

풍력-디젤 하이브리드 발전시스템 모델링에 관한 연구

김재언^{1*}

¹충북대학교 전자정보대학 전기공학부

Modeling of Hybrid Generation System with Wind Turbine and Diesel Generator

JAE-EON KIM^{1*}

¹Department of Electrical Engineering, Chungbuk National University

요약 본 논문은 도서지역에서 현실적으로 가장 간단히 적용될 수 있는 풍력-디젤 하이브리드 발전시스템의 모델링 방법을 제시하였다. 모델링 대상으로는 풍력발전기는 농형유도발전기를, 디젤발전기는 동기발전기를 대상으로 하였고, 각각에 대한 파라미터 설정과 제어기의 모델링은 현재 제작 및 판매되고 있는 소용량급들에 대한 자료수집과 분석을 통하여 도출된 기준값에 근거하였다. 제안된 풍력-디젤 하이브리드 발전시스템 모델링방법의 타당성을 입증하기 위하여 국내 낙도지역을 대상으로 하여 모델링하고, 그 결과를 시뮬레이션하여 고찰하였다.

Abstract This paper proposes a modeling method for hybrid generation system with wind turbine and diesel generator applicable in island area. For modeling objects, squirrel-cage induction generator is considered as wind turbine generator and synchronous generator as diesel generator. Parameters and controllers related to them are established and modeled through analysis of traditional small capacity class. The simulation results for practical size hybrid generation system were suggested.

Key Words : Wind Turbine, Diesel Generator, Hybrid Generation, Islanded System

1. 서론

도서지역의 전원문제를 해결하는 방법의 하나로서 풍력-디젤 하이브리드 발전시스템이 고려될 수 있다. 이와 관련한 논문들은 현재 참고문헌 [1-5]에서와 같이 에너지 저장장치(2차전지, 플라이휠), 태양광발전, 이중여자형 유도발전기(DFIG), 권선형 유도발전기 등을 채용한 다양한 형태로 제시되어 왔으나, 실제로 보급되어 있는 시스템은 참고문헌 [6]-[9]에서와 같이 풍력-디젤-모의부하방식의 하이브리드 발전시스템이 대부분이다. 풍력-디젤 하이브리드 발전시스템에 대한 모델링은 참고문헌 [9-13] 및 참고문헌[14] PSCAD/EMTDC에 제시되어 있으나, 기존 보급되고 있는 디젤발전기를 대표할 수 있는 제어기, 디젤발전기 및 농형유도발전기에 대한 파라미터들이 제

시되어 있지 않다.

현재까지 대부분 외국의 경우 호주, 미국, 유럽 등지에서 200~600kW급 하이브리드 발전시스템이 설치운영되고 있으며, 국내에서도 낙도에 300kW급 풍력-디젤-BESS 하이브리드 발전시스템을 설계 및 구축하고 있는 실정이지만, 풍력-디젤 하이브리드 독립발전시스템의 대부분은 전력품질유지문제가 해결과제로 남아 있다.[15-17] 이를 위해서는 2차전지 또는 플라이휠과 같은 저장시스템 및 고기능의 DFIG방식의 풍력발전시스템 등이 고려되고 있으나, 그 비용이 만만치 않다.

따라서, 본 논문에서는 도서지역과 같은 고립지역에 설치운영되는 풍력-디젤 하이브리드 발전시스템의 설계 시 전력품질유지문제를 해결하는 데 도움이 될 수 있는 모델링 방법을 제시하고자 한다.

이 논문은 2010년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Jae-Eon Kim

Tel: +82-43-261-2423 email: jekim@cbnu.ac.kr

접수일 12년 03월 20일 수정일 12년 04월 09일

계재확정일 12년 04월 12일

2. 풍력-디젤 하이브리드 발전시스템의 모델링방법

2.1 풍력터빈

풍력터빈의 출력은 바람이 풍력터빈의 블레이드회전 단면을 통과할 때 얻어지는 일반화된 대표적인 다음식에 근거하여 모델링한다.[15]

$$P_{blade} = \frac{1}{2} A \rho V^3 C_p = \frac{1}{2} A \rho V^2 C_p \omega \frac{V}{\omega} \quad (1)$$

$$= \frac{1}{2} A \rho V^2 C_p \omega \gamma = T \omega \quad [W]$$

단, A : 블레이드의 회전단면적[m^2],

ρ : 공기밀도, 해수면에서 $1.25[kg/m^3]$,

ω : 블레이드 회전각속도 [rad/sec]

$C_p: (\gamma - 0.022\beta^2 - 5.6)e^{-0.1\gamma}$

$\gamma: V/\omega, \beta$: 피치각

T : 토크[Nm] V : 풍속 [m/s]

