

실 계통 연계 1.5MW급 DFIG 풍력발전 시뮬레이터의 응답특성 분석

최영도*, 전영수**, 전동훈, 신정훈, 김태균, 정병창

Analysis of Dynamic Response of 1.5MW DFIG Wind Power Simulator with Real-grid Connection

Young-Do Choy*, Young-Soo Jeon**, Dong-hoon Jeon, Jeong-Hoon Shin, Tae-kyun Kim and Byung-Chang Jeong

Abstract

The effect of change in DFIG (doubly-fed wind power generator) rotating speed and active power on the grid was analyzed to understand the characteristics of wind power using the wind power simulator connected to the grid at Gochang Power Quality Test Center. Electric power quality improvement devices (DVR, STATCOM, SSTS) and electric power quality disturbance application devices for 22.9 kV grid are equipped at Gochang Power Quality Test Center. Induction motor and VVVF inverter were used to emulate the blade of a wind power generator, and a simulator for Cage wound induction generator and DFIG was developed. The trial line were assumed to be 20 km and 40 km in length, and variable wind speed pattern was set using wind speed data from Duceokdo to verify the power characteristics of the wind power generator according to rotating speed.

Key words

DFIG(이중여자유도발전기), DVR(동적전압보상기), STATCOM(정지형무효전력보상기)

(접수일 2009. 7. 30, 수정일 2009. 9. 8, 게재확정일 2009. 9. 8)

* 한전 전력연구원

■ E-mail : zeroway@kepri.re.kr ■ Tel : (042)865-5812 ■ Fax : (042)865-5814

** 한전 전력연구원

■ E-mail : ysjeon@kepri.re.kr ■ Tel : (042)865-5810 ■ Fax : (042)865-5814

Nomenclature

W_{rms} : Rotor speed, rms
 V_{wind} : Wind speed, m/s
 P_{gen} : Generator-side active power, kW
 Q_{gen} : Generator-side reactive power, kVar

subscrip

DFIG : Doubly Fed Induction Generator
 SSTS : Solid State Transfer Switch
 SSFG : Sag, Swell, and Flicker Generator
 VVVF : Variable Voltage Variable Frequency
 PCU : Power Conditioner Unit

1. 서론

최근 풍력발전의 경우 그 수요가 세계적으로 가장 빠르게 성장하는 에너지원으로 덴마크, 독일 등 북유럽 국가를 주축으로 실증시험 연구가 활발히 이루어지고 있고, 첨단산업의 발전을 비롯한 산업규모의 확대 등으로 에너지 소비가 급증하는 반면, 에너지원인 석탄, 석유, 천연가스 등은 고갈 위기에 처해있다. 환경오염의 원인이 되어 이를 대체할 에너지원의 개발 필요성이 증대되고 있어, 이에 선진국들은 무한 청정 에너지원에 대한 연구를 활발히 추진하고 있으며, 세계 에너지 시장의 신 재생에너지 점유율이 점진적으로 증가하고 있는 추세이다. 국외에서는 이미 다양한 실증시험을 수행하고 있으며, 대규모 풍력발전 단지를 운영하고 있지만, 국내의 경우 대규모 풍력발전 단지를 추진하는 단계로, 전력계통에서 발생 가능한 여러 가지 전력품질 외란을 고려하여, 대규모 풍력발전의 영향을 분석할 수 있는 시스템이 절실히 필요하다. 이에 실 계통에 연계되는 1.5MW급 풍력발전 시뮬레이터를 개발하고, 실 계통 응용특성 기술을 확보할 수 있는 실증시험 시스템을 구축하였다. 본 논문은 유도전동기와 VVVF를 이용하여 풍력발전기의 블레이드를 구현하고, 이중여자 유도형 풍력발전기를 모의할 수 있는 시뮬레이터를 개발하여, 전력품질 실증시험장 계통에 연계된 1.5MW급 풍력발전 시뮬레이터의 모의선로 길이를 20km, 40km로 가정하고, 기상청 자료를 근거로 풍속데이터를 이용한 가변 풍속 패턴을 설정하여 이중여자 풍력발전기의 회전속도와 유효전력의 변화가 계통에 미치는 영향을 분석한 결과를 기술하였다.

