

풍력발전시스템을 포함한 전력계통 과도안정도 모의

이중순*, 이강완**

*한국전력공사, **(주)대화기술사

Transient Stability Simulation of Power System Including WTGS

Jong-Soon Lee*, Kang-Wan Lee**

*KEPCO, **DAEHWHA Engineering & Consultants Co., Ltd.

Abstract - 풍력발전은 신재생에너지 설비 개발에 대한 적극적인 정책 지원 등으로 인하여 이의 확대 보급이 가속화 되고 있다. 반면에 풍력발전은 특성상 전력품질 적정 유지 및 전력공급 신뢰도 측면에서 기존의 발전시스템에 비하여 상대적으로 취약한 형태이다. 따라서 전력계통에서 풍력발전 비중이 증가됨에 따라 나타날 수 있는 계통안정도 변화와 같은 동특성 분석이 절실히 요구되고 있다. 본 논문은 풍력발전시스템을 전력계통에 연계하여 이의 동특성을 해석하기 위해 풍력발전시스템을 모의하고 이의 영향을 검토한 사례이다.

1. 서 론

풍력발전은 화석연료의 CO₂ 배출을 억제할 수 있는 매우 유용한 청정 에너지원으로 최근 적극적인 정책 지원 등으로 인하여 이의 확대 보급이 가속화 되고 있다. 그러나 풍력발전시스템은 이의 특성상 자연현상으로 일어나는 바람에 의존하기 때문에 생산되는 전력의 크기와 이의 지속시간이 불규칙한 형태여서 전력계통이 갖는 생산과 소비의 동시성에 관련된 전력품질 유지 및 전력공급 신뢰성 측면에서 상대적으로 불리한 형태이다.

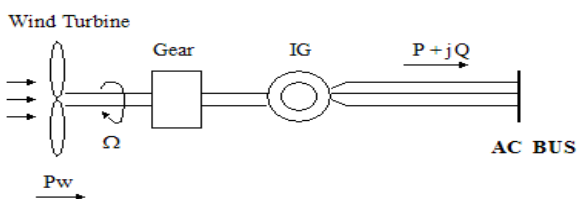
전력계통에서는 끊임없이 부하변동이 발생하고 또는 전기 사고 등으로 전력의 생산과 수요 간에 불균형이 발생하게 되어 이로 인해 발전기 상차각이 변하게 되는데 이의 상태 변화 여하에 따라서는 동기운전이 깨어져 계통의 안정운전을 위협할 수 있으며 전력 품질 저하 원인이 될 수도 있다. 전력계통의 동특성인 안정도는 전력계통에서 발생하는 전기적 외란의 크기, 발전기 특성 또는 전력계통 구성형태에 따라 결정된다.

풍력발전시스템이 포함된 전력계통의 전기적 외란에서 풍력발전시스템 및 이 인접 전력계통의 동특성을 모의하기 위해서는 풍력발전시스템을 구성하고 있는 유도발전기, 풍력터빈 및 전자제어 설비를 상세하게 모의해야 된다. 본 논문에서는 풍력에너지변환시스템(Wind Energy Conversion System: WECS) 중에서 가장 단순한 형태인 WECS-IG 모형과 상대적으로 전력품질 유지 측면에서 유리하다고 판단되는 WECS-DFIG(Double-Fed Induction Generator) 모형을 모의하여 실제 계통에 연계하여 동특성을 해석한 사례이다.

