

퍼지 PI 제어기를 이용한 풍력/디젤 하이브리드 발전시스템의 품질제어

양수형*, 고정민*, 부창진**, 강민제***, 김정욱****, 김호찬**

*제주대학교 풍력특성화 협동과정(tngud84@jejunu.ac.kr/ tngud84@jejunu.ac.kr)

**제주대학교 전기공학과(boo1004@jejunu.ac.kr/ hckim@jejunu.ac.kr)

***제주대학교 전자공학과(minjk@jejunu.ac.kr)

****상명대학교 에너지그리드학과(jukim@smu.ac.kr)

Power Quality Control of Wind/Diesel Hybrid Power Systems Using Fuzzy PI Controller

Yang, Su-Hyung* Ko, Jung-Min* Boo, Chang-Jin** Kang, Min-Jae***
Kim, Jeong-Uk**** Kim, Ho-Chan**

*Multidisciplinary Graduate School Program for Wind Energy, Jeju National University
(tngud84@jejunu.ac.kr/ tngud84@jejunu.ac.kr)

**Department of Electrical Engineering, Jeju National University
(boo1004@jejunu.ac.kr/ hckim@jejunu.ac.kr)

***Department of Electronic Engineering, Jeju National University(minjk@jejunu.ac.kr)

****Department of Energy Grid, Sangmyung University(jukim@smu.ac.kr)

Abstract

This paper proposes a modeling and controller design approach for a wind-diesel hybrid system including dump load. Wind turbine depends on nature such as wind speed. It causes power fluctuations of wind turbine. Excessive power fluctuation at stand-alone power grid is even worse than large-scale power grid. The proposed control scheme for power quality is fuzzy PI controller. This controller has advantages of PI and fuzzy controller. The proposed model is carried out by using Matlab/Simulink simulation program. In the simulation study, the proposed controller is compared with a conventional PI controller. Simulation results show that the proposed controller is more effective against disturbances caused by wind speed and load variation than the PI controller, and thus it contributes to a better quality wind-diesel hybrid power system.

Keywords : 풍력-디젤 하이브리드(Wind-diesel hybrid system), 퍼지제어기(Fuzzy controller), PI 제어기
(PI controller), 전력품질(power quality)

Submit date : 2012. 5. 30, Judgment date : 2012. 6. 13, Publication decide date : 2012. 9. 17
Communication author : Kim, Ho-Chan(hckim@jejunu.ac.kr)

기 호 설 명

e_{fd}	: excitation field voltage[V]
f	: frequency[Hz]
V_b	: bus voltage[V]
C_a	: capacitor bank
P_{dump}	: required dump power
r_{dump}	: dump load resistance[Ω]
ρ	: air density(=1.225[kg/m ³])
A	: rotor swept area[m ²]
C_P	: power coefficient of wind turbine
J_s, D_s	: inertia and frictional damping of SG
T_s	: air gap torque of SG
τ'_{do}	: transient open circuit time constant
L_f	: field inductance of SG
L_{md}	: d-axis field mutual inductance
i_{sq}, i_{sd}	: current component of SG into the bus

1. 서 론

계통연계가 힘든 외지나 도서지역에서는 중앙계통으로부터 전력을 공급을 받기 힘들기 때문에 독립적인 발전을 한다. 국내에서는 2007년 기준으로 평균전력 200kW 이상인 곳만 백령도를 포함하여 16개이며, 디젤발전기를 사용하여 자가발전 하고 있다[1]. 디젤발전기는 상대적으로 낮은 초기설치비, 안정성, 운영의 간단함을 장점으로 자가 발전 및 비상용 발전기로 널리 사용되고 있지만, 디젤발전기는 증가하는 국제 유가에 비례하여 연료비 상승 및 연료 수송비가 추가된다. 또한, 세계적으로 대두되고 있는 화석 연료의 고갈 및 탄소 배출 감축을 고려해야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 신·재생에너지와 디젤발전기의 하이브리드 시스템을 구축한다. 하

이브리드 발전 시스템은 신·재생에너지가 발전을 하면 디젤발전기는 독립된 계통에서 부족한 전력을 보충하여 준다[2,3].

풍력발전기는 바람에너지를 약 20 ~ 40%를 전기에너지로 변환 할 수 있어 다양한 신·재생에너지원들 중에 효율이 높아 독립계통에서 하이브리드 시스템에 많이 사용되고 있다. 하지만 풍력발전기와 디젤발전기의 하이브리드 시스템은 풍속 변화에 따라 풍력발전기의 출력 변동이 크기 때문에 독립된 계통에서 주파수와 전압의 큰 변동을 가져온다. 이러한 변동은 대규모 계통에서는 상대적으로 적은 영향을 받지만 독립된 계통이나 마이크로 전력계통에서는 전력품질 저하의 원인이 된다. 전력품질 저하는 부하에 직접적인 영향을 미치므로 주파수와 전압을 일정 범위로 유지하는 것이 중요하다[4,5].