고장에 설치되어 있는 전력품질 설비는 22.9kV 계통에 전력품질 외란(Sag, Swell, Flicker)을 발생시킬 수 있는 SSFG와 전력품질 보상설비(SSTS, DVR, DSTATCOM, APF), 고조파 발생기인 PCR, 부하(저항, 리액터)등이 구축되어 있고, 선로정수를 모델링 하기 위한 가변 송전 모의 선로정수(20km, 40km, 60km)가 풍력발전 시뮬레이터와 연계되어 있다⁽¹⁾.

2. 전력품질 실증시험장 구성

그림 1은 전력품질 실증시험장의 구성도이다. 전체 시스템은 전력품질 외란(Sag, Swell, Flicker)을 발생시킬 수 있는

SSFG와 전력품질 보상설비(SSTS, DVR, DSTATCOM, APF), 고조파 발생기인 PCR, 부하(저항, 리액터)등이 설치되어 있다.

그림 2는 풍력발전 시뮬레이터를 시험하기 위한 회로이다. 풍력발전 시뮬레이터는 PCU와 Wind Turbine, 그리고 VVVF 인버터로 구성된다. Wind Turbine을 구성하는 전동기와 발전기는 중속기에 의한 변환 없이 직접 연결된 구조이다. 전동기의 정격 출력은 1.5MVA, 전압은 6600V이고, 발전기 전압이 690V이므로 계통에 연계하기 위하여 690V/22.9kV의 승압 변압기를, VVVF 인버터는 6600V이므로 6600V/22.9kV

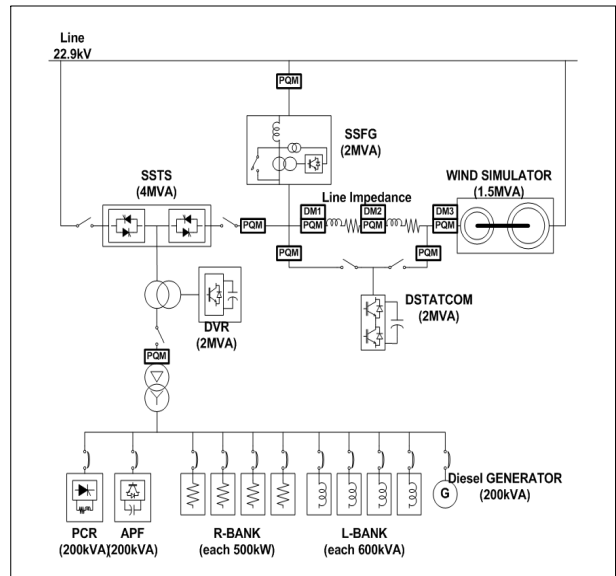


Fig. 1 System configuration of Power Quality Test Center

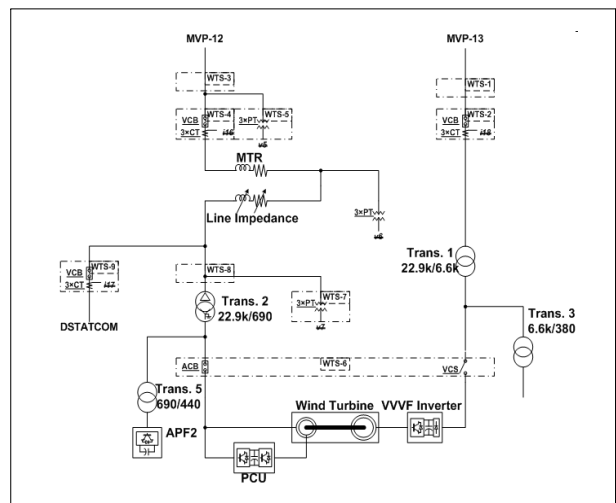


Fig. 2 Single-line diagram of wind power simulator

변압기를 사용하였다. 선로 임피던스는 풍력발전기가 계통에 연계될 때 주변압기의 누설을 모의하는 MTR과 선로의 길이에 따른 임피던스를 모의하는 Line Impedance로 구성된다.

