

신재생 전원 계통 접속에 따른 전력계통 영향 평가에 관한 연구

A Study on the Evaluation of the Impact of Power System according to the Connection of Renewable Energy

박성준*, 조윤성*, 허진**, 박상호***, 윤기갑***

Seoung-Jun Park*, Yun-Sung Cho*, Jin Hur**, Sang Ho Park***, Gi Gab Yoon***

Abstract

In this paper, we describe the effects on the power system by adding renewable generator. In order to examine the stability of the system, the system analysis was performed using the PSS/E software. We confirmed whether occur the line overload of system through the load flow analysis and contingency analysis, and confirmed whether exceed of fault current using the fault current analysis. Dynamic stability of the system is analyzed through dynamic simulation. The analysis of the system according to the addition of the renewable generator was carried out according to the power system reliability and electricity quality maintenance standard.

요약

본 논문에서는 신재생 발전원의 추가에 따라 계통에 미치는 영향에 관하여 서술하였다. 계통의 안정도 검토를 위해, PSS/E S/W를 이용하여 계통 해석을 수행하였다. 정상상태 조류 계산을 통한 선로 과부하 검토 및 고장 용량 해석을 통한 고장 전류 초과여부 및 상정고장 해석을 통한 선로 과부하 여부를 확인하였다. 다이내믹 시뮬레이션을 통해 계통의 동적안정도를 확인하였다. 신재생 발전기 추가에 따른 계통 해석은 전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준에 따라 해석을 수행하였다.

Key words : Power System Analysis, Load Flow Analysis, Contingency Analysis, Fault Analysis, Dynamic Stimulation

* Dept. of Electronics Engineering, Daegu Catholic University

** Department of Electrical Engineering, Sangmyung University, Korea

*** Dept. of Electronic and Electrical Engineering, Daegu Catholic University

★ Corresponding author

E-mail : philos@cu.ac.kr, Tel : +82-053-850-2780

※ Acknowledgment

This paper is a basic research project (NRF-2017R1D1A3B03035505) funded by the Korean Ministry of Education (Ministry of Education)

Manuscript received Sep. 7, 2018; revised Sep. 18, 2018; Accepted Sep. 19, 2018

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

미래계통을 구축하기 위해 8차 수급 기본계획의 계획기간인 17년~31년 사이 연평균 1.3%의 수요 증가가 전망된다. 또한 4차 산업 혁명으로 인한 신규 디바이스의 단위 전력소비는 증가하나, 전력소비 최적화 및 전력 자급 생태계로의 전환에 따라 전반적인 소비는 감소할 것으로 전망된다. 즉, 상대적인 수요는 감소하나 절대적인 수요는 증가하여 2031년 100.5GW로 예상된다[1]. 또한 기존 발전원의 감축 및 신재생 발전원의 증축이 계획되어 있다. 기존발전원의 감축이 계획되었으나 100% 감축이 아니므로 시간의 흐름에 따른 기존 발전원의 노후 발전기 교체 및 신설이 필요할 것으로 예상된

다. 따라서, 본 논문에서는 발전원 신설에 따른 전력계통 해석에 관하여 서술하였다. 전력계통 해석은 전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준[2] 따라 신재생 발전기가 추가된 계통의 안정성을 검토하였다.

II. 본론

1. 계통해석 절차 및 기준

본 절에서는 신재생 발전기 추가에 따른 계통해석 절차 및 안정도 기준에 관하여 서술하였다. 안정성 기준은 전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준에 맞게 수립하였고, 각 해석의 기준에 따라 계통의 안정성이 검증되어야 한다[5].

가. 계통 해석 절차

신재생 발전원 추가에 따른 계통해석을 수행하기 위해 *.raw형식의 네트워크 데이터와, *.dyr 형식의 다이내믹 데이터를 사용하였다[3]. 또한 계통해석은 정상상태, 상정상태, 고장전류, 과도안정도를 해석하여, 계통해석 별 기준 위반 여부를 확인하였다. 계통해석 수행 단계는 다음 표를 통해 기술하였다[4].

Table 1. System Analysis Step.

표 1. 계통 해석 수행 단계

Step	PSS/E
renewable generator modeling	Network Data
Steady State Overload Review	FNSL
Steady State Voltage Review	FNSL
Steady State Fault Current Review	ASCC
Contingency Overload Review	Line out-of-service
Contingency Voltage Review	Line out-of-service
Transient stability Review	Dynamic simulation

나. 계통 검토 유지 기준

계통 해석을 수행한 결과를 토대로 유지 기준 부합여부를 확인하여야 한다. 계통 유지 기준은 각 해석에 따라 검토되는 유지기준은 다르고 해석 종류에 따라 기준이 변화될 수 있다. 검토되는 계통의 요소별 유지 기준은 다음 표를 통하여 기술하였다[2].

Table 2. System Review Standard.

