

하이브리드 신재생에너지 시스템의 최적제어를 위한 퍼지 로직 제어기 설계

Design of Fuzzy Logic Controller for Optimal Control of Hybrid Renewable Energy System

장 성 대* · 지 평 식*
(Seong-Dae Jang · Pyeong-Shik Ji)

Abstract - In this paper, the optimal fuzzy logic controller(FLC) for a hybrid renewable energy system(HRES) is proposed. Generally, hybrid renewable energy systems can consist of wind power, solar power, fuel cells and storage devices. The proposed FLC can effectively control the entire HRES by determining the output power of the fuel cell or the absorption power of the electrolyzer. In general, fuzzy logic controllers can be optimized by classical optimization algorithms such as genetic algorithms(GA) or particle swarm optimization(PSO). However, these FLC have a disadvantage in that their performance varies greatly depending on the control parameters of the optimization algorithms. Therefore, we propose a method to optimize the fuzzy logic controller using the teaching-learning based optimization(TLBO) algorithm which does not have the control parameters of the algorithm. The TLBO algorithm is an optimization algorithm that mimics the knowledge transfer mechanism in a class. To verify the performance of the proposed algorithm, we modeled the hybrid system using Matlab Tool and compare and analyze the performance with other classical optimization algorithms. The simulation results show that the proposed method shows better performance than the other methods.

Key Words : Hybrid renewable energy system, Teaching-learning based optimization, Fuzzy logic controller.

1. 서 론

최근 급격한 기후변화와 에너지 소비의 증가로 에너지 공급의 불균형이 계속적으로 증가하고 있다. 이러한 에너지 문제의 해결을 위하여 신재생에너지에 대한 연구가 다양한 분야에서 많이 연구되어지고 있다. 신재생에너지는 대표적으로 풍력, 태양광 및 연료 전지 등이 있으며 저장장치로서 배터리, 슈퍼 캐패시터 등이 최근 각광을 받고 있다. 이러한 신재생에너지원을 이용하는 발전시스템은 독립적인 발전시스템과 기존의 전력망에 연계하여 에너지 유연성 및 비용 절감에 효과를 가져 올 수 있으며 또한 에너지 신뢰도면에서도 장점을 가진다. 그러나 거의 대부분의 응용분야에서는 하나 이상의 신재생에너지원과 저장장치를 적용한 하이브리드 시스템으로 구성되며 전력 공급의 안정성과 우수한 전력품질을 유지하기 위해서는 적절한 에너지관리시스템 및 전력제어기가 필수적이다[1-3].

최근에는 하이브리드 신재생에너지 시스템의 에너지관리

및 제어를 위하여 퍼지 로직 및 신경망과 같은 소프트 컴퓨팅 기술들이 많이 적용되어지고 있다. Ludwig 등은 환경 측면을 고려한 다양한 에너지 전환 기술을 평가하기 위한 새로운 퍼지 기반 방법을 사용했으며 재생 에너지가 지속 가능성을 위해 활용되어야한다고 결론지었다[4]. Bilodeau 등은 수소저장 장치를 포함하는 독립형 하이브리드 시스템의 퍼지 제어를 제안했으며 신재생에너지의 잉여 전력을 이용하는 전기분해 시스템 모델을 제안하였다[5]. Thanaa 등은 PV 및 풍력 에너지에 대한 최대 전력을 얻기 위해 퍼지 논리 제어를 사용하였으며 부하전력에 대한 초과분을 이용하여 수소를 발생시켜 연료전지를 구동하는데 사용하였다[6]. Miland 등은 풍력-수소 독립형 전력 시스템에서 퍼지 논리 제어를 사용했으며 잉여 전력의 사용은 연료전지를 위한 수소탱크와 에너지저장장치로 저장하도록 하였다[7]. 그러나 일반적인 퍼지제어의 경우 경험이나 실험적으로 선택하여야 하는 요소들(멤버십 함수 타입 및 범위 등)이 많고 그에 따른 성능차이도 크다는 단점이 있어 지능형 최적화 기법을 이용한 퍼지제어의 최적 설계 연구들도 다양하게 이루어지고 있다[8-12].