3. 풍력발전 시뮬레이터 구현

3.1 풍력발전 시뮬레이터 구성

그림 3은 풍력발전 시뮬레이터의 구성도 이다. 풍속 데이터를 VVVF(Variable Voltage Variable Frequency) 인버터 구동에 필요한 지령데이터로 변환하는 Wind Turbine 시뮬레이터, Wind Turbine 시뮬레이터로부터 받은 지령치 만큼의 출력을 발생하며, 풍력발전기의 Blade 역할을 하는 전동기와 VVVF 인버터, 풍력발전 시스템 내부에 설치된 발전기 운전을 모의하기 위한 발전기와 이중여자 유도형 풍력발전기를 모의하기 위한 PCU(Power Conditioner Unit)로 구성되어 있다⁽²⁾.

가상 블레이드(Virtual Blade)는 설정된 블레이드 파라미터에 따라서 블레이드의 동특성을 계산하고 이때 블레이드의 피치각은 가상 풍력발전 시스템의 기계부분 제어기에서 제어한다. 가상 블레이드의 출력은 전동기의 토크 기준값으로 인버터(VVVF Inverter)에 공급되고 인버터는 전동기의 토크를 제어한다.

권선형 유도기의 회전자를 단락하여 사용할 경우 고정속도 방식의 풍력발전기를 모의할 수 있고, 회전자를 개방하여 사

용할 경우 가변속도 방식인 이중여자 유도형 풍력발전기를 모의할 수 있도록 설계하였다. 또한 고정속도 방식을 모의하기 위하여 고정자의 돌입 전류를 억제하는 소프트 스타터를 설치하였고, 가변속도 방식을 모의하기 위하여 컨버터 세트와 발전기 제어기(DFIG Controller)를 사용하였다.

3.2 풍력발전 제어 시스템

이중여자 유도형 풍력발전기의 전기부분 제어기는 그림 4와 같이 구성하였다. 전류 제어기는 MSC와 GSC가 동일한 구조로 되어 있고 상위 제어기 중에서 발전기 출력 제어(Generator Power Control)는 발전기의 유효전력을 제어하고 무효전력 제어(Reactive Power Control)는 풍력발전 시스템 전체의 무효전력을 제어한다⁽³⁾. 직류단 전압 제어(DC Voltage Control)은 직류단 전압을 제어한다.

3.3 풍력발전량 제어

풍력발전 시뮬레이터의 발전량 제어 모드는 다음과 같이 3가지로 설정하였다.

첫째는 계통 운영자가 풍력발전기의 발전량을 제한하려고 할 경우 사용하기 위한 계통 운영자 모드이다. 이때, 풍력발전기의 발전량은 계통 운영자의 지령값에 따라서 제어된다.