2.2 농형유도발전기

농형유도발전기의 모델링시 기존의 제조회사들에 의하여 보급된 것들을 대상으로 하여 조사분석된 표1의 대표적인 값들을 이용하도록 한다.[16]

[표 1] 농형유도발전기 파라미터값(단위: pu)

[Table 1] SCIG Parameters(uit: pu)

출력 (HP)	관성 상수 (H)	고정자 임피던스		회전자 임피던스		자화 임피던스	
		Xs	Rs	Xr	Rr	Xm	Rm
50	0.085	0.185	0.022	0.185	0.022	2.65	17
76	0.108	0.155	0.025	0.164	0.014	2.50	-
125	0.134	0.147	0.022	0.147	0.014	3.33	45
200	0.179	0.131	0.021	0.131	0.013	3.37	-
75	-	0.133	0.007	0.133	0.027	4.30	-
123	0.140	0.141	0.098	0.138	0.015	3.56	-
400	0.205	0.147	0.007	0.147	0.011	3.56	55
202	0.168	0.056	0.010	0.061	0.018	1.84	23
670	0.162	0.060	0.010	0.066	0.017	2.23	29
938	0.198	0.111	0.010	0.130	0.013	2.76	31
1340	0.176	0.098	0.010	0.120	0.012	2.48	35

2.3 디젤 발전기

도서지역 등에 보급되는 디젤발전기는 대부분이 동기기로서 그 파라미터값들은 수십 kVA~수천 kVA를 대상으로 하여 조사분석된 것으로서 표2에 제시한다.[17]

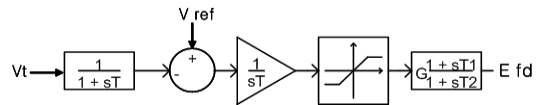
동기발전기의 제어기에는 출력전압을 조정하는 전압

조정기(AVR: Automatic Voltage Regulator) 또는 여자기(Exciter), 유효전력출력을 조정하는 조속기(GOV: Governor)가 있다.

여자기의 경우 IEEE권장모형 및 Woodward사, Basler사 등에서 제시하는 여러 가지 형태가 있어서 이들을 조사하여 분석한 제어기를 그림1과 같이 제시한다.

[표 2] 동기기 파라미터값
[Table 2] SG Parameters

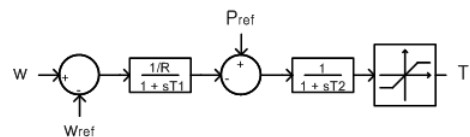
동기기 정수		표준치	변동폭
전기자저항	Ra(pu)	0.0235	0.01~0.05
전기자누설리액턴스	Xl(pu)	0.098	0.08~0.13
d축 동기리액턴스	Xd(pu)	2.33	1.7~2.8
q축 동기리액턴스	Xq(pu)	2.22	1.6~2.7
d축 과도리액턴스	Xd'(pu)	0.215	0.15~0.27
q축 과도리액턴스	Xq'(pu)	2.22	1.6~2.6
d축 초기과도리액턴스	Xd''(pu)	0.161	0.12~0.21
q축 초기과도리액턴스	Xq''(pu)	0.21	0.17~0.25
d축 개로시정수	Tdo'(sec)	1.55	1.5~3.0
d축 개로초기시정수	Tdo''(sec)	0.032	0.02~0.04
q축 개로초기시정수	Tqo''(sec)	0.295	0.26~0.33
관성정수	M(sec)	3.94	1.0~6.0



V_t : 발전기 단자전압, V_{ref} : 발전기 기준단자전압
 E_{fd} : 계자전압출력, T : 측정시정수
 G (Gain): 표준치10, 변동폭: 5.0 ~ 20.0
 T_2 (여자기 시정수): 표준치0.2, 변동폭: 0 ~ 0.5

[그림 1] 동기발전기 여자제어기 모델
[Fig. 1] SG Exciter Model

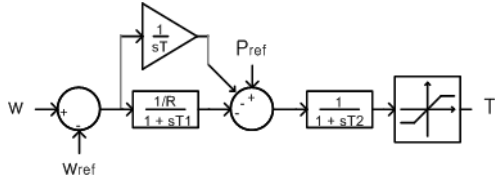
조속기의 경우도 IEEE권장모형 및 Woodward사, Basler사 등에서 제시하는 여러 가지 형태가 있어서 이들을 조사하여 분석한 제어기를 그림 2와 같이 제시한다.



T : 터빈출력, P_{ref} : 발전기 기준출력치
 w : 출력속도, w_{ref} : 발전기 기준속도
 R : 조정율(드롭계수) 표준치0.1, 변동폭 0.02 ~ 0.125
 T_2 (원동기 시정수): 표준치0.6, 변동폭: 0.3 ~ 2.0

[그림 2] 동기발전기 Droop제어기 모델
[Fig. 2] SG Droop Controller Model

그러나, 그림 2는 전력계통의 조정률에 의한 부하분담 제어기이므로, 도서지역에 적합한 정속도운전제어기를 그림 3과 같이 제시한다.