기존의 PI 제어기는 구조가 간단하고 선형 시스템에서 우수한 성능을 보이지만, 비선형 시스템에서는 성능이 떨어진다. 퍼지(fuzzy) 제어기는 비선형시스템에서 논리적 제어 방식으로 쉽게 제어를 할 수 있다. 두 제어기의 장점만을 가진 퍼지 PI 제어기는 비선형과 선형시스템 모두 우수한 성능을 보이며, 계산이 적어짐에 따라 기존 퍼지제어기의 동조 시간을 줄일 수 있다. 다양한 종류의 퍼지 PI 하이브리드 제어기는 국내·외에서 연구가 활발히 진행되고 있다[6,7].

본 논문에서는 전력품질을 제어하기 위해 퍼지 PI 제어기를 제안한다. 퍼지 P 제어기와 I 제어기를 사용해 P의 값만 변하므로 P와 I 값이 동시에 변하는 제어기보다 빠른 계산과 구조가 단순해지며 기존 PI 제어기의 성능을 갖게 된다. D 제어기는 외란에 영향을 많이 받기 때문에 고려하지 않았다. 풍속과 부하변화에 따른 변동은 시스템에 악영향을 미친다. 퍼지 PI제어기는 풍속과 부하의 변동에 대해서는 퍼지 제어 통해 Kp의 값이 적절하게 응답하고, 안정적인 경우에는 PI제어기로 효

과적인 제어를 할 수 있다.

본 논문에서는 제어기의 성능 분석을 퍼지 PI 제어기와 기존의 PI 제어기를 풍력/디젤 하이브리드 발전 시스템에 적용한 시뮬레이션을 통해 고찰해본다.

2. 풍력/디젤 하이브리드 시스템 모델링

2.1 시스템 구성

본 논문에서 풍력/디젤 하이브리드 발전 시스템의 구성은 Fig. 1과 같다[8].

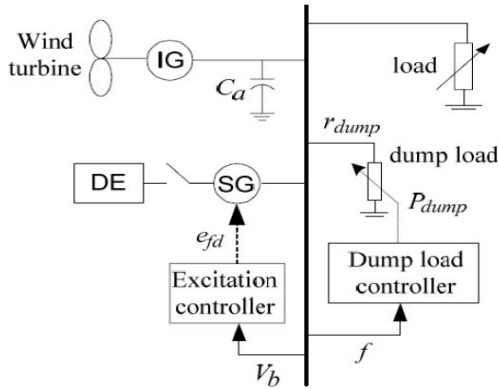


Fig. 1 The overall structure of a wind/diesel system

풍력/디젤 하이브리드 발전시스템은 유도발전기(Induction Generator, IG)를 사용한 풍력터빈(Wind Turbine)과, 디젤 엔진(Diesel Engine, DE)과 동기발전기(Synchronous Generator, SG), 덤프로드(Dump Load), 부하(Load)로 이루어져 있다. 디젤엔진은 전자기 클러치(electromagnetic clutch)에 의해 동기발전기로부터 분리된다. 3상 덤프로드는 각상에 7개의 TCR(Transistor-Controlled Resistor) 뱅크로 구성된 것을 사용한다[9].

2.2 풍력발전기

풍력발전기로 많이 사용되고 있는 농형유도발전기는 구조가 간단하고 계통연계 시 별도의 전력변환기를 필요로 하지 않아 시스템

의 규모가 작고 가격이 싼 장점을 갖는다. 유지보수가 쉽지 않은 도서지역에서 견고한 농형유도발전기는 경제적인 측면에서 우수하다. 하지만 풍속이 변동함에 따라 회전자계를 공급하는데 필요한 여자전류를 충당하기 위해서는 계통으로부터의 무효전력이 요구되며 이는 전력계통의 전압안정도를 저하시키는 원인이 된다[10,11].

Fig. 2의 (a)는 계통에 직접 연결되어 있기 때문에 풍력발전기의 유·무효전력이 전체 계통 안정에 악영향을 준다. Fig. 2의 (b)는 전력용 커패시터를 추가적으로 연결하여 소모하는 무효전력을 보상해주며 계통의 안정된 전력을 유지한다.