둘째는 발전기의 유효전력을 제어하는 모드이다. 발전기의

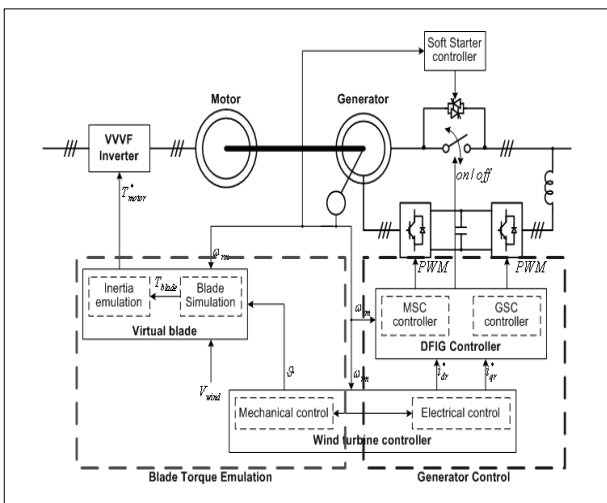


Fig. 3 diagram of wind power simulator

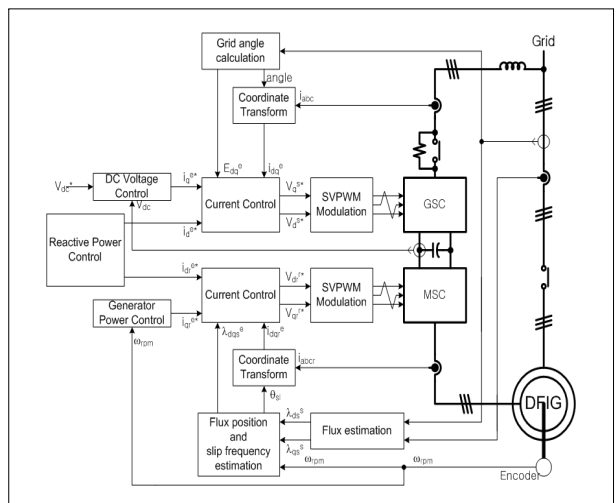


Fig. 4 Control block diagram of wind power generator

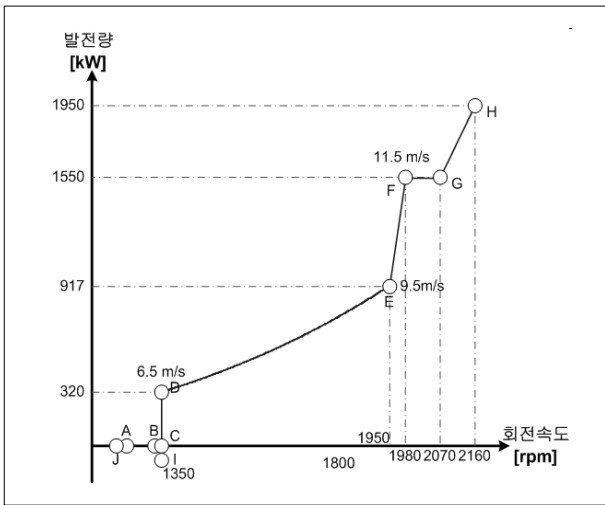


Fig. 5 Wind power generation curve

회전속도에 따라서 사전에 결정된 관계 곡선에 따라서 발전기의 유효전력을 제어한다. 그림 5는 회전속도에 따른 발전기의 출력 곡선이다. 그림 5에서 포인트 D에서 H까지가 유효전력 제어 모드이다. 구간별로 살펴보면 구간 D-E는 풍력발전기의 최대 출력점을 추종하는 최대 출력점 추종하는 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어 구간이고, 구간 E-F는 회전속도에 따라서 발전량을 증가시키는 구간이며, 구간 F-G는 발전량을 정격인 1550kW로 일정하게 유지하게 한다. 포인트 F에서 블레이드의 출력을 제한하기 위하여 피치 제어가 동작한다. 구간 G-H는 돌풍 등에 의해서 발전기의 회전속도가 급격하게 증가할 때 발전량을 증가시키는 구간이다.

셋째는 발전기의 회전속도를 일정하게 제어하는 모드이다. 그림 5에서 구간 D-I로서 풍속이 6.5m/s이하인 경우에 발전기의 회전속도를 1350rpm으로 일정하게 제어한다.

3.4 가변풍속 설정

풍력발전 시뮬레이터를 실제 풍속 조건에서 운전하기 위해서는 2초 이내의 짧은 주기로 측정된 가변풍속 데이터가 필요하다. 그러나, 풍속을 측정하기 위해서 별도의 장비를 설치해야 하고, 원하는 조건의 풍속을 측정하는 것이 어렵기 때문에 기상청에서 제공하는 데이터를 활용하였다. 기상청에서는 해양 기지에서 측정된 1시간 평균 풍속과 gust에 의한 최대 풍속 정보를 인터넷을 통하여 공개하고 있다. 본 논문에서는 서해 덕적도에서 측정된 데이터를 활용하여 3가지 가변 풍속

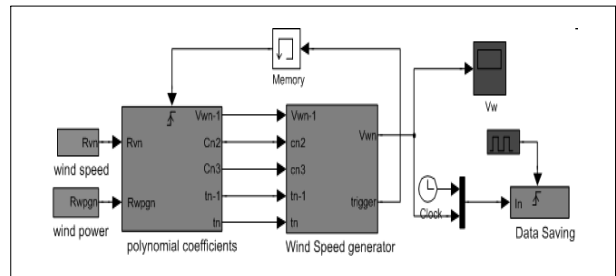


Fig. 6 Simulation model of variable wind speed

패턴을 생성하였다. 3가지 가변풍속 패턴은 3분동안의 풍속 변화를 모의하였으며, 풍속 변화는 2초주기로 반영하였다.