지능형 최적화 기법 중 집단 기반의 최적화 알고리즘들은 대표적으로 유전자 알고리즘, 분자군집 최적화 알고리즘, 물순환 알고리즘 및 Cuckoo 탐색기법 등이 신재생에너지 시스템에 적용되어져 왔다[8-12]. 그러나 이러한 알고리즘들 또한 퍼지제어기와 비슷하게 설계자가 정의해야하는 변수들에 의해 성능에 차이가 있다는 단점들이 존재한다. 따라서 신재생에너지에 적용되는 퍼지제어기의 최적설계를 위해서

* Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju, Korea.

E-mail : psji@ut.ac.kr

* Dept. of Electrical Engi., Korea National University of Transportation, Korea.

접수일자 : 2018년 8월 10일

최종완료 : 2018년 8월 17일

는 퍼지제어기는 물론 최적화 알고리즘들의 변수들까지 설계하여야하는 복잡한 최적화 문제로 귀결된다.

한편 참고문헌 [13, 14]에서는 최적화 알고리즘의 설계 변수에 자유로운 교수-학습 기반 최적화 알고리즘인 TLBO(Teaching-learning-based optimization)을 제안하였다. TLBO는 수업 또는 학교생활에서 발생할 될 수 있는 두 가지의 지식전달 매커니즘을 모방한 최적화 알고리즘으로서 설계 변수인 집단의 크기와 반복횟수를 제외하면 설계자가 선정해야하는 변수가 없다는 장점이 있어 다양한 최적화 문제에 많이 적용되어지고 있다[15].

본 논문에서는 TLBO 기법을 이용한 하이브리드 시스템의 퍼지 로직제어기의 최적 설계 기법을 제안한다. 제안된 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 풍력 터빈, 광전지, 연료 전지 (FC), 배터리 및 Electrolyzer (Elec)로 구성된 하이브리드 시스템을 이용하였으며 목적함수로는 LPSP(loss of power supply probability)와 운영 및 유지관리비용 (operation and maintenance)을 이용하여 평가하였다. 실험결과 제안된 알고리즘이 기존의 일반적인 지능형 최적화 알고리즘에 비해 우수함을 확인하였다.

2. 최적화된 퍼지 로직 제어기 설계

2.1 시스템 구성도

그림 1에서는 본 논문에서 제안된 하이브리드 신재생 에너지 시스템 최적 제어를 위한 퍼지 로직 제어기의 구조를 나타냈다. 하이브리드 신재생 에너지 시스템은 풍력, 태양광, 연료전지 및 전기분해장치, 배터리 및 수소탱크로 이루어져 있으며 공통 DC 버스에 결합되는 구조이다.

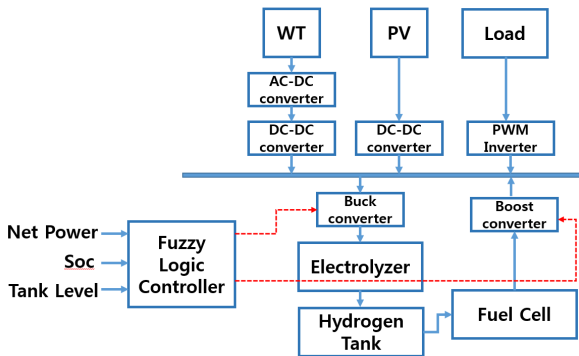


그림 1 시스템 구성도
Fig. 1 System configuration

그림 1에서 보는 바와 같이 모든 에너지원은 DC 버스에 연결되어있어 적절한 에너지 관리가 가능하고 풍력 및 태양광 발전시스템이 주 에너지원으로 역할을 한다. 보조에너지원 및 에너지 저장장치로는 수소연료전지 시스템 및 배터리가 그 기능을 한다. 이러한 하이브리드 시스템에서 주 에너지원 및 연료전지가 요구부하를 충족시키지 못하면 배터리에서 부족한 부하전력을 공급한다. 반대로 요구부하전력을 충족하고 잉여전력이 존재할 경우 전해조(Electrolyzer)를 통하여 수소를 생성하여 저장한다. 이 시스템의 제어는 전해조

용 벡 컨버터와 연료전지용 부스터 컨버터의 출력을 교수-학습 최적화 알고리즘으로 최적화된 퍼지 로직 제어기로서 전력흐름을 제어한다. 또한 컨버터의 동특성 모델은 전체 시스템의 동특성에 비해 매우 빠르기 때문에 무시하고 출력만을 제공하는 장치로서 간략화 하여 모델링 된다[8].

