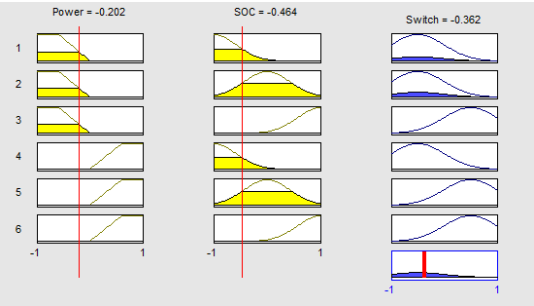

그림 14 퍼지룰의 도표화

따라서 애매모호한 경우에 퍼지를 활용한 최적의 값을 찾아준다. 실제 퍼지 스위치의 구현을 위해서는 복잡한 퍼지룰을 Surface Plot으로 변환한 후에 이를 Look-up 테이블로 구현하여 간단하고 신속한 스위칭이 가능하게 하였다.

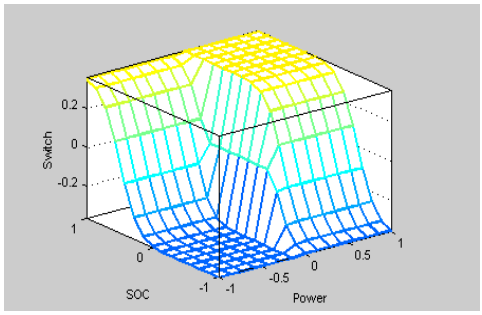

그림 15 퍼지 출력값의 surface plot

4. 결론

에너지와 환경이 중요해지는 현재에 전력 공급 시스템은 변화가 불가피하다. 오일 가격은 하락하였지만 대체 에너지 역시 비용이 하락할 것이고 환경 문제가 대두되면서 대체 에너지는 결국 대세가 될 것이다. 대체 에너지의 사용은 ESS를 필연적으로 포함시키며 효율적인 스위치 역시 필수적인 요소가 된다.

본 논문에서는 풍력발전기와 퍼지 스위치를 ESS에 연결하여 보다 효율적인 전력 시스템을 제안하였다.

퍼지로직은 SOC에 따른 공급 전력의 세기에 의해 결정된다. SOC가 낮으면 충전하고 높으면 사용하는 것은 명백하나 SOC가 중간인 경우에는 모호해진다. 이런 모호한 구간을 공급전력의 강약을 고려하여 보다 효율적인 운용이 가능하도록 제작하였다.

참고문헌

[1] Eltamaly, Ali M. "Modeling of wind turbine driving permanent magnet generator with maximum power point tracking system," Journal of King Saud University, 2007.

[2] C.A. Hernandez-Aramburo, T.C. Green, and N. Mugniot, "Fuel consumption minimization of a microgrid," IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 41, No. 3, pp. 674-681, May, 2005.

[3] Tammaruckwattana, Sirichai, and Kazuhiro Ohyama, "Experimental Verification of variable speed wind power generation system using permanent magnet synchronous generator by boost converter curcuit," Industrial Electronics Sociery, IECON 2013-39th Annual Conference of the IEEE, 2013.

[4] Wang, Li-Xin, A course in Fuzzy systems, Prentice-Hall press, USA, 1999.

[5] F. Blaabjerg, Z. Chen, and S. B. Kjaer, "Power electronics as efficient interface in dispersed power generation systems," IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 19, No. 5, pp. 1184-1194, Sep, 2004.