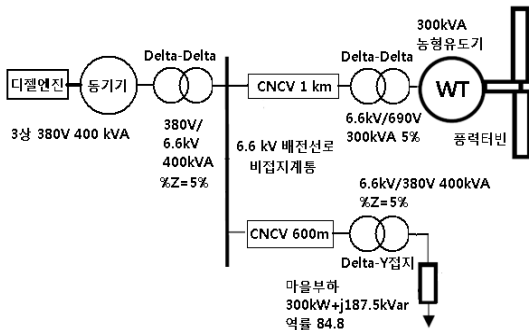


[그림 3] 동기발전기 정속도 제어기 모델
[Fig. 3] SG Constant Speed Model

3. 풍력-디젤 하이브리드 발전시스템의 모델링 및 모의분석

본 장에서는 2장에서 제시한 풍력-디젤 하이브리드 발전시스템의 모델링 방법을 PSCAD/EMTDC S/W에 의하여 모델링을 수행하고, 이를 도서지역 모델계통을 대상으로 하여 적용하고 그 결과를 고찰하기로 한다.

먼저, 모델계통인 도서지역의 독립운전형 풍력-디젤 하이브리드 전력계통도를 그림 4에 제시한다.



[그림 4] 풍력-디젤 하이브리드 발전계통도
[Fig. 4] WT-Diesel Hybrid Systems

그림 4에서와 같이 풍력-디젤 하이브리드 모델계통은 국내 상황을 고려하여 고정속 풍력발전기의 농형유도기 3상 690V 300 kVA, 디젤 동기발전기 3상 380V 400 kVA, 정전력 마을부하 역률 0.848의 3상 300 kW + j 187.5 kVar, 풍력발전기측 지중선로 CNCV케이블 1 km, 부하측 지중선로 CNCV케이블 600 m로 구성 하였고, 배전선로 전압 레벨은 고압측 3상3선 비접지계통 6.6 kV, 저압측 3상4선 380 V로 구성하였다. 동기기측 연계변압기는 380V Δ / Δ 6.6kV 400 kVA %Z=5%, 부하측 변압기

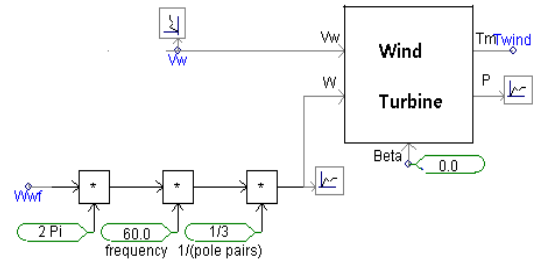
는 6.6 kV Δ /Y접지 380V 3상 4선 400 kVA %Z=5%로 하였다.

3.1 풍력터빈모델링

식(2.1)에 의거한 풍력터빈의 제원 다음과 같이 하였다. 단, 여기에서는 디젤발전기의 최소출력 및 풍력발전 시스템의 최대출력 운전을 위하여 블레이드의 피치제어 각 $\beta = 0^\circ$ 로 하였다.

[표 3] 풍력터빈 파라미터값
[Table 3] WT Parameters

풍력터빈 파라미터	파라미터값
회전자 반경 (m)	16
회전면적 (m ²)	804
공기밀도 (kg/m ³)	1.229
블레이드 수 (개)	3
정격속도 Wwf (rad/sec)	125.6
기어비/효율	40/97%
정격풍속 Vw (m/sec)	12



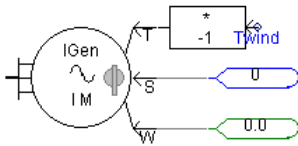
[그림 5] PSCAD/EMTDC에 의한 풍력터빈 모델링
[Fig. 5] WT Modeling by PSCAD/EMTDC

3.2 농형유도발전기(IG)모델링

표 1에 의거한 농형유도발전기는 690V 300kVA의 제원 다음과 같이 하였다.

[표 4] IG모델링에 사용된 파라미터값(단위: pu)
[Table 4] IG Parameters in Modeling(unit: pu)

출력 (HP)	관성 상수 (H)	고정자 임피던스		회전자 임피던스		자화 임피던스	
		Xs	Rs	Xr	Rr	Xm	Rm
400	0.205	0.147	0.007	0.147	0.011	3.56	55