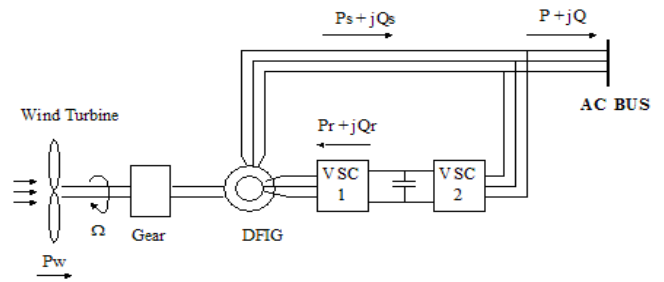
2. 본 론

2.1 풍력에너지변환시스템(Wind Energy Conversion System)

풍력발전에는 비동기인 유도발전기가 이용 되고 있다. 유도발전기가 전력계통에 직접 접속되는 경우는 무효전력을 흡수하는 형태로 운전되기 때문에 동기발전기와 다르게 전압을 조정할 수 없는 단점이 있다 이와 같이 유도발전기가 계통에 직접 접속될 경우 바람의 세기 등에 따라 발전기 기동과 정지 및 출력 변화가 있게 되며 이로 인한 전압플리커 현상이 나타나게 된다. 풍력발전시스템 규모가 작을 경우 유도발전기를 계통에 직접 접속하여 운영할 수 있는 <그림 1>과 같은 WECS-IG 형태의 풍력에너지변환시스템이 이용될 수 있다. 그러나 비교적 규모가 클 경우는 전력품질 및 공급신뢰도 등이 보장될 수 있는 즉 발전기 단자 전압 등을 조정할 수 있는 <그림 2>와 같은 WECS-DFIG 형태의 풍력 에너지변환시스템을 이용하는 것이 바람직 할 것이다.

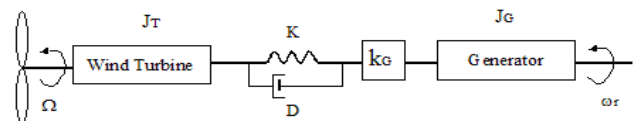


<그림 1> WECS-IG



<그림 2> WECS-DFIG

풍력발전기 회전체(Drive train)는 <그림 3>과 같이 2 부분으로 모의 될 수 있다. 한쪽은 터빈 축으로 다른 한쪽은 발전기 축으로 구성되어 터빈과 발전기 간에는 스프링과 제동기(Damper)로 연결된다.

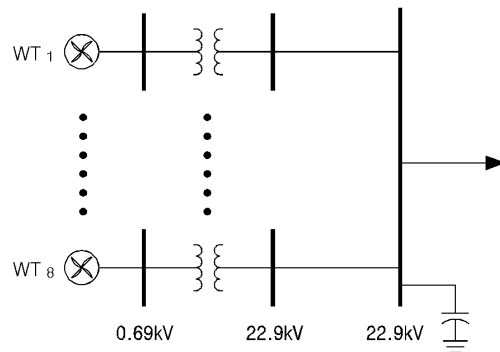


<그림 3> 풍력발전기 회전체 모형

2.2 풍력발전시스템 모의

동특성을 모의하기 위한 풍력발전시스템은 154kV변전소 22.9kV 모선에서 22.9kV 배전선로 ACSR 160mm² 2회선 24km 전용선로에 연계된 것으로 가정하고 풍력발전기 단위기 용량 1.5MW 8대가 설치된 것으로 모의한다. 본 논문에서는 유도발전기가 직접 계통에 연계되는 WECS-IG 형태와 풍력발전시스템 단자전압을 원활하게 조정할 수 있는 WECS-DFIG 모형을 각각 모의한 것으로 <그림 4>는 이를 나타낸 것이다.

풍력발전시스템 단자전압을 조정할 수 있는 WECS-DFIG 모의를 위한 발전기는 1.5MW출력으로 발전기 무효전력 조정범위는 역률 0.95p.u.에서 -0.9p.u. 까지 즉, 최대무효전력 0.49MVAR에서 -0.73MVAR까지이며 발전기 정격은 1.67MVA 그리고 안정된 최소발전은 0.2MW로 가정하였으며 풍력터빈과 발전기를 합한 관성정수는 4.167MW·s/MVA로 가정한다.