그림 6은 평균 풍속과 gust정보를 입력하여 가변 풍속 패턴을 발생시킨 시뮬레이션 모델이다. 첫 번째 가변풍속 패턴1은 평균 풍속 6m/s이고, gust에 의한 최대 풍속이 7.7m/s인 경우이고 두 번째 패턴2는 평균 풍속은 12m/s이고 gust에 의한 최대 풍속이 16m/s인 경우이다. 풍력발전 시뮬레이터의 정격 풍속이 11.5m/s이므로 발전기가 대부분 정격 이상에서 동작한다. 세 번째 패턴3은 평균 풍속은 6m/s와 12m/s로 교대로 변경하는 경우를 가정하였다. 풍속으로 장기간 운전할 때 풍력발전기의 회전속도에 대한 출력 특성을 확인할 수 있다.

4. 풍력발전 시뮬레이터 실험결과

4.1 측정포인트와 측정변수

그림 7은 풍력발전 시뮬레이터를 시험하면서 측정하기 위한 측정 포인트와 측정 변수를 나타낸 것이다. SSFG의 출력단을 무한 모선이라고 가정하여 Grid라고 표현하였고 무한 모선에 연결된 변압기의 누설을 모의한 MTR(R:0.1746Ω, L:0.463mH)의 출력단은 Station, 풍력발전이 계통에 연결

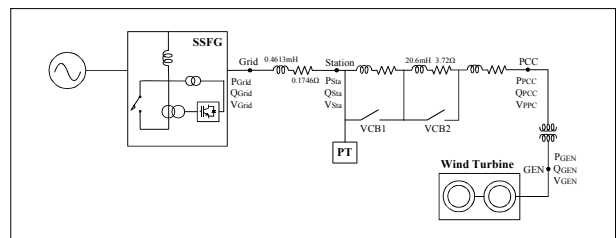


Fig. 7 Measuring point for Simulator experimentation

되는 점은 PCC, 그리고 22.9kV/690V 변압기의 저압측은 Gen으로 표시하였다. 각 측정점에서는 유·무효전력과 전압을 측정한다.

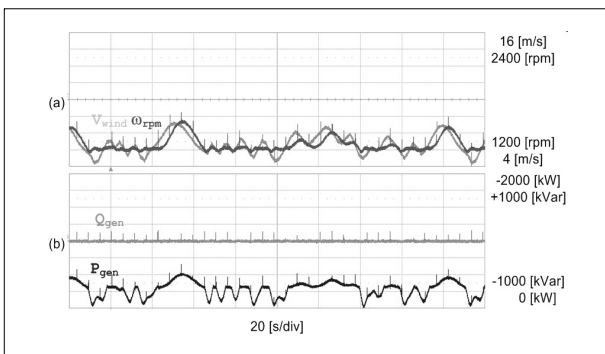
4.2 시뮬레이터 실험결과

본 연구에서 계통연계 된 풍력발전 시뮬레이터의 풍력발전 성능을 검증하고, 가변 풍속에서의 이중여자 풍력발전기의 회전속도와 유효전력의 변화가 계통에 미치는 영향을 분석하기 위하여 채택한 시뮬레이션은 선로정수를 20km, 40km로 가정하여 가변 풍속에서의 패턴1과 패턴2에 의해서 모의하고, 유효전력은 발전량 제어방식에 따라 동작하고 무효전력은 역률 '1'로 제어한다.

그림 8과 그림 9는 선로 임피던스가 20km, 풍속은 가변풍속 패턴 1인 경우의 시험 결과이다.