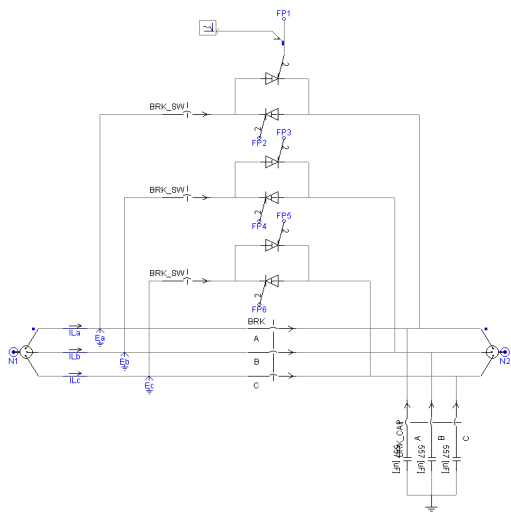
[그림 6] PSCAD/EMTDC에 의한 IG모델링
[Fig. 6] IG Modeling by PSCAD/EMTDC

3.3 소프트스타터 모델링

발전에 필요한 고정속의 회전속도가 나올 수 있는 풍속에 대하여 풍력터빈이 회전을 하고, 이 때 유도발전기가 디젤발전계통에 접속하기 위하여는 기동전류를 억제할 수 있도록 하는 전압제어기능의 소프트스타터가 필요하게 된다. 즉, 회전속도에 따라서 싸이리스터의 점화각을 다음의 표 5와 같이 하여 그림 7과 같이 모델링하였다. 이 때 무효전력보상용 커패시터의 용량은 3상 100 kVA로 하였다.

[표 5] 유도발전기 회전속도에 따른 점화각
[Table 5] Firing Angle for IG's Rotating Speed

회전속도 (pu)	점화각 (도)	회전속도 (pu)	점화각 (도)
0.0	175	0.5	110
0.1	160	0.6	105
0.2	150	0.8	102
0.3	135	0.9	100
0.4	120	1.0	100



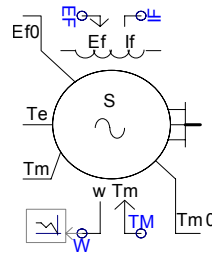
[그림 7] 소프트스타터 모델링
[Fig. 7] Soft Starter Modeling

3.4 디젤발전기(DG) 모델링

디젤발전기의 모델링에 사용된 3상 380V 400 kVA 동기기의 제원은 표 6과 같고, 여자제어기에 있어서는 그림 1의 발전기 기준단자전압 1.05 pu, $G=10$, $T_1=1.56$, $T_2=0.2$ 값으로, 가버너의 정속도 제어기에 있어서는 $R=0.1$, $P_{ref}=0.0$, $T_1=0.1$, $T_2=0.6$ 으로 각각 선정하였다. 정속도제어기에서는 Droop제어기의 경우과는 달리 주파수편차분의 적분치가 피드백되기 때문에 출력기준값을 설정할 필요가 없다.

[표 6] DG모델링에 사용된 파라미터값
[Table 6] DG's parameters in Modeling

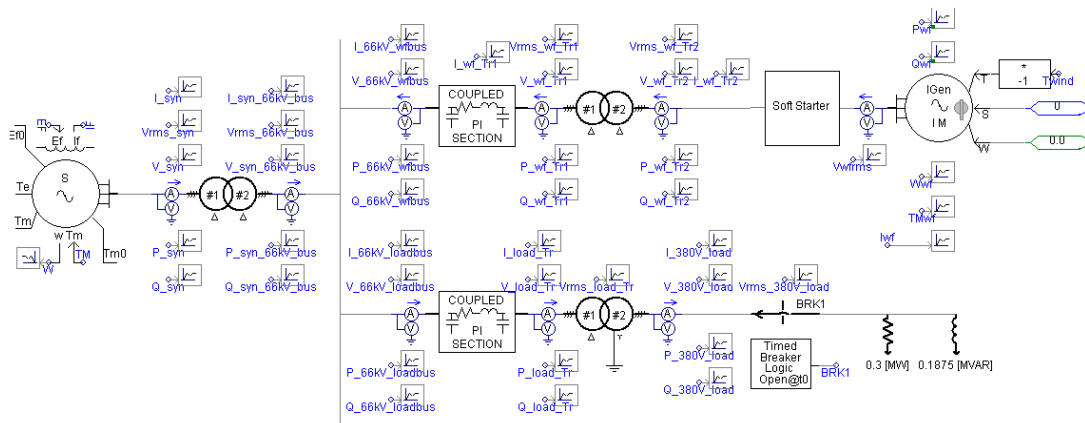
DG 파라미터		적용값
전기자저항	Ra(pu)	0.0051716
d축 동기리액턴스	Xd(pu)	2.8
q축 동기리액턴스	Xq(pu)	1.5
d축 과도리액턴스	Xd'(pu)	0.213
d축 초기과도리액턴스	Xd''(pu)	0.188
q축 초기과도리액턴스	Xq''(pu)	0.205
d축 개로시정수	Tdo'(sec)	0.172
d축 개로초기시정수	Tdo''(sec)	0.017
q축 개로초기시정수	Tqo''(sec)	0.071
관성정수	M(sec)	1.0~6.0