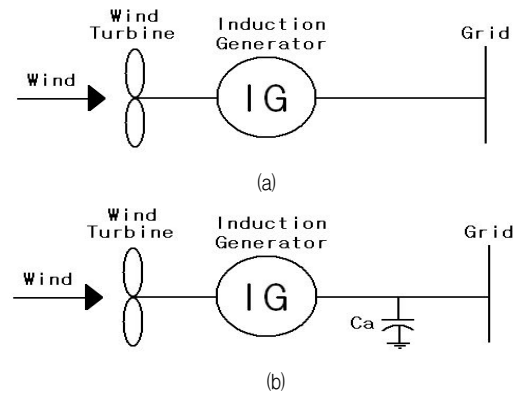


Fig. 2 (a) The induction generator connected with grid directly (b) The induction generator connected with capacitor and grid

풍속 $v(t)[m/s]$ 으로부터 얻는 풍력발전기의 출력은 식(1)과 같다.

$$P_m(t) = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times (v(t))^3 \times C_p \quad (1)$$

출력계수 C_p 는 일반적으로 식 (2), (3)를 사용한다. 여기서 $c_1 = 0.5176$, $c_2 = 116$, $c_3 = 0.4$, $c_4 = 5$, $c_5 = 21$, $c_6 = 0.0068$ 이며 소형풍력발전기는 퍼지제어를 하지 않기 때문에 0을 고려하였다.

$$C_P(\lambda, \beta) = c_1 \left(\frac{c_2}{\lambda_i} - c_3\beta - c_4 \right) e^{-\frac{c_5}{\lambda_i}} + c_6\lambda \quad (2)$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \quad (3)$$

2.3 디젤발전기

여러 장점을 가진 디젤발전기는 비상용 발전과 자가발전을 위해 널리 사용되고 있다. 일반적으로 디젤엔진을 이용한 발전기 시스템은 엔진에 발전기를 연결하고 엔진을 구동하게 되면 엔진의 힘에 의하여 발전기가 회전하고 이 회전력에 의하여 발전기에 단자전압이 발생한다. 이 단자전압을 AVR (Automatic Voltage Regulator)을 이용하여 계자 전류 양을 조절하여 단자전압의 크기를 제어하게 된다. 그리고 부하가 증가하게 되면 엔진의 조속기(Governor)를 이용하여 디젤 엔진의 주입연료량을 조절하여 엔진이 일정한 속도를 유지할 수 있도록 한다[12].

2.4 덤프로드

덤프로드는 독립된 계통에서 신재생에너지와 하이브리드 발전을 할 경우 필수적으로 설치되어야 한다. 신·재생에너지의 발전량이 요구된 부하보다 많은 전력을 생산할 경우 잉여전력이 계통내의 전압이나 주파수에 변동을 가져와 전력품질에 악영향을 미친다. 덤프로드는 잉여 전력에 대한 제어 입력을 받고 전력을 소모한다. 본 논문에서 고려한 3상 덤프로드 모델은 Fig. 3과 같다.

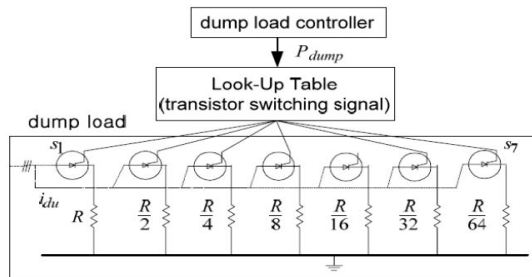


Fig. 3 The structure of the dump load with binary resistor sizing

각 상은 2진 크기의 저항 7개의 TCR (Transistor-Controlled Resistor) 뱅크로 구성되어 있다. Fig. 4는 요구된 전력을 만족하기 위해 어떻게 스위칭 되는지 보여준다. 정격 AC 230[V]의 선전압과 각 상의 저항 R(=120[Ω])을 기준을 잡고, 만약 덤프로드 제어기로부터 요구된 덤프로드 전력이 880[W]라면 Look-up Table을 통해 step-2에 해당하는 스위치 S2만이 ON된다[8].

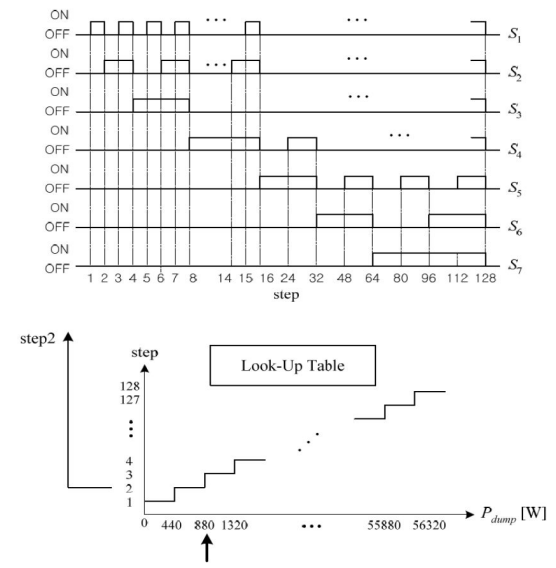


Fig. 4 Transistor switching signal

3. 하이브리드 발전시스템 제어기 설계

덤프로드를 포함한 풍력/디젤 발전 시스템의 제어관점에서 입력과 출력의 관계를 Fig. 5로 나타내었다[8].