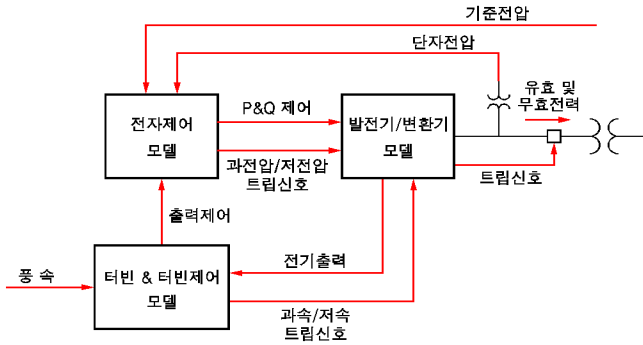
<그림 4> 모의 풍력발전시스템

2.3 WECS-DFIG 모의

유효 및 무효전력을 안정적으로 조정하기 위한 WECS-DFIG 형태의 풍력발전시스템 동특성을 모의하기 위해서는 다음 3가지 모형이 구성된 것으로 가정한다.

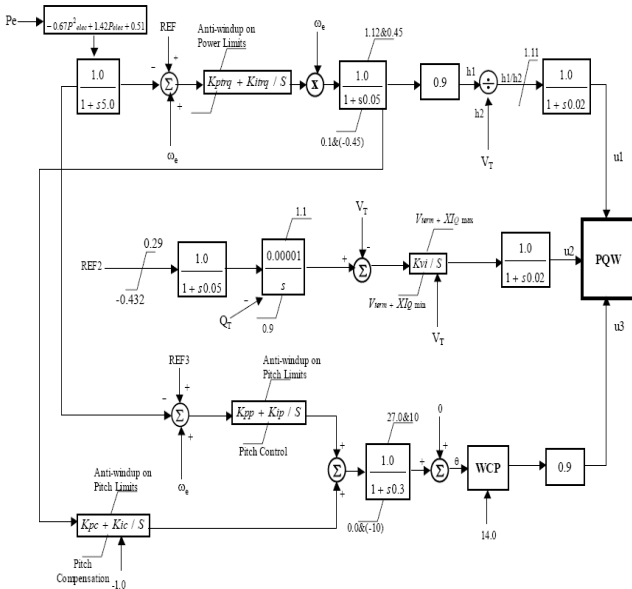
- 발전기/변환기 모델(Generator/converter model)
- 전자제어 모델(Electrical control model)
- 터빈 및 터빈제어 모델(Turbine and turbine control model)

<그림 5>은 WECS-DFIG 형태의 풍력발전시스템을 간략화한 모의 형태이다. 발전기/변환기 모델에서 풍력발전시스템과 계통을 연계하고, 전자제어 모델에서 여자전압을 조정으로 무효전력을 조정하며 터빈 모델에서 입력되는 신호에 따라 유효전력을 조정한다. 터빈 및 터빈제어 모델에서는 풍속에 따라 피치각(Pitch angle)을 조정하여 기계적인 출력을 조정하도록 제어신호를 출력한다.



<그림 5> WECS-DFIG 모의 형태

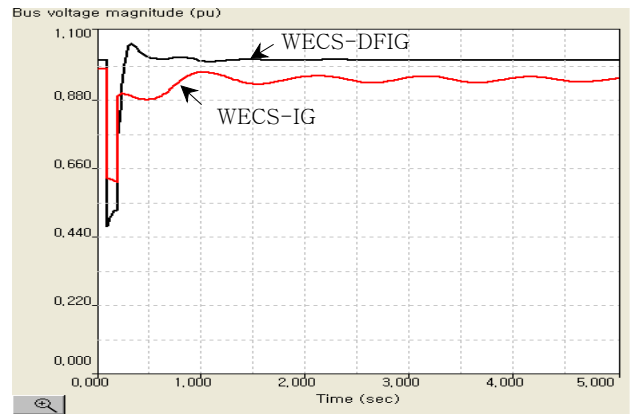
<그림 6>은 1.5MW WECS-DFIG 형태 풍력발전시스템을 상세 모의한 것이다. 여기서 PQW는 전자제어 모델에서 유효 및 무효전력을 조정하기 위한 신호를 받아 발전기 출력을 발생시키는 발전기모형을 나타낸 것이다.