[그림 8] PSCAD/EMTDC에 의한 DG모델링
[Fig. 8] DG Modeling By PSCAD/EMTDC

3.5 배전선로 모델링

풍력-디젤 하이브리드 발전계통의 6.6kV 배전선로는 CNCV 60mm² 로 구성되며, 이 선로의 정상분 임피던스는 $0.3940 + j 0.1923 \Omega/km$ ($7.5132 + j 3.6670 \%Z/km$), 영상분 임피던스는 $1.2680 + j 0.5031 \Omega/km$ ($24.1796 + j 9.5936 \%Z/km$)로 각각 실제의 값에 근거하여 설정하였다. 선로모델링은PSCAD/ EMTDC에서 제공하는 파이딩가회로를 이용하여 전술의 선로 데이터값들을 입력하였다.



[그림 9] PSCAD/EMTDC에 의하여 모델링된 풍력-디젤 하이브리드 계통
 [Fig. 9] WT-Diesel Hybrid Systems Modeled by PSCAD/EMTDC

3.6 모의분석 및 고찰

전술과 같이 그림 4의 풍력-디젤 하이브리드 발전계통을 구성하는 모든 요소들을 PSCAD/EMTDC S/W에 의하여 모델링을 수행한 결과를 그림 9에 제시한다. 본 절에서는 그림 9와 같이 모델링된 도서지역의 풍력-디젤 하이브리드 발전계통에 대하여 모의분석하고 고찰하기로 한다.

3.6.1 모의분석절차

모델링된 풍력-디젤 하이브리드 발전계통에 대한 모의 분석절차는 다음과 같이 하였다.

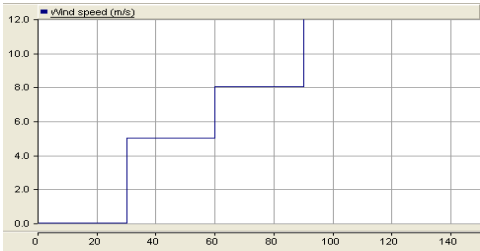
- Step 1. t=0초에서 디젤발전기 기동
- Step 2. t=8초에서 역률 0.848의 3상 정전력부하 300 kW + j 187.5 kVar 투입
- Step 3. t=30초에서 풍속 5 m/s 발생
- Step 4. t=60초에서 풍속 8 m/s 발생
- Step 5. t=90초에서 풍속 12 m/s 발생
- Step 6. t=110초에서 100 kVA 커패시터투입

3.6.2 모의결과

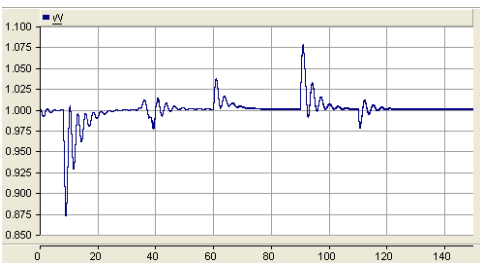
풍속변화[m/s], 디젤발전기의 회전속도[pu], 풍력발전기의 회전속도[pu], 6.6 kV모선에 공급되는 동기발전기측으로부터의 공급전력[MW, MVar], 6.6 kV모선에 공급되는 풍력발전기측으로부터의 공급전력[MW, MVar], 690 V모선에서의 풍력발전기 출력전류[kA], 6.6 kV모선에서 부하측으로 공급되는 공급전력[MW, MVar], 380V부하단에서의 소비전력[MW, MVar], 디젤발전기 380V 출력단 및 연계변압기 2차측 6.6 kV모선 전압[pu], 380 V 부하단에서의 전압[kV]을 각각 그림 10 ~ 19에 제시한다.