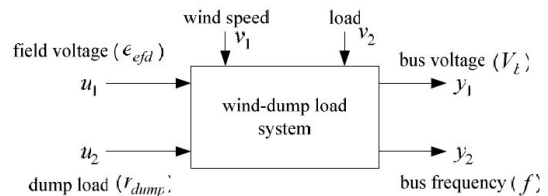


Fig. 5 The wind/diesel hybrid power control system

제어 입력으로는 동기발전기(SG)의 계자 전압(u_1)과 덤프로드의 저항(u_2)이다. 출력으로는 AC 버스 전압(y_1)과 주파수(y_2)이다. 풍속(v_1)과 부하(v_2)는 외란으로 고려된다. 풍력발전기와 덤프로드는 부하를 위해 평행으로 운영된다. 시스템을 제어 관점으로 봤을 경우, MIMO의 비선형 시스템이다. 그러므로 각 입력은 하나 이상의 출력이 제어 되어야 하고, 각 출력은 하나 이상의 입력으로 제어 되어야 한다.

3.1 축소차수 모델

풍력/디젤 하이브리드 발전 시스템의 비선형 수학적 모델은 제어기 설계를 위해 2차 모델로 다음 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} \dot{w}_s &= \frac{1}{J_s}(-D_s w_s - T_s), \\ \dot{\psi}_f &= \frac{1}{\tau_{do}}(-\psi_f + L_{md} \dot{i}_{sd}) + e_{fd} \end{aligned} \quad (4)$$

공극 토크 T_s 는 다음의 식(3)과 같다.

$$T_s = P/w_s = (P_{dump} + P_{load} - P_{ind})/w_s \quad (5)$$

여기서 P_{dump} , P_s , P_{ind} 는 덤프로드, 동기발전기, 유도발전기의 전력, w_s 는 각속도, f 는 주파수를 의미한다. 식(3)을 식(2)에다 대입을 하면 식(4)와 같다.

$$\begin{aligned} \dot{w}_s &= \frac{1}{J_s} \left(-D_s w_s + \frac{P_{ind} - P_{load}}{w_s} - \frac{1}{w_s} P_{dump} \right), \\ \dot{\psi}_f &= \frac{1}{\tau_{do}} (-\psi_f + L_{md} \dot{i}_{sd}) + e_{fd} \end{aligned} \quad (6)$$

제어 관점으로 봤을 경우 전압 변화율은 식(5)와 같이 동기발전기의 회전자와 각속도 변화율의 선형결합이라고 가정할 수 있다.

$$\dot{V}_b = \eta_1 \dot{\psi}_f + \eta_2 \dot{w}_s \quad (7)$$

여기서, $\eta_1 = \partial V_b / \partial \psi_f$ 와 $\eta_2 = \partial V_b / \partial w_s$ 이다. η_1 과 η_2 는 대략 1[p.u.]이다. 그러므로 식(4)와 식(5)로부터 하이브리드 발전시스템은 다음과 같이 2차의 축소차수(reduced-order) 모델로 나타낼 수 있다.

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad (8)$$

$$y(t) = Cx(t)$$

여기서,

$$\begin{aligned} x(t) &= [V_b \ w_s]^T, \quad u(t) = [e_{fd} \ P_{dump}]^T \\ A &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\frac{L_f}{\tau_{do} L_{md} w_s} & \frac{L_f}{\tau_{do} w_s L_{md}} \left(L \dot{i}_{sd} - \frac{r_a \dot{i}_{sq}}{w_s} \right) \\ \frac{P_{ind} - P_{load}}{J_s V_b w_s} & -\frac{D_s}{J_s} \end{bmatrix}, \\ B &= \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{J_s w_s} \\ 0 & -\frac{1}{J_s w_s} \end{bmatrix}, \quad C = I_2 \end{aligned}$$

식(6)에서 하이브리드 발전시스템은 선형 시스템으로 나타낼 수 있지만 행렬 A와 B는 고정된 값을 갖는 것이 아니라 여러 변수들의 값에 따라 변화한다. 그러므로 본 논문에서는 제어기 설계를 위해 축소차수 모델을 사용하고, 퍼지모델 추가하여 시스템의 불확실성과 불완전한 모델을 고려하도록 제어를 설계하도록 한다.

3.2 퍼지 제어기

퍼지제어는 전문가의 지식을 바탕으로 제어 규칙을 언어적으로 쉽게 표현할 수 있으며, 외란에 대해 매우 강인한 특성을 가질 뿐만 아니라 제어대상을 수학적으로 정확히 근사화 할 수 없는 경우에 제어대상의 입력과 출력관계만으로 탁월한 성능을 발휘한다. 퍼지제어기는 오차를 입력으로 이용하여 퍼지추론을 하며, 퍼지추론의 결과로 제어입력의 변화량을 출력으로 동작한다. Fig. 6은 일반적인 규칙에 근거한 추론 과정의 제어 블럭도를 나타낸다[13,14].