2.2 퍼지 로직 제어기

본 논문에서는 하이브리드 신재생에너지 시스템의 성능을 향상시키기 위해 TLBO를 이용한 최적화된 퍼지 로직 제어기를 제안한다. 제안된 퍼지 로직 제어기는 TLBO에 의해 초기 멤버십 함수들이 최적화된다. 제안된 시스템에서는 퍼지 로직 제어기에 의해 운영 및 유지 보수 (O&M)비용과 LPSP (Power Supply Probability)가 동시에 최적화 되도록 운영된다[15].

퍼지 로직 제어기는 시스템의 전력균형을 맞추기 위해서 수소연료전지 시스템에 적용된다. 퍼지 로직 제어기의 입력으로는 그림 1에서 보는 바와 같이 배터리의 SOC, 수소탱크 레벨(Hydrogen Level) 및 DP(풍력 및 PV의 출력합과 부하전력 차)이며 출력은 DP의 부호(+) 잉여전력 발생, (-) 부족전력 발생에 따라 Boost 컨버터(연료전지)의 출력 또는 Buck 컨버터(전해조의 소비전력)의 출력이 된다. 배터리의 SOC와 HL을 위한 멤버십 함수는 Low, Medium, High의 세 가지를 사용하고 DP를 위한 멤버십 함수는 NB, NM, Z, PM, PB를 사용하였다. 퍼지제어기의 출력을 위한 멤버십 함수는 NB, NM, Z, PM, PB를 사용하였으며 제어규칙은 총 45개를 사용하였다[10, 11].

2.3 Teaching-Learning-Based Optimization(TLBO)

TLBO 알고리즘은 집단기반 최적화 알고리즘(Population based Optimization)으로서 최근 Rao등이 제안하였다[13, 14]. 이방법은 학교 내에서 교수(Teaching) 및 학습(Learning)과정의 매커니즘을 기반으로 개발되었으며 교사가 수업을 통해서 학습자들을 더 좋은 시험점수(최적화)로 이끌어 가는 과정에 영감을 얻어 개발되었다. TLBO 알고리즘은 학습자를 위한 두 가지 지식습득과정(최적화 과정)으로 구성되어 있다. 첫째로 교사와 학습자간의 지식교환 단계에서는 교사에 의해 학습자가 최적해를 찾아 과정이며 두 번째로는 다른 학습자와 학습자간의 지식교환 단계가 있다. 이 두 과정을 거치면서 학습자는 더 좋은 점수(최적해)로 수렴해 갈 수 있다[13, 14].

TLBO 알고리즘에서 과목의 수는 최적화 문제의 차원이며 개별 학생들의 점수는 최적화 알고리즘에서 후보해 (유전자 알고리즘에서의 개체의 염색체 또는 PSO 알고리즘에서의 개체의 위치)에 해당한다. 초기의 교사(Teacher)는 초기 학생들의 점수 중 최적화 문제에 가장 우수한 목적함수 값을 가지는 학생이 선정된다.

교사와 학습자간의 지식전달 과정은 아래의 수식으로 모델링 될 수 있다.

$$X_{i,new} = X_i + r[X_{teacher} - (T_f X_{i,mean})] \quad (1)$$

여기서 X_i 는 개별학생의 점수, $X_{teacher}$ 는 교사의 점수, r 은 0에서 1사이의 랜덤변수, X_{mean} 은 전체 학급의 평균점수, $X_{i,new}$ 는 i 번째 학생의 새로운 점수를 나타낸다. T_f 는 교사의 인자(Teaching factor)를 나타내며 설계자에 의해 선정되어야 하는 유일한 설계 변수이다. T_f 는 아래와 같이 계산되며 1 또는 2를 가진다.

$$T_f = round[1 + rand(0,1)] \quad (2)$$

학생과 학생간 사이의 지식전달 과정은 아래와 같이 모델링될 수 있다.

$$X_{i,new} = X_i + r[X_{ii} - X_i] \quad (3)$$

여기서 X_{ii} 는 임의의 다른 학생을 나타내며 r 은 0에서 1사이의 랜덤변수이다.