먼저, 디젤발전기의 경우 0~8초간의 무부하 기동으로 동기속도를 유지하고 있다가, 8초에서 부하가 투입되면서 그림 13과 16에서와 같이 부하추종운전을 하게 되는데, 이 때 주파수와 전압이 8초에서 30초에 이르기까지 그림 11, 18, 19에서와 같이 적정범위를 크게 벗어난다. 30초에서 풍력발전기 컷인풍속 5m/s에서 풍력발전기의 디젤계통연계시 기동전류는 그림 15에서와 같이 소프트스타터에 의하여 정격전류크기로 제한된다. 유도발전기의 회전자 회전속도는 그림 12에서와 같이 30초~50초에 걸쳐 동기속도보다 조금 빠른 1.0009 pu로 되고, 6.6 kV 모선에 공급하는 풍력발전기측 공급전력은 그림 14에서와 같이 0 kW-j60kVar 정도이며, 이 경우도 계통의 주파수와 전압은 그림 11에서와 같이 적정범위를 벗어난다. t=60초에서 풍속8m/s로 되면 유도발전기의 회전자 회전속도는 그림 12에서와 같이 60초~90초에 걸쳐 1.006 pu로 되고, 6.6 kV모선에 공급하는 풍력발전기측 공급전력은 그림 14에서와 같이 83 kW- j74kVar 정도이며, 이 만큼에 해당하는 전력이 그림 13에서와 같이 디젤발전기에서 부담을 덜고 있음을 알 수 있다. 이 때의 계통 주파수는 그림 12에서와 같이 적정범위를 벗어나고 있지만, 전압은 그림 18과 19에서와 같이 적정범위내를 유지하고 있다. 90초에서 정격풍속인 12m/s로 되면 유도발전기의 회전자 회전속도는 그림 12에서와 같이 90초이후 1.013 pu로 되고, 6.6 kV모선에 공급하는 풍력발전기측 공급전력은 그림 14에서와 같이 230 kW- j137kVar, 디젤발전기측 공급전력은 그림 13에서와 같이 60 kW- j350kVar 정도로 디젤발전기의 유효전력부담이 감소한 대신 무효전력부담이 증가함을 알 수 있다. t=110초에서 풍력발전기측 커패시터뱅크가 투입된 경우 디젤발전기의 무효전력 부담은 그림 13에서와 같이 100 kVar가 감소된 230 kVar

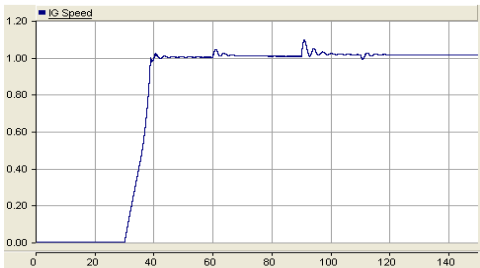
정도로 되었고, 이 때의 계통 주파수 및 전압은 그림 11, 18, 19에서와 같이 적정범위를 벗어남을 알 수 있다.



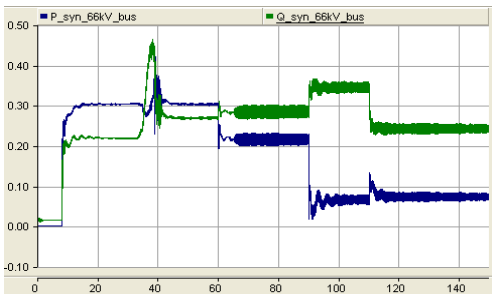
[그림 10] 풍속변화[m/s]
[Fig. 10] Wind Speed Variation[m/s]



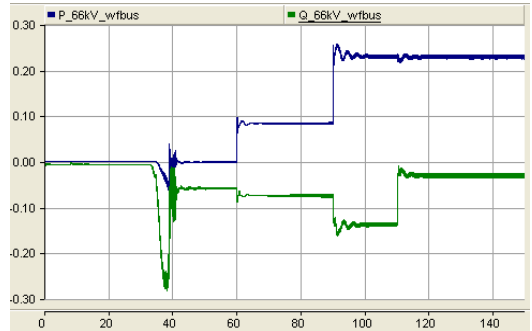
[그림 11] 디젤발전기 회전각속도(pu)
[Fig. 11] Diesel Generator Speed(pu)



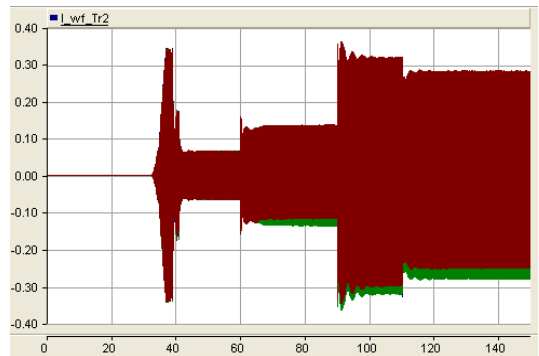
[그림 12] 유도발전기 회전각속도(pu)
[Fig. 12] IG Rotation Speed(pu)



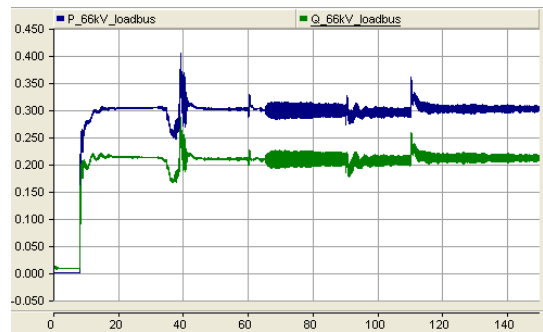
[그림 13] 6.6kV모선에 공급되는 디젤발전기측으로부터의 공급전력[MW, MVar]
[Fig. 13] Power supplied from Diesel Generator to 6.6kV Bus[MW, MVar]



