

새로운 분산전원 도입에 따른 보호방식해석

조성현*, 이춘모**, 이해기**, 유영각*
 충북대학교*, 충청대학**

Analysis For Impacts of New Distributed Generation on Protection System

Sung Hyun Cho*, Chun-Mo Lee**, Hea Ki Lee**, Young Kag Yoo*
 Chung Buk Nat'l Uni., Cheong College College**

Abstract - This paper analyzes the effect of distributed generation on protection system in order to introduce the wind farm. Assume wind farm, made up of induction generators(1.65MW×12(19.8MW)) is directly connected on distributed line after the Main Transformer(154kV S/S), the effect of distributed generation on protection system is analyzed.

1. 서론

현재 에너지 고갈에 대비하여 풍력발전에 대한 관심이 고조되고 있다. 그러나 풍력발전단지의 불안정한 시스템으로 인해 여러 가지 문제점이 제기되고 있다.

우리나라 풍력발전단지의 도입시, 상용운전을 위한 계통연계방식은 154kV 또는 22.9kV 연계방식이 고려될 수 있다. 이에 우리는 풍력발전단지의 설비용량, 주변환경, 기술적 경제적 문제 등을 고려하여 그 위치를 선정하게 된다. 본 논문에서는 40MW급의 풍력단지가 22.9kV 전용선로를 통하여 연계되었을 경우에 대한 기술적 문제점을 보호방식의 관점에서 분석하여 보았다.

2. 본론

2.1 보호방식상의 문제점 분류

풍력발전단지의 도입시, 전력품질과 보호방식의 관점에서 그 문제점을 파악하는데, 본 논문에서는 보호방식 측면에서 문제점을 그에 따른 해결방안 찾도록 하였다.

풍력발전단지에 동기발전기가 설치된 경우, 유도발전기가 설치된 경우 등으로 해석할 수 있는데, 농형 유도발전기가 설치될 경우로 해석을 하였다.

유도발전기의 기동시 과도상태와 사고시, 두 경우에 해당하는 문제점을 파악하고 그에 대한 내용으로는

- ① 과도상태:
 - 유도발전기의 기동시 돌입전류
 - 커패시터스윗칭으로 인한 공진현상(전압확대현상)
 - 유도발전기의 자기여자현상
 - 고립운전현상(Islanding or Loss of Grid)
 - 설비과부하 현상
- ② 사고시:
 - CB(or Recloser)와 Fuse간의 보호협조,
 - 1선지락시 공진현상,
 - 단락용량,
 - 분류효과,
 - 타선로(회선) 사고시 OCR의 불필요한 동작,
 - Recloser의 정정,
 - 재폐로동작,
 - 1선지락사고시의 Grounding, Transformer Interface

가 있으며, 과도상태시에는 커패시터스윗칭으로 인한 공진현상과 유도발전기 자기여자현상, 고립운전현상에 대하여 해석하고, 사고시에는 단락용량과 재폐로동작에 대한 문제에 대하여 해석하였다.

본 논문에서 선정된 유도발전기는 NEG-MICON사에서 제작한 농형 유도발전기로서 slow-starting 방식을 채택하므로 기동시 돌입전류에 대한 문제점을 고려하지 않았다.

2.2 도입대상 배전계통

풍력발전단지는 단위기당 1,650kW급 풍력발전설비가 12대씩 설치되어 있고, 22.9kV 전용 D/L에 연결되어 있으며, 모지역 #MTR1 및 #2MTR의 부하가 각각 최대 20MW급 설비로 하여 ACSR-OC 240mm²의 가공절연전선 6.0km를 통하여 그림1과 같이 구성하였다.

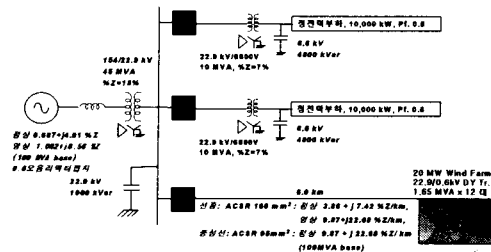


그림 1. 20MW급 풍력발전설비가 전용선을 통하여 연결된 계통모델

2.3 풍력발전설비의 제원

풍력발전설비로 동기기나 유도기 등이 사용될 수 있는데, 본 논문에서는 NEG MICON의 농형유도발전기를 설치하였다. 농형유도발전기의 등가모델은 그림 2와 같다.