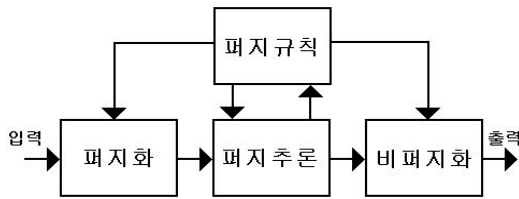


Fig. 6 The structure of general fuzzy controller

- (1) 퍼지화(fuzzification) : 퍼지화란 퍼지의 도입부에서 입력변수값을 적절한 퍼지값으로 바꾸는 연산으로 퍼지화 방법에는 퍼지 싱글톤과 이등변삼각형 등이 있다.
- (2) 퍼지추론(fuzzy reasoning) : 퍼지추론이란 퍼지규칙을 이용하여 출력을 계산하는 과정이다. 퍼지추론에는 여러 가지 방법이 있다. 직접법에는 Mamdani 방법, Larsen 방법, Mizumoto 방법 등이 있고, 간접법에는 Baldwin 방법, Tsugamoto 방법이 있으며, 혼합법에는 Sugeno 방법, Simplified 방법이 있다.
- (3) 비퍼지화(defuzzification) : 비퍼지화란 출력부 전체집합에서의 퍼지제어 조작량을 명확한 비퍼지제어 조작량으로 변화시켜주는 작업을 말한다. 비퍼지화 방법으로는 최대값방법(max criterion method), 최대평균법(mean of maximum method), 그리고 무게중심법(center of area method) 등이 있다.

3.3 퍼지제어기 설계

퍼지 PI 제어기 설계를 위한 퍼지화는 전압과 주파수 출력오차 E와 출력오차의 변화량 ΔE 의 소속 함수는 Fig. 7과 Fig. 8로 나타내었다.

입력 소속 함수에 의해 만들어진 규칙은 IF-THEN 방법을 사용하였고, Table 1과 같다. 기본적인 언어변수는 일반적으로 7가지를 사용하지만, 본 논문에서는 시스템의 변동을 정교하게 반영하여 제어하기 위해 11가지를 고려하였다. 그리고 퍼지추론 방법으로는 널리 사용되는 Mamdani가 제안한 Max-Min

방법을 이용하였다.

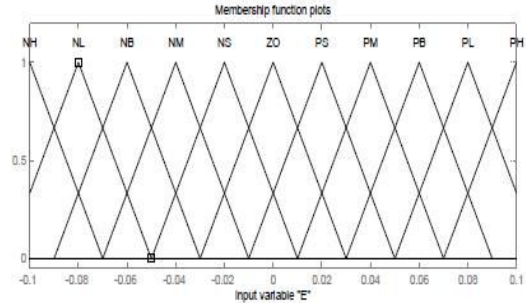


Fig. 7 Membership function of E

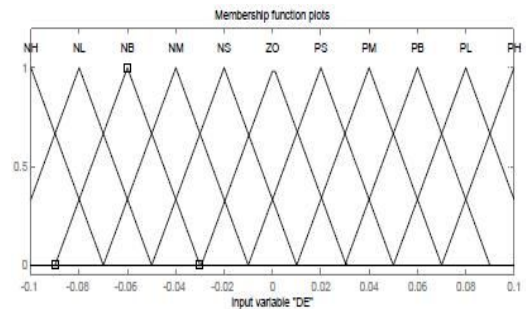


Fig. 8 Membership function of ΔE

Table 1 Rule base for P gain

P gain	DE										
	NH	NL	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PL	PH
E	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	ZO
	NL	NH	NH	NH	NH	NH	NL	NB	NM	NS	ZO
	NB	NH	NH	NH	NH	NL	NB	NM	NS	ZO	PS
	NM	NH	NH	NH	NL	NB	NM	NS	ZO	PS	PM
	NS	NH	NH	NL	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
	ZO	NH	NL	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PL
	PS	NL	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PL	PH
	PM	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PL	PH	PH
	PB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PL	PH	PH	PH
	PL	NS	ZO	PS	PM	PB	PL	PH	PH	PH	PH
	PH	ZO	PS	PM	PB	PL	PH	PH	PH	PH	PH

Fig. 9는 제어규칙을 3차원으로 나타낸 것이다.

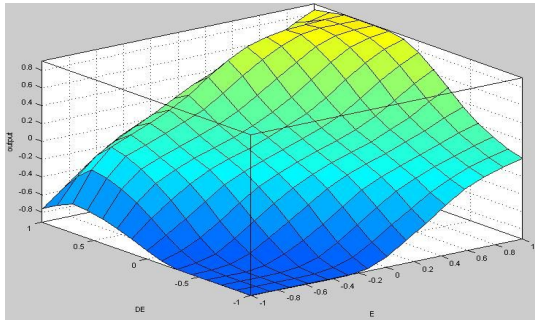


Fig. 9 Fuzzy logic control law surface contour

비퍼지화 방법으로 싱글톤 방법으로 무게 중심법을 사용하였다. Fig. 10은 출력의 소속 함수를 나타낸다.