TLBO 알고리즘을 이용하여 하이브리드 신재생에너지 시스템의 퍼지로지 제어기의 최적화를 위한 절차는 다음과 같다.

- Step 1 : 학급의 학생수 P , 지식전달 횟수를 선정
- Step 2 : 초기 학생들의 점수를 생성(점수들은 멤버십 함수의 변수)
- Step 3 : 개별 학생들의 점수를 이용하여 목적함수를 계산
- Step 4 : 학생들의 순위 정리 및 가장 우수한 목적함수를 가지는 학생들의 교사로 선정
- Step 5 : 교사-학습자간 지식전달 과정을 식 (1)을 이용하여 계산
- Step 6 : 학습자-학습자간 지식전달 과정을 식 (2)를 이용하여 계산
- Step 7 : 학생들의 새로운 점수들을 이용하여 목적함수 계산
- Step 8 : 가장 우수한 학생(가장 우수한 목적함수 값을 가지는 학생)이 현재 교사보다 우수한 목적함수 값을 가지면 교사역할 교체 아니면 교사 유지
- Step 9 : 종료조건을 만족하면 알고리즘 종료 아니면 Step 5에서부터 다시 반복

3. 모의시험 및 결과

본 논문에서는 하이브리드 시스템의 최적 제어를 위하여 TLBO알고리즘과 퍼지로지 제어를 제안하였다. 그림 제안된 퍼지로지 제어기는 신재생에너지의 출력과 부하전력간의 전력균형을 목적함수를 최적화 하면서 충족시킨다. 목적함수로는 운영 및 유지보수 비용과 LPSP (Loss of Power Supply Probability)을 이용하였으며 두 가지 요소를 동시에 충족시키기 위하여 식 (4)와 같은 목적함수를 사용하였다.

$$Object_f = \omega C_{OM} + (1-\omega)LPSP \quad (4)$$

여기서 ω 는 가중치로서 0~0.9사이로 선정할 수 있으며

C_{OM} 은 운영 및 유지보수 비용을 나타낸다. 표 1은 개별요소들의 유지보수 및 운영비용을 나타내며 C_{OM} 은 아래의 식으로 계산된다.

$$C_{OM} = \sum_i P_{\max_i} C_{fi} + \sum_i P_{gen_i} C_{vi} \quad (5)$$

여기서 P_{\max_i} 는 최대 전력, P_{gen_i} 는 생산된 전력, C_{fi} 는 보수비용, C_{vi} 는 운영 및 유지비용을 나타낸다.

그림 2는 요구부하 데이터 곡선을 나타낸다. 부하는 7일간의 시간 단위 데이터로(168시간) 최대 약 9.2KW와 최소 0.2KW의 전력을 가지며 실제 건물에서의 소비부하전력을 사용하였다[16]. 또한 풍력 및 태양광 발전시스템을 위한 풍속, 기온 일사량 데이터는 2015년 11월 1일에서 7일 사이의 제주도 기상청 데이터를 사용하였다[17].

표 1 신재생에너지 시스템의 유지보수 및 운영 비용

Table 1 Costs of maintenance and operation for renewable energy system.

Equipment	Cfi(\$/kW/year)	Cvi(\$/kWh)
Wind turbine	10	0
PV	9.52	0
FC	0	0.02
Elec	0	0.0045
Battery	5	0.05