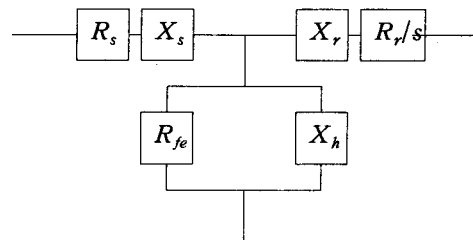


그림 2. 1.65 MW 풍력발전기 등가모델(NEG MICON)

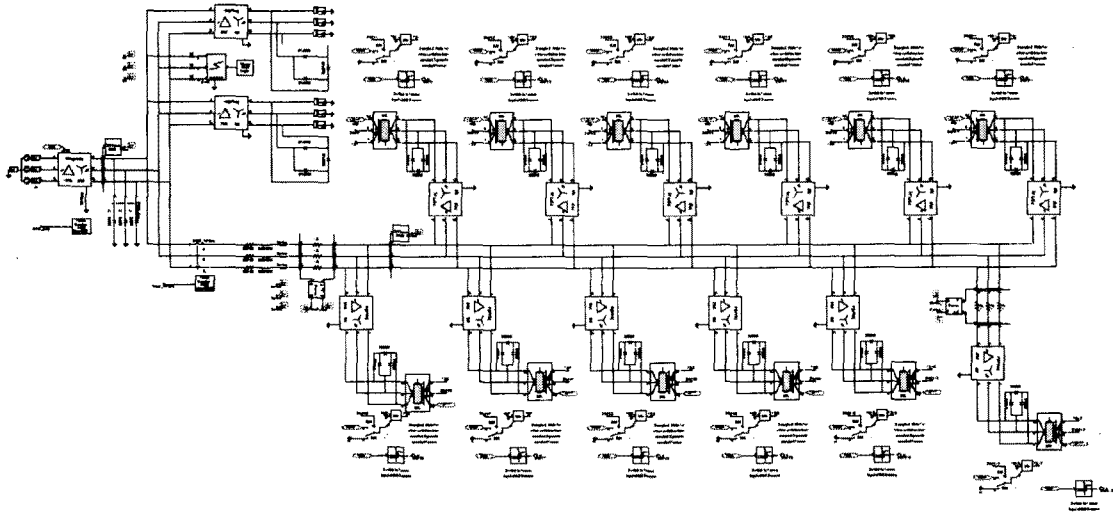


그림 3 PSCAD/EMTDC로 구현한 계통의 모델링

- R_s : stator resistance(= 0.0027 Ω)
- X_s : stator reactance(= 0.061 Ω)
- R_r : rotor resistance(= 0.0058 Ω)
- X_r : rotor reactance(= 0.045 Ω)
- R_{fe} : iron loss(= 137 Ω)
- X_h : Magnetizing reactance(= 2.345 Ω)
- s : slip

풍력발전기 제원은 다음과 같다.

Type description	1 speed generator, water cooled
Rated power	1650 kW
Apparent power	1906 kVA
Rated current	1740 A
Max power at Class F	1615 kW
Max current at Class F	1914 A
No load current	430 A
Reactive power consumption at rated power	740 kVar
Reactive power consumption at no load	447 kVar
Number of poles	6
Synchronous rotation speed	1200 rpm
Rotation speed rated power	1214 rpm
Skip at rated power	1.17 %
Voltage	3 x 600 V
Frequency	60 Hz
Coupling	Delta
Enclosure	IP54

표 1. NEG-MICON 농형유도발전기의 제원

2.4. 모델링 및 해석방법

위 풍력발전설비에 대하여 세가지 경우에 대하여 시뮬레이션을 시켜보았다.

- Case I (그림 4.~그림 12.)
 - 전압확대현상과약과 재폐로현상 문제점 파악
 - ① 기동후 안정된 4초의 시점에서 변전소 무효전력보상용 1000 kVar 커패시터뱅크를 투입한다.
 - ② 7초의 시점에서 풍력단지전용선로의 순시개방

시험을 0.1초간과 0.5초간 수행한다.