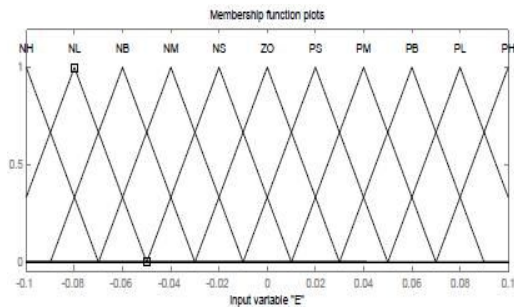


Fig. 10 Membership function of P gain

3.4 퍼지 PI 제어기 설계

퍼지제어기가 설계된 것을 바탕으로 퍼지 PI 제어기는 기존의 PI 제어기의 특성에 가변하는 P값을 더한 것이다. 하이브리드 발전시스템에서 기본적으로 PI 제어기로 동작하다 풍속과 부하에 따른 급변하는 비선형적인 발전시스템에서는 퍼지제어기가 빠르게 P값을 찾아 제어를 하고, 안정이 되면 다시 PI 제어기로 동작하는 것이다. 퍼지제어기를 사용하여 P값과 I값을 동시에 고려하게 되면 시스템이 보다 적절한 제어를 할 수 있으나 시스템의 구조가 복잡해지고, 계산량이 증가하게 되어 본 논문에서는 P값만의 가변을 고려하였다. Fig. 11은 퍼지 PI 제어기의 구조를 나타낸다.

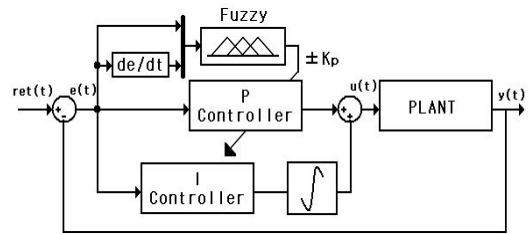


Fig. 11 The structure of Fuzzy PI controller

퍼지제어기를 통해 선정된 K_p 값은 P값과의 곱으로 인해 가변 할 수 있는 범위를 정할 수 있다. K_p 와 K_i 의 값은 퍼지부분을 제외하고 평균풍속 7[m/s]에서 다양한 시뮬레이션을 통해 하이브리드 발전시스템에서 찾은 적절한 값을 이용하였다.

4. 시뮬레이션 및 결과 분석

4.1 풍력-디젤 하이브리드 시스템

모델링한 풍력/디젤 하이브리드 발전 시스템은 Matlab/Simulink 프로그램을 이용하여 구성을 하였다. 전체 구성도는 Fig. 12와 같다.

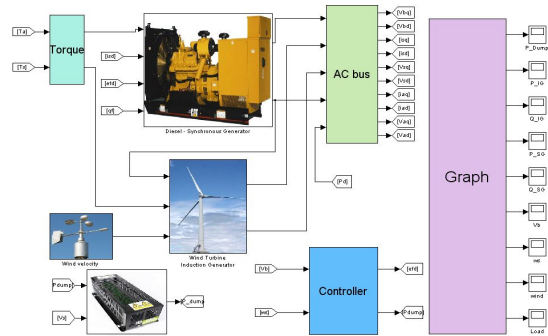


Fig. 12 The overall structure of wind/diesel hybrid system using Matlab/Simulink

디젤발전기, 풍력발전기, 덤프로드는 AC bus로 연결이 되어 제어기에 의해 전압과 주파수를 일정범위로 조절이 된다. Matlab/Simulink 프로그램으로 모델링한 퍼지 PI 제어기는 Fig. 13과 같다.

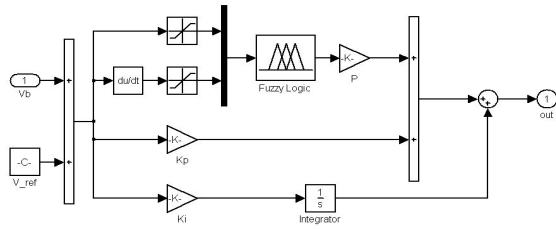


Fig. 13 The structure of Fuzzy PI controller using Matlab/Simulink

4.2 시뮬레이션 고찰

본 논문에서는 시뮬레이션을 위해 Fig. 14와 같은 평균풍속 7[m/s]의 풍속데이터를 사용하였다. 풍속모델은 덴마크 국책 연구소 RISO에서 개발한 데이터를 사용하였다[15].

