지능형 제어기를 이용한 하이브리드 전력시스템 제어 연구

김남규, 김명진*
충북대학교
imtng@cbnu.ac.kr, *mckim@cbnu.ac.kr

A Study on Hybrid Power System Control Using Intelligent Controller

Namgyu Kim, Myungchin Kim*
Chungbuk National Univ.

요 약

본 논문은 태양광 발전량과 배터리 전류를 고려하여 퍼지 논리 제어기를 이용한 하이브리드 전력 시스템을 제시한다. 변동성 출력 특성을 갖는 신재생 발전 시스템이 전력 계통에 확대 적용하고 있고 이로 인해 전력 품질 저하를 일으키는 전력 계통의 공급과 수요의 불균형 현상이 커진다. 이를 해결하기 위한 솔루션으로 에너지 저장 시스템(ESS)을 제시해왔다. 하지만 배터리의 높은 가격으로 인해 배터리 온도와 수명을 고려해야 한다. 이에 배터리의 전력 부담을 최소화하는 목적으로 배터리 충·방전 상태에 따른 하이브리드 전력시스템의 제어 방안을 제시한다.

Ⅰ. 서 론

태양광, 풍력 등을 이용한 신재생 발전 시스템은 변동성 출력 특성을 갖고 있다. 이는 전력 계통에 확대 적용하고 있고 수요와 공급 간의 불균형 현상이 커지게 된다. 따라서 안정적인 전력 균형을 위하여 에너지 저장 시스템(Energy Storage System: ESS)과 함께 하이브리드 전력 시스템(Hybrid Power System: HPS)를 구성하는 것이 일반적이다. 한편, 배터리의 지속적인 충·방전 및 배터리의 높은 운영 온도는 배터리의 수명을 단축시켜 유지보수 비용을 증가시킨다. 이에 배터리 온도의 큰 요인인 배터리 전류를 제한하기 위해 PV(Photovoltaic) 출력을 Droop 제어하는 방안이 제시되었다[1]. 본 연구에서는 배터리 전류를 제어하기 위해 FPPT(Flexible Power Point Tracking)을 통해 PV 출력을 제어한다[2]. 그 후, 퍼지 논리 제어기를 통해 배터리 전류 크기와 태양광 발전량을 고려하여 최적의 HPS 제어를 제시한다.

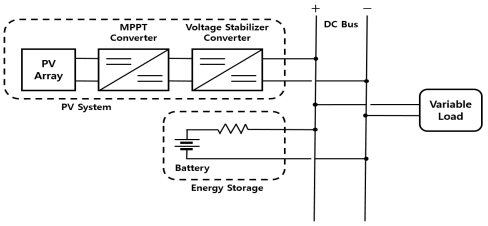
Ⅱ. 본론

2.1. PV-Battery 하이브리드 시스템 구성

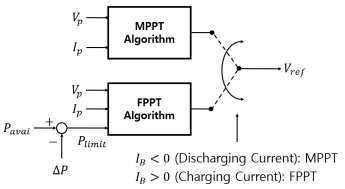
태양광 발전 시스템은 기상 변동에 큰 영향을 받아 안정적인 전력 균형을 위해 ESS의 연계가 필요하다. 태양광 발전 시스템과 배터리를 이용한 HPS는 <그림 1>과 같이 구성하였다[3]. <그림 2>는 태양광 발전 시스템의 출력 제어 블록 다이어그램이다. 부하 출력이 PV 출력보다 더 큰 경우에 배터리는 방전하고, 배터리 방전 전류는 PV 출력이 클수록 낮아진다. 즉, 방전 전류를 낮추기 위해 PV 시스템은 기존의 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어하는 것이 유리하다. PV 출력이 부하 출력보다 더 큰 경우에 배터리는 충전 상태가 되고, 배터리 충전 전류는 PV 출력이 작을수록 낮아진다. 즉, 충전 전류를 낮추기 위해 PV 시스템은 출력 제한 값인 P_{limit} 까지 PV 출력을 낮추는 FPPT 제어가 유리하다. 여기서 출력 제한 값은 아래 식과 같다.

$$P_{limit} = P_{avail} - \Delta P \quad (1)$$

여기서, P_{avail}은 PV 시스템의 이용 가능한 출력, ΔP는 예비출력이다. ΔP가 증가할수록 P_{limit}가 낮아져 충전 전류는 낮아진다. 그러나 P_{avail}



〈그림 1〉 PV-Battery HPS 구성

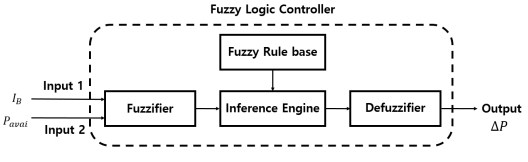


〈그림 2〉 HPS 제어 블록 다이어그램

보다 크면 P_{limit}는 음수가 되고 FPPT 제어를 할 수 없게 된다. 즉, 배터리가 충전 상태일 때, 배터리 전류와 이용 가능한 출력을 고려하여 예비출력을 선정해야 한다.

2.2. 퍼지 논리 제어기 모델링

배터리 전류 및 이용 가능한 출력을 고려하여 최적의 예비출력을 산정하기 위한 지능형 제어기로 퍼지 논리 제어기(Fuzzy Logic Controller: FLC)를 제안한다. 퍼지 논리(Fuzzy Logic)는 정확한 수학적 모델 대신 제어하려는 시스템에 대한 이해가 필요하며, 입·출력에 대한 제어 규칙들을 생성함으로써 인간의 추론능력을 근사시켜 시스템을 분석하는 기법이다[4]. 입력 변수는 배터리 전류 I_B와 PV 시스템의 이용 가능한 출력 P_{avai}이고, 출력 변수는 예비출력 ΔP이다. 퍼지 출력 규칙은 <표 1>의 Fuzzy Rule Matrix에서 확인할 수 있다.