- Case II (그림 13.)
 - 타회선에서의 1선지락사고시 문제점 파악
 - ① 3초의 시점에서 풍력단지가 연결된 CB (Circuit Breaker) 직후에서 1선지락사고를 일으킨다. 이 때의 사고 차단시간은 실제의 차단기 동작을 고려하여 10cycles를 고려한다.
- Case III (그림 14.)
 - 순시적인 재폐로가 아닌
 - ① 기동후 안정된 4초의 시점에서 변전소 무효전력보상용 1000 kVar 커패시터뱅크 투입한다.
 - ② 7초의 시점에서 풍력단지전용선로의 개방시험을 2초간 수행한다.
- Case IV (그림 15.~16.)
 - 고립운전시의 문제점 파악
 - ① 5초의 시점에서 모선 2차측선로의 개방시험을 수행한다.

2.5. 시뮬레이션 결과 및 고찰

과도시와 사고시 중 유도발전기의 기동시 돌입전류의 경우 slow starting 방식을 사용하므로 문제가 되지 않으며, 설비과부하 현상의 경우 풍력발전설비의 연계용변압기가 Δ -Y 접지로 되어있으므로 별다른 문제가 되지 않는다.

사고시에서는 CB와 Fuse간의 보호협조문제에서는 풍력발전단지가 도입되지 않은 경우의 1선지락전류와 도입된 경우가 거의 차이하지 않는다. 연계용 변압기가 Δ -Y 직접접지로 되어 있어서 선로의 1선지락 사고시 과전압현상이 약 1.732배까지 일어날 가능성이 있으므로 변압기 결선은 Y-Y 직접접지를 하는 것을 권장하게 된다. 과전압에 대한 대책으로는 59L/T 계전기를 설치하면 된다.

과도시를 보면(그림 4 참조) 4초지점에서 커패시터스윙칭으로 인한 전압확대 현상은 크게 문제되지 않는 범위이다. 7초지점에서 풍력단지선로의 순시개방시험시 0.1초간 순시개방인 경우 전압변동이 거의 없으나 0.5초정도 순시개방한 경우 약 10%의 전압강하가 발생함을 알 수 있다. 또한 과도시 단독운전현상으로 인하여 갑작스러운 전압확대현상이 일어나게 된다. 그로 인해

고조파, flicker, 외란 등의 전력품질특성상의 문제가 발생한다.

사고시에 발생할 문제로 고장전류를 살펴보면, 풍력발전단지가 도입되지 않은 경우, 1선지락전류가 15.35kA, 도입된 경우가 15.13kA로 큰 영향이 없다.

또한 차단기의 재폐로로 인하여(Case III, 3초에서 10cycle동안), 이에 따른 과도한 전류가 흐르게 되어 풍력발전설비측에서는 출력/토크/전류의 Oscillations과 발전기의 권선,축,수명 등에 손상을 입게 된다.

위 내용을 종합해보면 다음과 같은 표 1과 표 2로 요약할 수 있다.

□ Case I (7초에서 0.1초간 순시개방인 경우)