표 2. 계통 검토 기준

Review Kinds	Standard
Frequency	<ul style="list-style-type: none"> Steady State : $60 \pm 0.2\text{Hz}$ Contingency : $62 \sim 57.5\text{Hz}$
Bus Voltage	<ul style="list-style-type: none"> Steady State <ul style="list-style-type: none"> 765kV : $765 \pm 5\%$ (726kV ~ 800kV) 345kV : $345 \pm 5\%$ (328kV) Not more than 120% of the rated capacity ~ 362kV) 154kV : $154 \pm 10\%$ (139kV ~ 169kV) Contingency up to 0.925 [P.U]
Overload	<ul style="list-style-type: none"> Steady State <ul style="list-style-type: none"> Not more than 100% of rated capacity Contingency <ul style="list-style-type: none"> Not more than 120% of rated capacity
Fault Current	<ul style="list-style-type: none"> Fault Current Allowed Range By Bus voltage <ul style="list-style-type: none"> 154kV : 50kA 345kV : 63kA 765kV : 63kA
Transient stability	<ul style="list-style-type: none"> Not more than 345kV System: 6Cycle 765kV system : 5Cycle

2. 계통 검토 시나리오 선정

본 장에서는 계통검토를 위한 시나리오를 선정하고, 계통검토에 필요한 미래계통 PSS/E 데이터에 관하여 서술하였다.

가. 미래계통 데이터

신재생 발전기의 추가 및 계통 검토에 사용될 미래계통 데이터의 기본 정보는 다음과 같다.

Table 3. Future system data.

표 3. 미래계통 데이터

Data	Value
Load	100.97 [GW]
Generator	102.50 [GW]
The number of Generator	455 [EA]
In-service Generator	258 [EA]

또한, 미래계통 데이터의 모선-A에 신재생 발전원을 추가하기 위해 주변 발생하는 정상상태 과부하, 모선전압 이상 및 상정고장 상태 과부하, 모선 전압이상을, 계통 선로 개방 및 투입과 변압기 추가 제어 등을 통해 해소하였다.

나. 신재생 발전기 모델링

안정화된 초기데이터를 기반으로 신재생 발전기를 추가하고, 급전순위를 반영하여 기존 구동발전기를 구동 제외 하였다. 신재생발전기는 345kV의 송전 모선에 풍력, 태양광, 기타의 발전기로 구분하여 연결하였고, 풍력 및 태양광 발전기는 각각 최대 350MW를 발전할 수 있는 발전기로 모델링하였다. 또한, 일반적으로 풍력 발전기는 Turbine DFIG (Type 3) 혹은 PMSG(Type 4)를 사용한다. 이에 따라 본 논문에서는 Type 4 터빈타입 풍력발전기를 사용하였고, 고장 기여도에 따라 1/1.05의 발전기 차과도 임피던스로 모델링 하였다[7]. 태양광전원은 고장 기여가 매우 미미하여 99999의 차과도 임피던스로 모델링하였다. 모델링된 풍력 및 태양광 발전원은 PSS/E 내부 신재생 발전기 Wind Control Model인 역률제어 발전기로 모델링하였다. 기타 발전원은 일반발전기와 같은 0.189의 차과도 임피던스로 모델링하였고, 일반 발전기 모델을 사용하였다[6]. 발전기 기준 단자전압은 26kV로 설정하였고, 발전기 계통 연계 방안은 다음 그림을 통해 기술하였다.

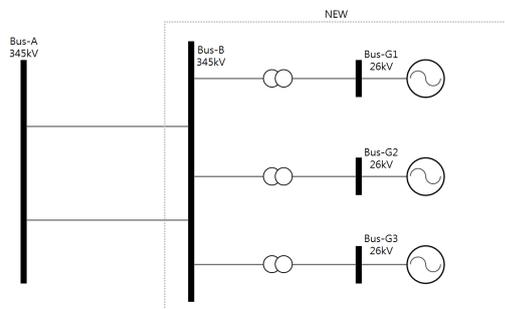


Fig. 1. Generator system connection method.

그림 1. 발전기 계통 연계 방안

3. 사례연구

본 절에서는 모델링 된 바와 같이, 안정화된 미래 계통데이터에 신재생 발전기를 Bus_A에 추가하였으며, 추가 모선 주변의 결과를 서술하였다. 또한, 발전기의 발전량을 증가시키면서 임의모선 Bus_A에 발전기 연계 한계용량을 확인하였다.

가. 정상상태 해석

신재생 발전기 투입 후 조류계산을 통해 정상상태 이상전압 및 과부하를 검토하여 안정된 계통을 확인하였다. 결과는 표를 통해 기술하였다.

Table 4. Result of Overload Review.

표 4. 과부하 검토 결과

From	To	Rate A [MVA]	Output [MVA]
Bus_A	Bus_B	195	12.06
Bus_A	Bus_C	452	168.58
Bus_A	Bus_D	195	276.41
Bus_B	Bus_H	452	21.99
Bus_C	Bus_G	447	111.78
Bus_D	Bus_E	447	137.83
Bus_E	Bus_F	452	137.96
Bus_F	Bus_G	452	63.8

나. 상정사고 해석

발전기 투입에 따른 상정사고 별 조류계산을 통해 전압이상 및 과부하를 검토하였고, 정상상태와 마찬가지로 모선의 저전압 및 선로의 신규 과부하는 발생하지 않은 것을 확인하였다.