〈그림 3〉 FLC 블록 다이어그램

〈표 1〉 Fuzzy Rule Matrix

Batter current (I_B) \ PV Available Power (P_{avai})	NB	NS	ZZ	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NB
NS	NB	NB	NS	NS	ZZ
ZZ	NB	ZZ	PS	PS	PS
PS	NB	PS	PS	PB	PB
PB	NB	PB	PB	PB	PB

2.3. 시뮬레이션 결과

<그림 1>의 시스템을 구현하기 위한 PV 모듈 파라미터는 <표 2>에서 확인할 수 있다[5]. (동작 온도 25 [℃], 일사량 1000 [W/m^2])

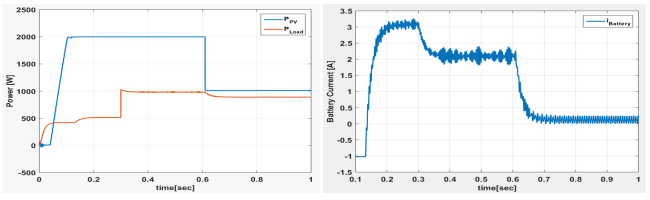
〈표 2〉 PV 모듈 파라미터

P_{MPP} [W]	200
V_{OC} [V]	33
I_{SC} [A]	8.19
V_{MPP} [V]	26.7
I_{MPP} [A]	7.49
Parallel strings	1
Series-connected modules	10

〈표 3〉 시간에 따른 일사량 및 부하 출력

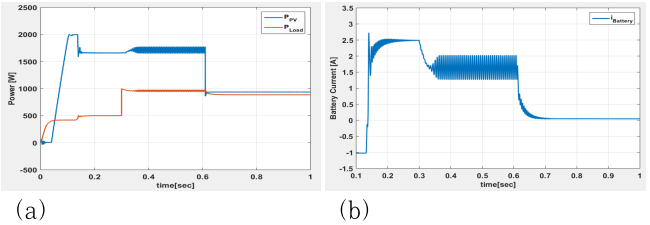
시간 [s]	0	0.3	0.6	1
일사량 [W/m^2]	1000	1000	500	500
부하 출력[W]	400	800	800	800

일사량 및 부하 출력 변화에 대한 제안한 기법의 성능을 확인하기 위해 MPPT 제어만을 하는 경우와 시뮬레이션 결과를 비교한다. 시간에 따른 일사량 및 부하 출력은 <표 3>에서 확인할 수 있다. 배터리 방전 시 MPPT 기법을 사용한다는 전제하에 배터리 충전 경우의 시뮬레이션 결과를 고려한다. <그림 4>은 MPPT 제어를 통해 PV 출력을 최대치로 높일 수 있다. 그러나 충전 전류는 전반적으로 높은 것을 확인할 수 있다. FLC를 통해 예비전력을 선정하여 FPPT 제어를 이용한 결과는 <그림 5>에서 확인할 수 있다. 충전 전류가 높아짐에 따라 PV 출력이 낮아지는 것을 확인할 수 있고, 결과적으로 충전 전류는 <그림 4. (b)>와 비교했을 때 전체적으로 낮아지는 것을 확인할 수 있다.



(a) (b)

〈그림 4〉 MPPT 제어 시뮬레이션 결과
(a) PV 출력 및 부하 출력 (b) 배터리 전류



(a) (b)

〈그림 5〉 제안된 기법 시뮬레이션 결과
(a) PV 출력 및 부하 출력 (b) 배터리 전류

Ⅲ. 결론

본 논문에서는 지능형 제어기를 이용한 PV 출력 제어 방안을 제시한다. 부하 출력이 PV 출력보다 큰 경우, 배터리는 방전하고 PV 출력이 부하 출력보다 큰 경우, 배터리는 충전한다. 배터리 방전 시 PV 출력이 낮을수록 방전 전류는 증가하고, 배터리 충전 시 PV 출력이 높을수록 충전 전류는 증가한다. 이는 배터리 온도 증가 및 수명 단축으로 이어진다. 이를 해결하기 위해 배터리의 전류와 PV 시스템의 이용 가능한 출력 크기를 고려하여 FLC를 이용한 예비출력 산정 및 FPPT 제어 방안을 제시한다. 향후 배터리 온도, SoC(State of Charge), 소자의 고장률 등 고려하여 배터리 수명 및 HPS의 신뢰성 향상을 목적으로 최적의 PV 출력을 산정하기 위한 지능형 제어기 연구를 수행해야 한다.

ACKNOWLEDGMENT

감사의 글

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.NRF-2020R1C1C1011572). 또한, 이 논문은 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2020R1A6A1A12047945).

참 고 문 헌

[1] M. C. Kim, S. W. Bae, “Decentralized control of a scalable photovoltaic(PV)-battery hybrid power system”, Applied Energy 188, pp. 444-455, 2017

[2] Y. Yang, K. A. Kim, F. Blaabjerg and A. Sangwongwanich, “Advances in Grid-Connected Photovoltaic Power Conversion Systems”, CHAPTER. 6, pp. 155

[3] A. Kurniawan and E. Shintaku, "Control of photovoltaic system connected to DC bus in all-electric ship," 2017 ICAMIMIA, Surabaya, pp. 110-115, 2017

[4] Jun Ha Lee. "Optimization Learning Method of Neuro-Fuzzy Algorithm". 공학기술연구, vol. 2004, pp.1-8, 2004.

[5] POSHARP, “SF190-27-M200 Solar Panel from Hanwha SolarOne” (http://www.posharp.com/sf190-27-m200-solar-panel-from-hanwha-solarone_p518608011d.aspx)