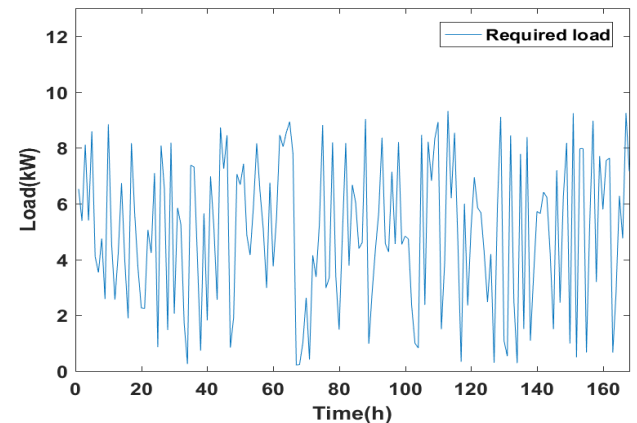


그림 2 요구 부하 데이터

Fig. 2 Demand load data

그림 2에 나타난 요구부하에 대한 시뮬레이션을 위하여 학생수는 100명으로 선정하고 학습회수를 100으로 선정하였다. 표 2는 가중치 $\omega=0.5$ 에 따른 시험결과를 보여준다. 표 2의 첫 번째 열은 각각의 최적화 기법들을 나타낸다. 여기서 "Un-optimized" 방법은 최적화 하지 않고 초기 멤버십 함수만을 사용하였을 때 결과를 의미한다. GA_FLC, PSO_FLC 및 TLBO_FLC는 퍼지 제어기를 GA, PSO 및 TLBO로 각각 최적화 한 결과를 나타낸다. 또한, 표 2에서 두 번째 열은 운영 및 유지 보수 값을 표시하고 세 번째 열은 LPSP 값을 나타낸다. 네 번째 열은 수식 (4)의 목적함수 결과 값

을 나타낸다. 다섯 번째와 여섯 번째 열은 각각 Electrolyzer와 FC에서 사용된 전력량을 나타낸다.

표 2에서 알 수 있듯이 GA와 PSO알고리즘에 의한 퍼지 로직 제어기의 성능은 초기 멤버십 함수를 사용했을 때에 비하여 약 1.93% 우수한 성능을 보였으며 제안된 TLBO알고리즘을 적용한 방법에서는 약 2.2%로 제안된 알고리즘의 성능이 다른 방법들에 비하여 더 우수함 알 수 있다. 또한 TLBO알고리즘에 의한 최적화 기법에서는 유지 및 운영비용이 소요되는 연료전지 시스템을 다른 알고리즘들에 비하여 적게 하면서 LPSP는 동일한 성능이 되도록 퍼지 제어기의 멤버십 함수를 잘 최적화하였음을 알 수 있다.

표 2 시뮬레이션 결과 ($w = 0.5$)

Table 2 Simulation results ($w = 0.5$)

Method	CO&M	LPSP (%)	Object function	Jelec (kWh)	JFC (kWh)
Un-optimized	26.391	0.113	13.252	24.491	81.729
GA- FLC	26.381	0.111	12.996	24.111	79.176
PSO- FLC	25.800	0.111	12.981	23.931	78.621
TLBO- FLC	25.783	0.111	12.948	23.777	77.171

그림 3과 4는 $w = 0.5$ 일 때의 각각의 멤버십 함수를 나타내며 실선은 초기 멤버십값을 나타내고, 점선은 TLBO에 의한 최적화된 멤버십 함수를 나타낸다. 그림 3에서 배터리의 SOC를 위한 멤버십의 경우 초기 멤버십 함수에 비해 크게 변화없이 선정되었고 탱크레벨(TP)의 경우는 Medium 부분이 가장 많은 변화를 보였다. 또한 DP의 경우 NB 멤버십 함수가 가장 큰 변화를 보였으며 출력 멤버십 함수는 NM 멤버십 함수가 변화가 가장 크게 변화하였다.

그림 5는 반복횟수(학습회수)에 대한 목적함수의 값을 나타냈다. 그림 5에서 알 수 있듯이 TLBO 알고리즘을 이용한 기법이 다른 기법들에 비해 우수한 성능을 보였으며 약 7번째 반복에서 최적해에 수렴하였다.