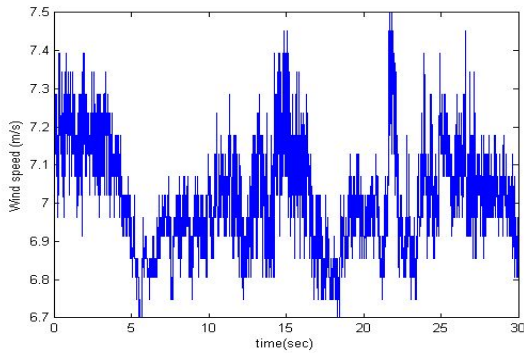


Fig. 14 Wind data

Table 2는 시뮬레이션을 위한 각 시스템의 파라미터를 나타낸다.

Table 2 System parameters

종류	정격
풍력발전기(유도발전기)	55 [kW]
디젤발전기(동기발전기)	55 [kW]
덤프로드	55 [kW]
부하	40 [kW]
공칭 주파수	50 [Hz]
AC 전압	230 [V]

부하변동에 따른 PI 제어기와 제안한 퍼지 PI 제어기의 성능을 비교하기 위해 본 논문에서는 10초 후에 초기 부하를 38[kW]에서 30[kW]로 변화를 주었을 때의 각각의 결과가 Fig. 15 ~ 17에 나타내었다.

Fig. 15는 부하와 유도발전기의 출력을 보여준다. 풍속변화에 따라 유도발전기의 출력이 변동하고 있다. 하지만 10[sec]일 때 부하가 변동하자 계통의 영향에 의해 출력이 급격히 감소하지만, 빠른 안정을 위해 출력이 급격히 증가하다 정상 출력을 회복하는 것을 볼 수 있다.

또한 부하의 갑작스런 변화에 따라 동기발전기는 빠르게 출력을 낮춰 독립계통에 안정을 도모한다. 하지만 부하가 이보다 크게 감소한다면 디젤발전기의 출력은 0이 되더라도 풍력발전기로부터 발생된 전력은 부하보다 크기 때문에 초과된 전력은 그대로 독립계통에 들어가게 된다. 이러한 잉여전력은 계통에 악영향을 주기 때문에 이에 대한 대응책이 필요하다. 덤프로드는 잉여전력을 소비함과 동시에 디젤발전기의 출력 변동을 줄여주므로 디젤발전기의 효율을 향상시킨다. 본 논문에서 제안한 퍼지 PI 제어기가 기존의 PI 제어기보다 부하변동에 따른 출력변동에서 빠르게 정상상태로 정착됨을 알 수 있다.

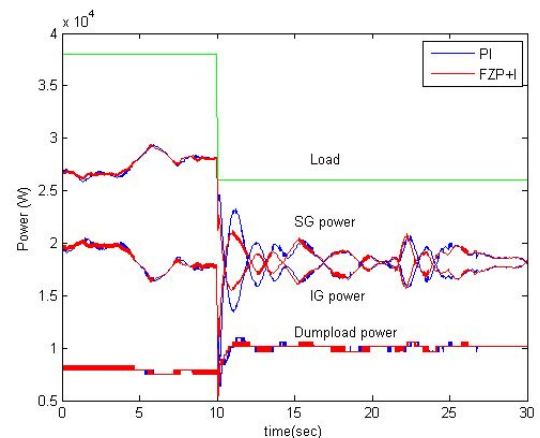


Fig. 15 Power outputs of the load, IG, SG and Dumload

Fig. 16과 Fig. 17은 부하 변동시 버스주파수와 버스전압을 나타낸다. 마찬가지로, 제안한 퍼지 PI 제어기는 버스주파수와 버스전압 모두에서 빠르게 정상상태 값으로 회복시킴으로써 기존의 PI 제어기 보다 우수한 응답특성을 보여준다.

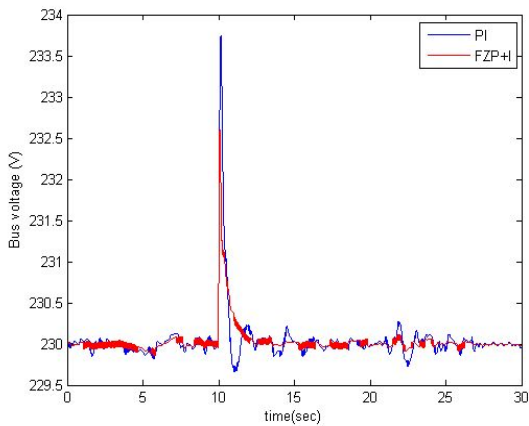


Fig. 16 Bus voltage

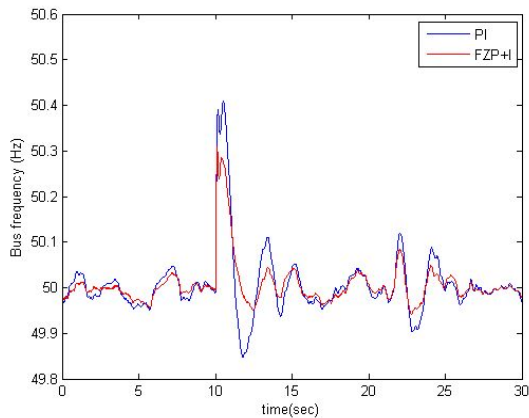


Fig. 17 Bus frequency

5. 결론

본 논문에서는 풍력/디젤 하이브리드 발전 시스템의 전력품질을 위해 퍼지 PI 제어를 제안하여 PI 제어기와의 응답특성 비교에 관한 연구를 수행하였다. 퍼지제어기 설계를 위