그림 8(a)와 같이 풍속이 변동할 때 이중여자 유도형 풍력발전기의 경우 블레이드에서 변환된 기계적 에너지 일부가 다시 블레이드의 회전에너지로 변환된다. 즉, 풍속이 급격하게 변화여도 발전기의 유효전력은 서서히 변동하고, 블레이드의 기계적 출력과 발전기 유효전력의 차이만큼 회전속도가 변동한다.

그림 8(a)에서 풍속이 6.5m/s이하인 경우 발전기의 회전속도를 1350rpm으로 일정하게 제어하기 때문에 풍속 변화가 발전량 변화로 직접 연결된다. 그러나 풍속이 6.5m/s를 넘어서면 최대 출력점 추종 제어로 전환되기 때문에 풍속이 변동해도 발전량은 서서히 변하게 된다.



(a) 발전기 회전속도 ω_{rpm} 와 풍속 V_{wind}
(b) 풍력발전기 유효전력 P_{gen} 과 무효전력 Q_{gen}

Fig. 8 Variable wind speed pattern 1 of DFIG (20 km, Generator)

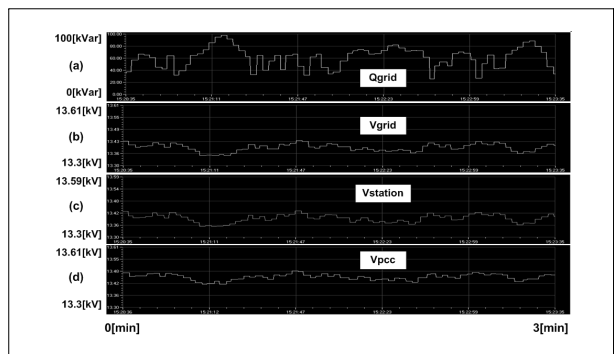
그림 8(b)에서 발전기의 유효전력이 제어에 의해서 변동해도 무효전력은 항상 역률 '1'로 제어된다.

그림 9는 그림 8과 같이 발전기가 동작할 때 계통에 미치는 영향을 관측한 파형이다. 측정점 Grid의 유효전력은 그림 8(b)와 거의 동일하기 때문에 별도로 표시하지 않았다. Grid의 유효전력이 최저인 경우 Grid의 무효전력은 36kVar 정도 된다. 직입 기동형 풍력발전기와는 다르게, 이중여자 유도형 풍력발전기는 무효전력을 제어할 수 있고, 그림 8에서 설명한 것과 같이 현재는 역률 '1'로 제어되기 때문에 Grid의 무효전력은 선로임피던스와 변압기에서 소비되는 무효전력이다. Grid의 유효전력이 500kW까지 증가해도 Grid의 무효전력은 98kVar정도 된다.

유효전력이 최저인 경우 Grid의 상전압은 13.43kV, Station의 상전압은 13.43kV, PCC의 상전압은 13.41kV이다. 선로임피던스에서 모의하는 MTR leakage가 20km 선로 임피던스에 비하여 작기 때문에 Grid와 Station의 상전압은 거의 동일하다. 유효전력이 최대인 경우 Grid의 상전압은 13.35kV(유효전력 최저점에 비교해서 0.08kV 강하됨), Station은 13.36kV(99.5%), PCC는 13.35kV(99.4%)이다. 풍력발전기의 역률을 1로 제어하기 때문에 선로에 흐르는 전류의 크기가 작고 전압 변동도 거의 없다.

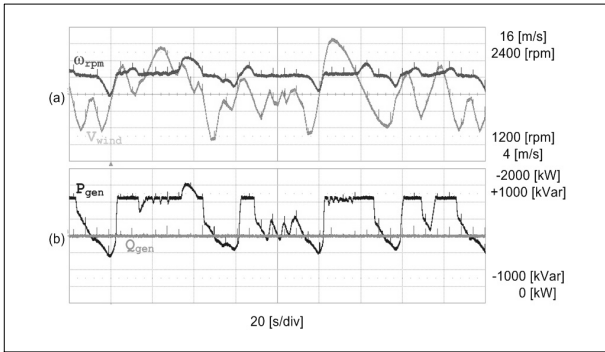
그림 10과 그림 11은 가변 풍속 2, 선로 임피던스 20km에서의 시험 결과이다.