그림 6은 각각의 알고리즘에 대한 배터리의 SOC의 변화를 나타내며 그림 7은 각각의 알고리즘에 대한 수소탱크 레벨 변화를 나타냈다. 그림 6과 7에서 알 수 있듯이 TLBO 알고리즘이 다른 알고리즘에 비해 SOC와 수소탱크레벨을 높게 유지하는 것을 볼 수 있다. 그림 8은 하이브리드 시스템의 출력 및 요구부하 곡선을 나타냈다. 그림 8에서 볼 수 있듯이 시스템의 출력이 요구부하를 잘 추종하고 있음을 볼 수 있다. 실험결과로부터 알 수 있는 바와 같이 TLBO 알고리즘은 다른 알고리즘들에 비해 하이브리드 시스템을 효과적으로 제어할 수 있는 최적의 퍼지 제어기의 파라미터를 선정하였음을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 하이브리드 신재생에너지 시스템의 최적 제어를 위하여 TLBO를 이용한 최적 퍼지 로직 제어기 설계를 제안하였다. 하이브리드 시스템의 목적함수로는 LPSP와 운영 및 유지보수비용을 동시에 만족하도록 설계하였으며 목적함수가 최적이 되도록 운전하기 위하여 위한 퍼지 로직

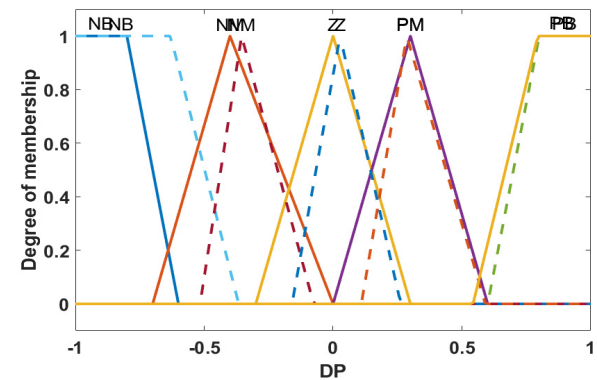
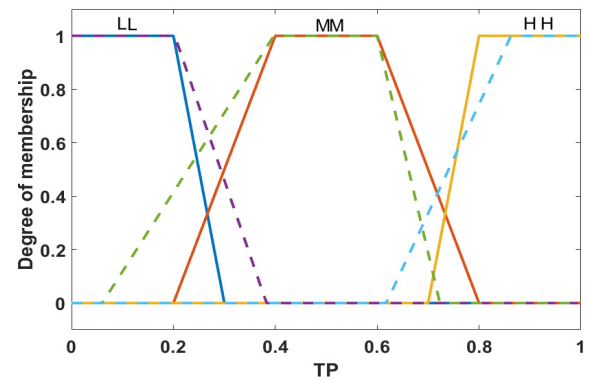
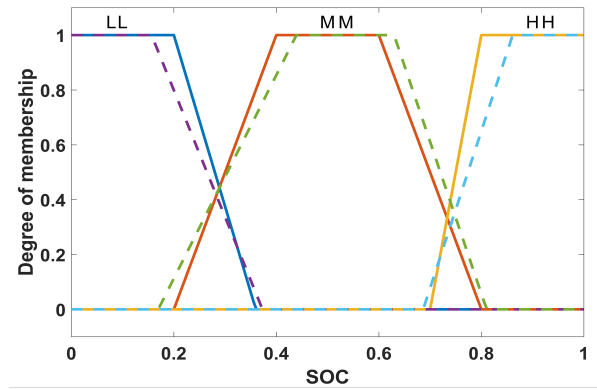


그림 3 입력 멤버십 함수 ($w=0.5$)

Fig. 3 Input membership function ($w=0.5$)

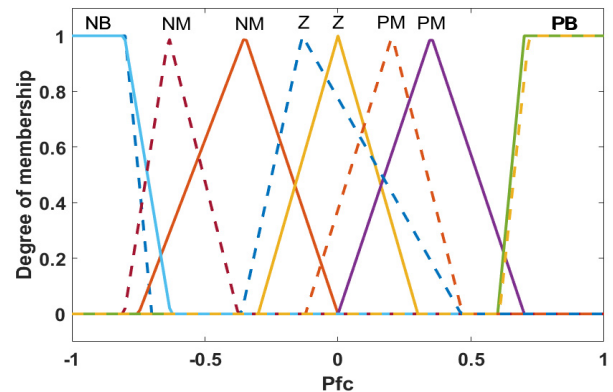


그림 4 출력 멤버십 함수 ($w=0.5$)