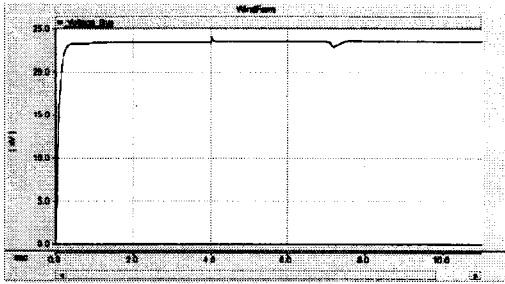


그림 4. 변전소 22.9kV의 모선전압

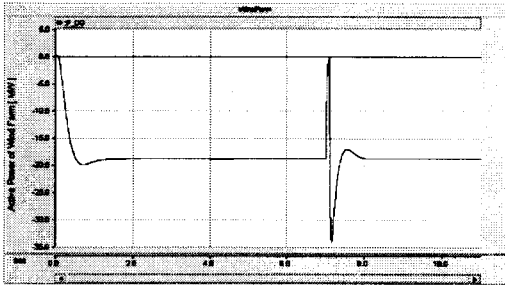


그림 5. 풍력발전단지의 유효전력

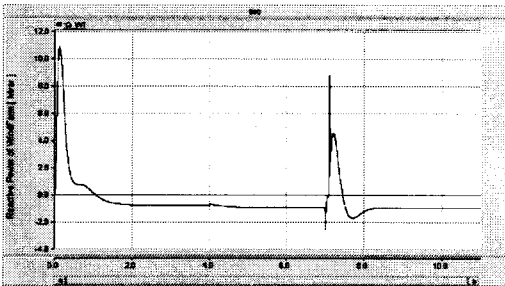


그림 6. 풍력발전단지의 무효전력

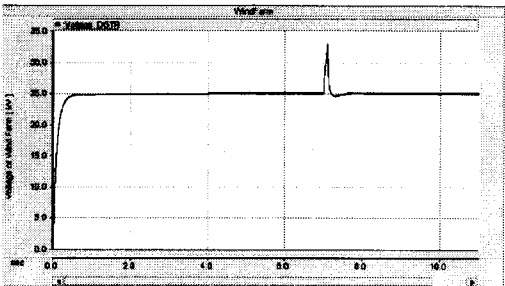


그림 7. 풍력발전단지 연계점 전압

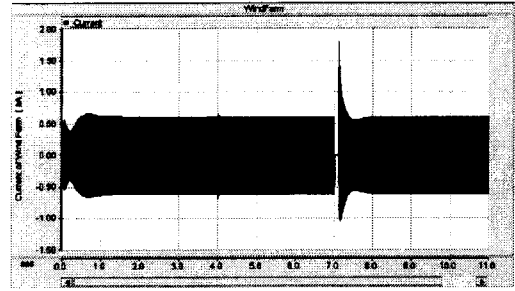


그림8. 풍력발전단지 출력전류

(7초에서 0.5초간 순시개방인 경우)