그림 10에서 풍속 변화는 급격하지만 회전속도는 풍속 변화보다 느리고 부드럽게 변동한다. 유효전력은 발전량 곡선에 따라서 제어되기 때문에 유효전력의 변화 패턴은 회전속



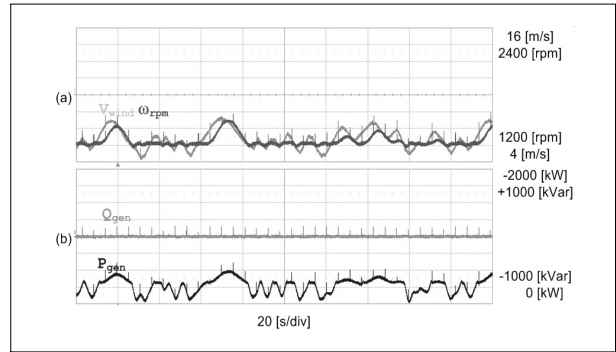
(a) Grid 무효전력 (b) Grid 상전압
(c) Station 상전압 (d) PCC 상전압

Fig. 9 Variable wind speed pattern 1 of DFIG (20 km, Line)



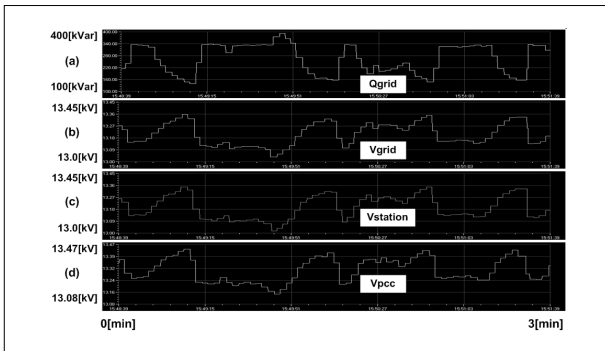
(a) 발전기 회전속도 ω rpm와 풍속 Vwind
(b) 풍력발전기 유효전력 Pgen과 무효전력 Qgen

Fig. 10 Variable wind speed pattern 2 of DFIG (20 km, Generator)



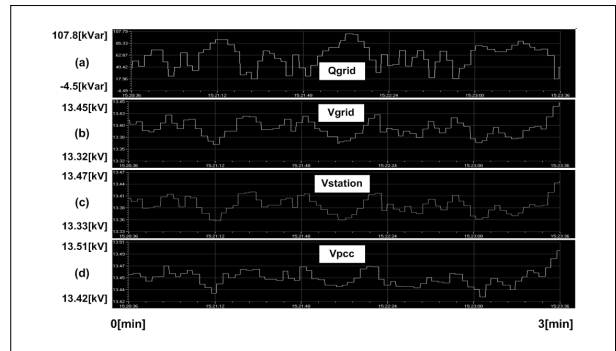
(a) 발전기 회전속도 ω rpm와 풍속 Vwind
(b) 풍력발전기 유효전력 Pgen과 무효전력 Qgen

Fig. 12 Variable wind speed pattern 1 of DFIG (40 km, Generator)



(a) Grid 무효전력 (b) Grid 상전압
(c) Station 상전압 (d) PCC 상전압

Fig. 11 Variable wind speed pattern 2 of DFIG (20 km, Line)



(a) Grid 무효전력 (b) Grid 상전압
(c) Station 상전압 (d) PCC 상전압

Fig. 13 Variable wind speed pattern 1 of DFIG (40 km, Line)

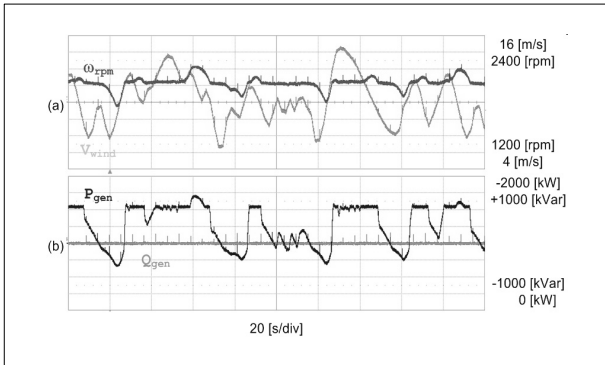
도 변화 패턴과 유사하다. 이 경우에도 무효전력은 역률 1로 제어된다.