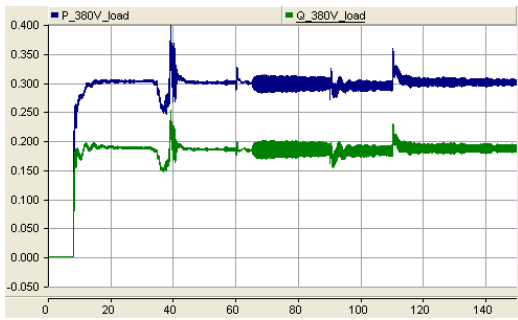
[그림 14] 6.6kV모선에 공급되는 풍력발전기측으로부터의 공급전력[MW, MVar]
[Fig. 14] Power supplied from WT Generator to 6.6kV Bus[MW, MVar]



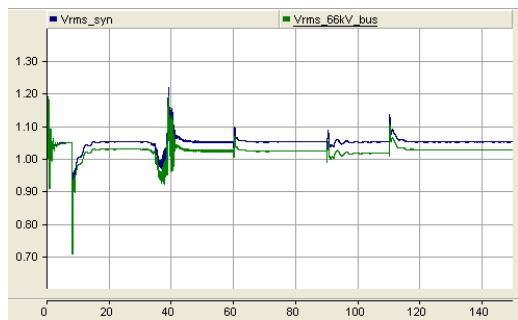
[그림 15] 690V모선에서의 풍력발전기 출력 전류[kA]
[Fig. 15] Current supplied from WT Generator to 690V Bus[kA]



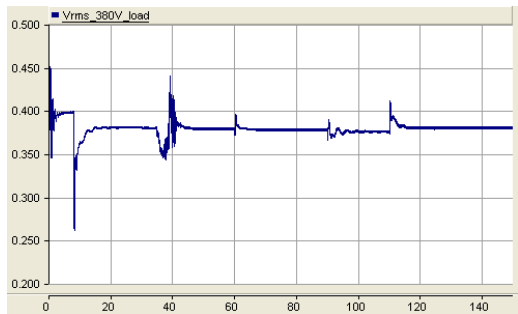
[그림 16] 6.6kV모선에서 부하측으로 공급되는 공급전력 [MW, MVar]
[Fig. 16] Power supplied from 6.6kV Bus to Load Side[MW, MVar]



[그림 17] 380V부하단에서의 소비전력[MW, MVar]
 [Fig. 17] Power absorbed by 380V Load Bus [MW, MVar]



[그림 18] 디젤발전단 및 6.6kV 모선 전압[pu]
 [Fig. 18] Voltage at Diesel Generator and 6.6 kV Bus[pu]



[그림 19] 380V부하단 전압[pu]
 [Fig. 19] Voltage at 380V Load Bus[pu]

3.6.3 고찰

모델링된 대상 도서지역의 풍력-디젤 하이브리드 발전계통에 대한 모의분석결과, 다음과 같은 외란에 대하여 주파수 및 전압가 적정유지범위를 벗어나는 전력품질상의 문제가 발생함을 확인할 수 있었다.

- ① 정전복구로 인한 과도한 부하변화시
- ② 풍력발전기 병입시

- ③ 과도한 풍속변화시
- ④ 무효전력보상용 컨덴서 투입시

상기의 문제는 그 외란의 크기 정도에 따라 주파수 및 전압의 적정유지범위를 벗어나는 정도가 다르지만, 도서 지역에 설치 및 운용되는 디젤-풍력 하이브리드 발전계통의 설계시에 이에 대한 전력품질에 대한 충분한 대책이 필요하다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 21세기 환경문제와 더불어 전 세계 선진국에서 기술개발을 서두르고 있는 스마트그리드 및 마이크로그리드와 관련이 깊은 신재생에너지전원으로 구성되는 도서지역의 독립운전형 풍력-디젤 하이브리드 발전계통의 설계 및 분석에 필요한 모델링 방법을 제안하였다. 구체적으로는 모델링에 필요한 풍력발전시스템의 풍력터빈 및 소규모 유도발전기에 필요한 각종 파라미터의 선정방법, 그리고 디젤발전기인 소규모 동기기의 실제 파라미터 선정과 독립운전형 제어기 구성 등을 제시하였다. 제시된 모델링 방법을 근거로 하여 PSCAD/EMTDC S/W에 의하여 모델링을 수행하고, 이를 도서지역 모델계통에 대하여 적용하고 그 결과를 고찰하여 보았다. 모델링된 각 풍력터빈, 유도발전기, 디젤발전기들로 구성된 독립운전형 풍력-디젤 하이브리드 발전계통을 모의한 결과, 정전복구로 인한 과도한 부하변화시, 풍력발전기 병입시, 과도한 풍속변화시, 무효전력보상용 컨덴서 투입시 독립계통의 주파수 및 전압가 적정유지범위를 벗어나는 전력품질상의 문제가 발생함을 확인할 수 있었다. 이와 같은 독립계통의 전력품질문제의 해결에는 디젤발전기 및 풍력발전기의 최적 용량산정 및 제어기 설계, 더미부하 용량, 저장장치 최적용량 산정 및 제어기 설계가 필수적인데, 본 논문에서 제안한 풍력-디젤 하이브리드 발전계통 모델링 방법이 이 부분에 기여할 것으로 기대된다.