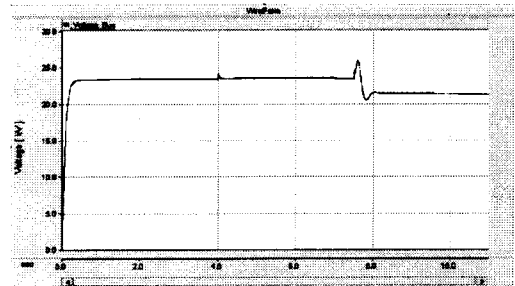


그림 9. 변전소 22.9kV의 모선전압

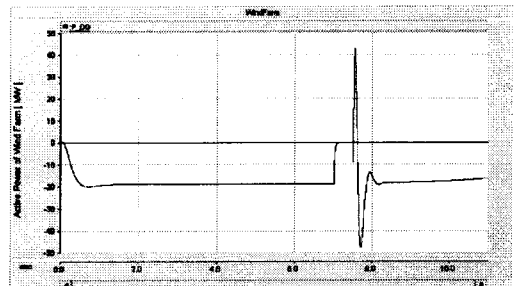


그림 10. 풍력발전단지의 유효전력

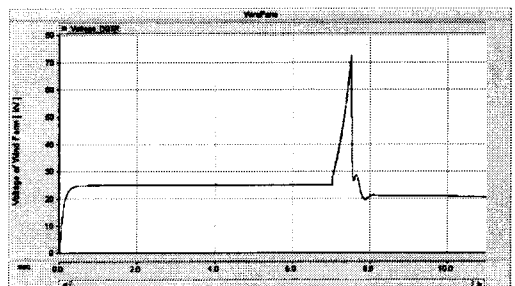


그림 11. 풍력발전단지선로의 무효전력

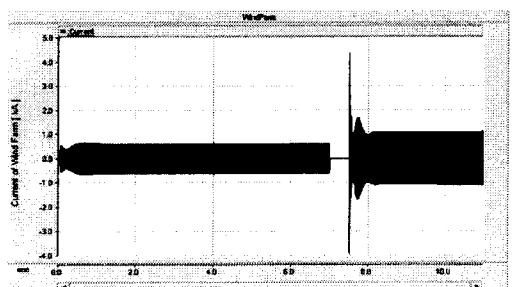


그림 12. 풍력발전단지 출력전류

□ Case II

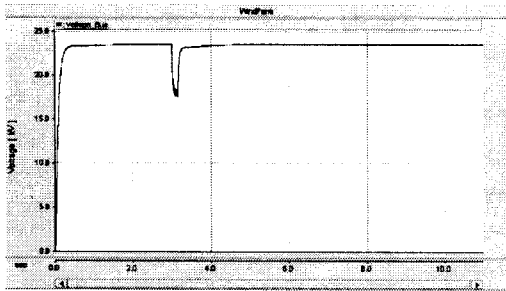


그림 13. 변전소 22.9 kV 모선전압

□ Case III

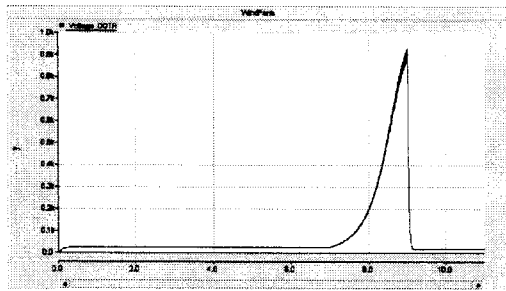


그림 14. 풍력발전단지 선로의 전압곡선

□ Case IV

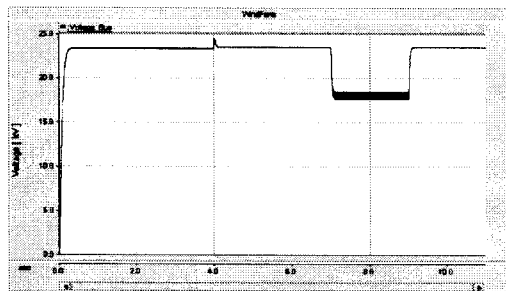


그림 15. 풍력발전단지 선로의 전압곡선

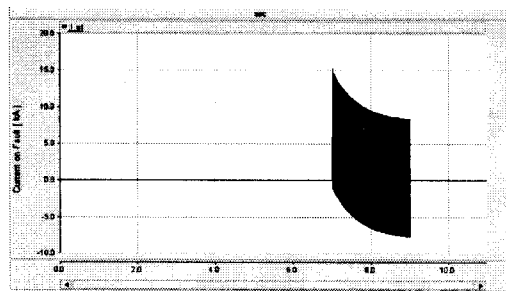


그림 16. 풍력발전단지 선로의 전류

표 2. 과도시 분석결과

항목	분석결과
단락용량	풍력발전단지가 도입되지 않은 경우의 1선지락전류가 15.35kA, 도입된 경우가 15.13kA로 큰 영향 없음
재폐로현상	0.1초동안 재폐로시 전류의 크기가 2.96배 증가하고, 0.5초동안 재폐로시 전류의 크기가 7.16배 증가함. 재폐로 동작을 하지 않거나 사고감지 후 즉시 차단하는 순시요소가 필요함

표 3. 사고시 분석결과

항목	분석결과
전압확대현상	변전소측의 커패시터뱅크 스위칭: 시뮬레이션의 경우 별다른 문제가 없었음
유도발전기의 자기여자현상	콘덴서에 의한 자기여자 현상 없음. 풍력발전단지를 0.1초동안 선로개방시 다시 정상상태로 돌아오나, 0.5초동안 선로개방시 모선의 전압강하가 발생.
Islanding	단독운전의 경우 모선측 개방시 지속되지 않지만 전압이 급격히 증가한다.

3. 결 론

본 논문에서 전압확대현상과 유도발전기의 자기여자현상, Islanding, 사고시의 고장전류해석(단락용량), 재폐로현상 등에 대하여, 모계통에 대하여 PSCAD/EMTDC로 모의하여 풍력단지가 도입시 그에 따른 문제점을 파악하여 미리 어떠한 조치를 취하는 가를 확인하기 위하여 분석하였다. 차후 풍력단지의 도입시 발생하는 결과를 파악해 둌으로써 모든 문제점을 미리 숙지해 둌으로서 운용시, 모든 경우에 대처할 수 있을 것이라 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김재언 외, “분산형전원이 도입된 복합발전계통의 운용방안에 대한 고찰”, 대한전기학회논문지, 제48A권, pp.692-698, 1999.6
- [2] 김재언 외, 전력품질향상을 위한 대체에너지전원의 운전역률과 도입한계량 산출기법 및 S/W 개발, 산업자원부보고서, 2001.3
- [3] IEEE Std. 1094-1991, IEEE Recommended Practice for the Electric Design and Operation of Windfarm Generating Stations.