Table 5. Result of Contingency Analysis.

표 5. 상정사고 검토 결과

Contingency Line		Ckt	New Limit Over Voltage	New Line Overload
From	To			
Bus_A	Bus_B	1	X	X
Bus_A	Bus_B	2	X	X
Bus_A	Bus_C	1	X	X
Bus_A	Bus_C	2	X	X
Bus_A	Bus_D	1	X	X
Bus_A	Bus_D	2	X	X
Bus_B	Bus_G	1	X	X
Bus_B	Bus_G	2	X	X

다. 고장 전류 해석

신재생 발전기의 추가에 따른 기준모선 주변 고장전류 초과유무를 검토하였다. 결과는 전압별 고장전류 기준을 초과하지 않았으며, 신재생 발전모선 주변 검토결과는 다음 표를 통하여 기술하였다.

Table 6. Result of Fault Current Review.

표 6. 고장전류 검토 결과

Bus	Fault Current	Bus	Fault Current
Bus_A	41.95 [kA]	Bus_E	28.77 [kA]
Bus_B	16.55 [kA]	Bus_F	28.71 [kA]
Bus_C	21.56 [kA]	Bus_G	12.64 [kA]
Bus_D	28.89 [kA]	Bus_H	27.19 [kA]

라. 과도안정도 해석

신재생 발전기 추가에 따라 과도안정도를 해석하였고 발전기 위상각 발산 유무를 검토하였다.

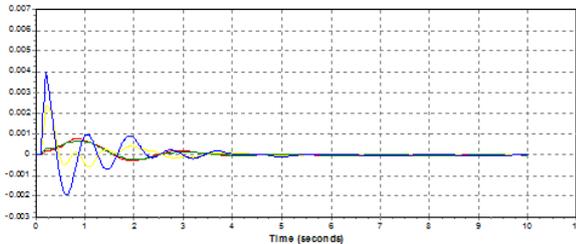


Fig. 2. Result of Dynamic Simulation.

그림 2. 과도 안정도 해석 결과

그림은 Bus_A - Bus_B 간의 2회선 선로 상정사고 발생에 따른 과도안정도 해석결과이다. 그림과 같이 사고 발생 이후 6사이클 이내에 재 수렴되는 것을 확인할 수 있었고, 기준에 부합하는 것을 확인하였다.

위 서술된 계통해석은 약 1GW의 발전기를 추가하였을 때, 해석된 결과로 추가 과부하 및 전압 기준초과 등의 불안정요소는 확인되지 않았다.

III. 결론

서술된 검토결과와 같이, 미래계통 데이터에 기존 발전기를 약 1GW의 신재생 발전원을 추가하였을 때 미래계통의 안정도를 해석하였다. 결과에 따라 계통은 안정한 것을 확인하였고 약 1GW까지는 임의모선 Bus_A에 연계할 수 있는 것을 확인하였다. 따라서, 서술된 바와 같은 방법의 계통 안정도 해석을 통해 전력계통 안정도 유지기준에 맞춰 미래계통 구축에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

References

[1] Ministry of Trade, Industry and Energy, 8th Plan for Electricity Supply and Demand, 12. 2017.
 [2] Ministry of Trade, Industry and Energy, 2015-112, Power system reliability and electricity quality maintenance standard, June, 2015.
 [3] Seong-Jun Park, Yoon-Sung Cho, "Method for Long-Term Power System Data Base Construction using Python," *ICEE*, 2018.

[4] PSS/E 33 Manual, "Documentation," Siemens PTI.

[5] Wood, Allen J, Wollenberg, Bruce F, Sheble, Gerald B, "Power Generation, Operation and Control," John Wiley, Sons Inc.

[6] World Energy Perspective 2016, "Variable Renewables Integration in Electricity Systems: How to Get it Right," *World Energy Council*, 2016.

[7] Prepared by the Joint Working Group, "Fault Current Contributions from Wind Plants," *IEEE Power and Energy Society*.

DOI:10.1109/CPRE.2015.7102165

BIOGRAPHY

Seong-Jun Park (Member)



2017 : He received B.H degree in electrical engineering from Daegu Catholic University
 presently a master course in the Department of Electronic and Electrical Engineering, Deagu Catholic University.

Yun-Sung Cho (Member)



2008 : He received PhD degree in electrical engineering from Korea university
 presently an assistant professor in the Department of Electronic and Electrical Engineering, Deagu Catholic University

2012~2015 : Research Engineer, LS Industrial Systems

Jin Hur (Member)



1997, 1999: He received his B.S., M.S. degrees in Electrical Engineering from Korea University, Seoul, Korea
 2012: He a Ph.D. degree in Electrical and Computer Engineering from the University of Texas at Austin

Gi-Gab Yoon (Member)

He is a Principle manager in KEPRI.
1999 : He received PhD degree in
electrical engineering from Hanyang
universit
He is Senior Researcher KEPRI,
KEPCO

Sang-Ho Park (Member)

2002 : He received Master degree in
electrical engineering from Myungji
universit
He is Senior Researcher KEPRI,
KEPCO

2008~2017 : Researcher KEPRI, KEPCO