References

- [1] Chad Abbey, Wei Li and Geza Joos, "An Online Control Algorithm for Application of a Hybrid ESS to a Wind-Diesel System", IEEE Transactions On Industrial Electronics, Vol. 57, No. 12, December 2010.
- [2] R. Pena, R. Cardenas, J. Proboste, J. Clare, and G. M. Asher, "Wind - Diesel Generation using Doubly Fed

Induction Machines", IEEE Trans. Energy Convers, Vol. 23, No. 1, pp. 202 - 214, Mar. 2008.

[3] R. Pena, J. C. Clare, and G. M. Asher, "A Doubly Fed Induction Generator using Back-to-Back PWM Converters Supplying an Isolated Load from a Variable Speed Wind Turbine", IEE Proc. Electr. Power Appl., Vol. 143, No. 5, pp. 380 - 387, Sep. 1996.

[4] C. Abbey and G. Joos, "Super Capacitor Energy Storage for Wind Energy Applications", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 43, No. 3, pp. 769 - 776, May/June. 2007.

[5] J. P. Barton and D. G. Infield, "Energy Storage and its Use with Intermittent Renewable Energy," IEEE Trans. Energy Conversion., Vol. 19, No. 2, pp. 441 - 448, Jun. 2004.

[6] R. Hunter and G. Elliot, Wind - Diesel Systems: A Guide to the Technology and Its Implementation. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 1994.

[7] Tapas Kumar Saha and Debaprasad Kastha, "Design Optimization and Dynamic Performance Analysis of a Stand-Alone Hybrid Wind-Diesel Electrical Power Generation System", IEEE Trans. Energy Conversion., Vol. 25, No. 4, pp. 1209 - 1217, December 2010.

[8] A.J. Bowen, M. Cowie and N. Zakay, "The Performance of A Remote Wind-Diesel Power System," Renew Energy, Vol. 22, pp. 429 - 45, 2001.

[9] R. C. Bansal, "Automatic Reactive-Power Control of Isolated Wind-Diesel Hybrid Power System", IEEE Transactions On Industrial Electronics, Vol. 53, No. 4, August 2006.

[10] Eduard Muljadi, H. Edward Mckenna, "Power Quality Issues in a Hybrid Power System", IEEE Transactions On Industry Applications, Vol. 38, No. 3, May/June 2002.

[11] Ji-Hoon Im and seung-Ho Song, "Simplified Wind Turbine Modeling and Calculation of PCC Voltage Variation according to Grid Connection Conditions", Trans. KIEE. Vol. 58, No. 12, 2009.

[12] Eun-Sik Choi, Heung-Kwan Choi, Jin-Hong Jeon and Jong-Bo Ahn, "A Study on Simulation of Dynamic Characteristics in Prototype Microgrid", Trans. KIEE. Vol. 59, No. 12, 2010.

[13] Serim Heo, et. al, "Simulation Analysis of a Renewable Energy Based Microgrid using RTDS", Trans. KIEE. Vol. 60, No. 12, 2011.

[14] PSCAD/EMTDC Power System Simulation Software user's Manual, Manitoba HVDC Research Centre, Winnipeg, Canada.

[15] P.M.Anderson, Anjan Bose "Stability Simulation Of

Wind Turbine Systems", IEEE Transactions On Power Apparatus and System, Vol PAS-102, No.12, December 1983.

[16] William B. Gish, "Small Induction Generator and Synchronous Generator Constants for DSG Isolation Studies" IEEE Transactions On Power Systems, Vol PWRD-1, No. 2, April 1986.

[17] J. Arrillaga, N. R. Watson: Computer Modeling of Electrical Power Systems, John Wiley & Sons.

김 재 언(Jae-Eon Kim)

[정회원]



• 1982년 2월 : 한양대학교 전기공학과 (공학사)
 • 1984년 2월 : 한양대학교대학원 전기공학과 (공학석사)
 • 1996년 3월 : 일본 코토대학교대학원 전기공학과(공학박사)
 • 1984년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국전기연구소 연구원/배전연구팀장
 • 1998년 9월 ~ 현재 : 충북대학교 전자정보대학 전기공학부 교수

<관심분야>
 전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석