Fig. 4 Output membership function ($w=0.5$)

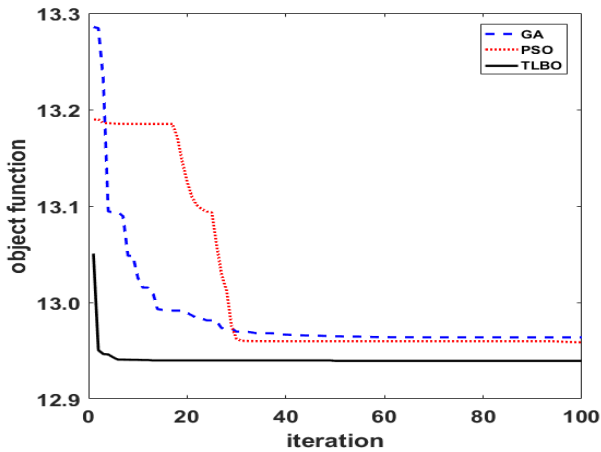


그림 5 반복횟수에 따른 목적함수 ($w=0.5$)
 Fig. 5 Object function according to iteration ($w=0.5$)

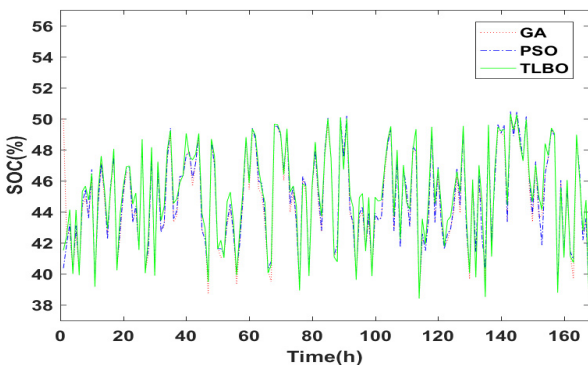


그림 6 배터리의 SOC ($w=0.5$)
 Fig. 6 Soc of battery ($w=0.5$)

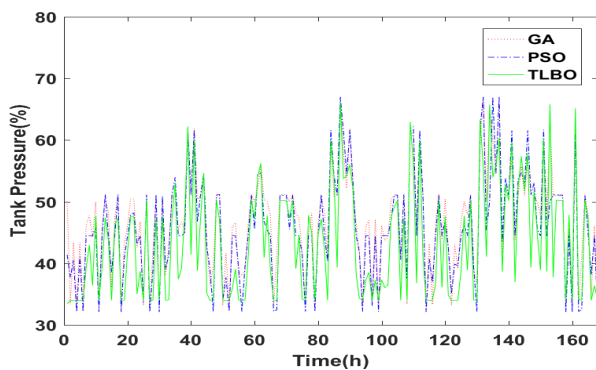


그림 7 수소탱크의 레벨 ($w=0.5$)
 Fig. 7 Level of hydrogen tank ($w=0.5$)

제어기는 TLBO 알고리즘에 의해서 입력 멤버십 함수와 출력 멤버십 함수가 선택되도록 하였다. 제안된 알고리즘의 성능 비교를 위하여 일반적으로 잘 알려진 유전자 알고리즘과 PSO와 비교하였으며 실험 결과 제안된 알고리즘이 다른 기법들에 비하여 우수한 성능을 보임을 확인하였다.

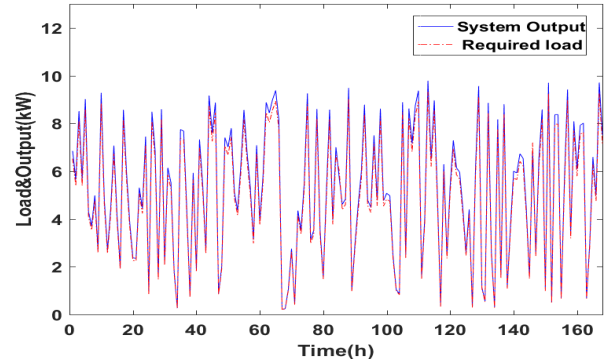


그림 8 하이브리드 시스템의 출력 및 요구부하 ($w=0.5$)
 Fig. 8 Output and required load of hybrid renewable energy system ($w=0.5$)