해 Mamdini의 추론방법과 11개의 멤버십 함수를 사용하였다. 풍력/디젤 하이브리드 발전 시스템과 퍼지 제어를 Matlab/ Simulink 프로그램을 사용하여 모델링과 시뮬레이션을 수행하여 제안한 퍼지 PI 제어기는 PI 제어기 보다 시스템을 효과적으로 제어하여 버스 주파수, 전압이 적은 폭으로 변동 하여 독립된 계통에서 우수한 전력품질을 얻을 수 있었다. 그리고 부하가 감소하여 풍력발전기에 의해 발생된 잉여전력은 덤프로드로 소비함으로써 디젤발전기의 출력 변동 폭을 감소시켜 효율이 향상됨과 동시에 독립된 계통의 전력품질을 향상시켰다. 이상의 결과를 토대로 풍력뿐만 아니라 다른 신재생에너지를 포함한 독립형 하이브리드 발전 시스템에 퍼지 PI 제어를 활용하면 우수한 전력품질을 얻을 수 있을 것이라 사료된다.

후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(2011-0012202)과 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP) 풍력특성화대학원 인력양성사업(NO.20094020200020)의 지원을 받아 수행된 것입니다.

참 고 문 헌

1. T. K. Lee et al., "An economic feasibility study on wind-diesel hybrid power systems for an island in the yellow sea," *Journal of Korean Navigation and Port Research*, vol. 35, no. 5, pp. 381-385, 2011.
2. Z. Chen and Y. Hu, "A hybrid generation system using variable speed wind turbines and diesel units," *IEEE Industrial Electronics Society Annual Meeting Conference, Virginia, USA*, vol. 3, pp.

- 2729-2734, 2003.
3. A. M. O. Haruni et al., "Dynamic operation and control of a hybrid wind-diesel stand alone power systems," Proceedings of IEEE APEC, pp. 162-169, 2010.
 4. K. Pandiaraj, P. Taylor, and N. Jenkins, "Distributed load control autonomous renewable energy systems," IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 16, pp. 14-19, 2001.
 5. G. S. Stavrakakis and G. N. Kariniotakis, "A general simulation algorithm for the accurate assessment of isolated diesel/wind turbines systems interaction: part 1: A general multimachine power system model," IEEE Trans. on Energy Conversion, vol. 10, pp. 577-583, 1995.
 6. S. H. Yang et al., "Power quality control of wind-diesel hybrid power systems using fuzzy PI controller," International Conference on Manufacturing Science and Technology, New Delhi, India, 2012.
 7. W. Li, "Design of a hybrid fuzzy logic proportional plus conventional integral-derivative controller," IEEE Trans. on Fuzzy Systems, vol. 6, no. 4, pp. 449-463, 1998.
 8. H. S. Ko et al., "Power quality control of hybrid wind power generation system using fuzzy-robust controller," LNCS, vol. 4985, pp. 127-136, 2008.
 9. H. S. Ko et al., "Power quality control of wind-hybrid power generation system using fuzzy-LQR controller," IEEE Trans. Energy Conversion, vol. 22, no. 2, pp. 516-527, 2007.
 10. S. J. Kim and S. J. Seong, "A simple prediction model for PCC voltage variation due to active power fluctuation of grid connected wind turbine," Journal of Power Electronics, vol. 9, no. 1, pp. 85-92, 2009.
 11. L. H. Hansen, et al, *Conceptual Survey of Generators and Power Electronics for Wind Turbines*, Technical Report, Riso Nat. Lab., Denmark, 2001.
 12. S. S. Han et al., "A study on the controller development depending load variation of a diesel generator for power system connection of distributed source," Journal of the KIIEE, vol. 22, no. 5, pp. 53-57, 2008.
 13. H. H. Lee et al., "Sensorless MPPT control of a grid-connected wind power system using a neuro-fuzzy controller," The Trans. of Korean Institute of Power Electronics, vol. 16, no. 5, pp. 484-493, 2011.
 14. C.-T. Lin and C. S. G. Lee, *Neural Fuzzy Systems*, CRC Press, 1996
 15. F. Iov, A. D. Hansen, P. Sorensen, and F. Blaabjerg, *Wind Turbine Blockset in Matlab/Simulink*, Aalborg University, 2004.