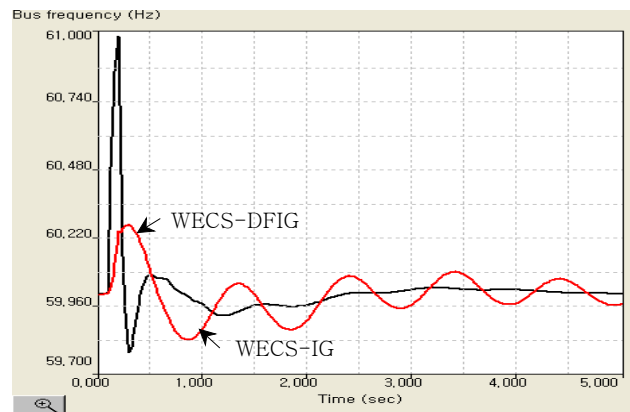
<그림 6> WECS-DFIG 상세 모형

2.3 풍력발전시스템 동특성 모의 결과

동특성을 해석하기 위한 상정사고는 풍력발전시스템이 연계된 22.9kV 인출점 모선에 3상단락고장이 발생하여 0.1초간 지속된 다음 고장이 제거된 것으로 모의하였다. 이때 풍력발전시스템 단자 전압과 주파수는 각각 <그림 7> 및 <그림 8>과 같이 나타났다. 여기에 보여준 것과 같이 안정도 측면에서 풍력발전시스템을 계통에 직접 연결하는 WECS-IG 방식에 비해 WECS-DFIG 방식이 유리한 것으로 나타났다. 조류계산 결과에서도 풍력발전시스템 단자 전압을 조정할 수 있는 WECS-DFIG 방식이 유리한 것으로 나타났다.



<그림 7> 풍력발전시스템 단자 모선 전압



<그림 8> 풍력발전시스템 단자 모선 주파수

3. 결 론

풍력발전은 지속적인 증가 확대가 예상된다. 풍력발전시스템에서 발생되는 전력은 자연이 갖는 바람의 세기 등에 따라 매우 불규칙하게 생산된다. 따라서 전력계통 규모가 상대적으로 작은 전력계통에서는 풍력발전의 불규칙적인 발전 특성이 전력의 품질에 나쁜 영향은 물론 전력계통 안정운전 측면에서도 상대적으로 불리한 형태이다. 따라서 기존의 풍력발전시스템은 물론 앞으로 예상되는 신설 풍력발전시스템이 전력계통에 미치는 영향을 정확히 분석하고 필요한 경우 적정 보완 대책 수립 및 적정 풍력발전시스템 형태를 제시하기 위해 과도안정도 모의가 필요한 실정이다. 본 논문에서는 가장 단순한 WECS-IG 형태와 단자전압 제어가 가능한 WECS-DFIG 풍력발전시스템 동특성을 모의하였으나 앞으로 풍력발전시스템의 안정운전을 보완 할 수 있는 대안 수립 및 풍력발전시스템 단자 전압 조정이 가능한 VSC(Voltage-Source Converter)를 포함한 WECS-HVDC 형태의 풍력 발전시스템을 포함한 전력계통 동특성 모의 등의 연구가 요구된다.

[참 고 문 헌]

[1] GE Energy "Modeling of GE Wind Turbine-Generator for Grid Studies", GE-Power Systems Energy Consulting, Version 3.4b, March 4, 2005
 [2] Anca D. Hansen, Poul Sorensen, Florin Iov, Frede Blaabjerg, "Installation of Grid-Connected Wind Turbine Models in Power-System Simulations", Wind Engineering Volume 27, No. 1, 2003, pp21-38
 [3] DSA Tools, "TSAT Model Manual", Powertech Labs Inc., April 2007
 [4] CYMSTAB for Windows, "User's Guide and Reference Manual", CYME International T&D Inc., 2004