References

- [1] Wang, C., Nehrir M. H., "Power management of a stand-alone wind/photovoltaic/fuel cell energy system," *IEEE transactions on Energy conversion*, vol. 23, pp. 957-967, 2008.
- [2] Dufo-López R., Bernal-Agustín J. L. "Multi-objective design of pv - wind - diesel - hydrogen - battery systems," *Renewable energy*, vol. 33, pp. 2559-2572, 2008.
- [3] Bajpai, P., Dash V., "Hybrid renewable energy systems for power generation in stand-alone applications: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 2926-2939, 2012.
- [4] Ludwig, B., "On the sustainability of future energy systems," *Energy conversion and management*, vol. 38, pp. 1765-1775, 1997.
- [5] Bilodeau, A., Agbossou K., "Control analysis of renewable energy system with hydrogen storage for residential applications," *Journal of Power Sources*, vol. 162, pp. 757-764, 2006.
- [6] Thanaa, F., Eskander M. N., El-Hagry M. T., "Energy flow and management of a hybrid wind/pv/fuel cell generation system", *Energy Conversion and Management*, vol. 47, pp. 1264-1280. 2006.
- [7] Miland H., Glöckner R., Taylor P., Aaberg R. J., Hagen G., "Load control of a wind-hydrogen stand-alone power system," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 31, pp. 1215-1235, 2006.
- [8] Jahedi G., Ardehali M. "Genetic algorithm-based fuzzy-pid control methodologies for enhancement of energy efficiency of a dynamic energy system," *Energy Conversion and Management*, vol. 52, pp. 725-732, 2011.
- [9] Messai A., Mellit A., Guessoum A., Kalogirou S., "Maximum power point tracking using a ga optimized fuzzy logic controller and its fpga

- implementation,” *Solar energy*, vol. 85, pp. 265-277. 2011,
- [10] Safari S., Ardehali M., Sirizi M., “Particle swarm optimization based fuzzy logic controller for autonomous green power energy system with hydrogen storage,” *Energy Conversion and Management*, vol. 65, pp. 41-49, 2013.
- [11] Sarvi M., Avanaki I. N., “An optimized fuzzy logic controller by water cycle algorithm for power management of stand-alone hybrid green power generation,” *Energy Conversion and Management*, vol. 106, pp. 118-126. 2015.
- [12] Berrazouane S., Mohammedi K., “Parameter optimization via cuckoo optimization algorithm of fuzzy controller for energy management of a hybrid power system,” *Energy Conversion and Management*, vol. 78, pp. 652-660, 2014.
- [13] Rao R. V., Savsani V. J., Vakharia D., “Teaching - learning-based optimization : A novel method for constrained mechanical design optimization problems,” *Computer-Aided Design*, vol. 43, pp. 303-315, 2011.
- [14] Rao R. V., Savsani V. J., Vakharia, D., “Teaching - learning-based optimization : An optimization method for continuous non-linear large scale problems,” *Information Sciences*, vol. 183, pp. 1-15, 2012.
- [15] Hong Won-Pyo, and Jea-Hoon Cho, “Power Control of Stand-alone Microgrid with Smart Fuzzy Logic Controller using TLBO-CS Algorithm,” *KIIEE 2018 Annual Spring Conference*, pp. 156-156, 2018.
- [16] <https://openi.org/datasets/files/961/pub/>
- [17] <http://sts.kma.go.kr/jsp/home/contents/main/main.do>

저 자 소 개



장 성 대 (Seong-Dae Jang)

1999년 인하대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학석사), 2016년 2월 한국교통대학교 대학원 전기공학과 박사과정 수료, 2002년~현재 경북전문대학교 철도전기기관사와 부교수

E-mail : sdjang@kbc.ac.kr



지 평 식 (Pyeong-Shik Ji)

1994년 충북대학교 대학원 전기공학과 석사과정 졸업(공학석사), 1998년 동대학원 박사과정 졸업(공학박사), 현재, 대한전기학회 충북지회장, 한국교통대학교 전기공학과 교수

E-mail : psji@ut.ac.kr