그림 11은 선로 임피던스의 각 부분 전압이다. 유효전력이 최저인 경우 Grid의 무효전력은 142kVar 정도 된다. 이때 Grid의 상전압은 13.33kV, Station의 상전압은 13.33kV(기준), PCC의 상전압은 13.38kV(100.4%)이다. 유효전력이 최대가 되면 Grid의 무효전력은 394kVar 정도 된다. 유효전력이 증가하기 때문에 선로 임피던스에 흐르는 전류가 증가하게 되고 무효전력도 같이 증가한다. Grid의 상전압은 13.05kV(유효전력 최저점에 비하여 0.28kV 강하됨), Station의 상전압은 13.01kV(97.6%), PCC의 상전압은 13.10kV(98.3%)이다. 유효전력이 증가하면 무효전력도 증가하기 때문에 선로 임피던스의 전압이 감소하게 된다.

그림 12와 그림 13은 가변 풍속 1에서의 실험 결과이다. 발전기의 유효전력은 발전량 곡선에 따라서 운전되고, 무효전

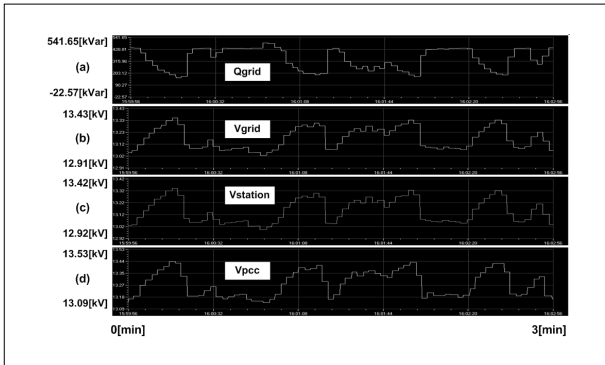
력은 역률 '1'로 제어된다. 유효전력이 최저인 경우 Grid의 무효전력은 18kVar, 상전압은 13.42kV 정도이다. Station 상전압은 13.42kV(기준), PCC 상전압은 13.41kV(99.9%)이다. 유효전력이 최대가 되면 Grid 무효전력은 105kVar, 상전압은 13.37kV(유효전력이 최저인 경우에 비교하면 0.05kV 강하), Station 상전압은 13.36kV(99.6%), PCC 상전압은 13.38kV(99.7%)이다.

그림 14와 그림 15는 가변 풍속 2에서의 실험 결과이다. 발전기의 유효전력이 최저인 경우 Grid의 무효전력은 157kVar, 상전압은 13.35kV이다. Station 상전압은 13.34kV(기준), PCC는 13.36kV(100.1%)이다. 유효전력이 최대인 경우 Grid 무효전력은 494kVar 정도 된다. 선로정수 20km의 결과와 비교하면 비슷한 유효전력에서 선로 임피던스가 20km에서 40km로 증가하면서 무효전력도 394kVar에서 494kVar로 증가하였다.(단 본 논문에서는 선로정수 20km의 결과과형을



(a) 발전기 회전속도 ω_{rpm} 와 풍속 V_{wind}
 (b) 풍력발전기 유효전력 P_{gen} 과 무효전력 Q_{gen}

Fig. 14 Variable wind speed pattern 2 of DFIG (40 km, Generator)



(a) Grid 무효전력 (b) Grid 상전압
 (c) Station 상전압 (d) PCC 상전압

Fig. 15 Variable wind speed pattern 2 of DFIG (40 km, Line)

생략) 즉, 선로 임피던스에서 소비하는 무효전력이 증가하였다. 유효전력이 최대인 경우 Grid 상전압은 13.02kV(유효전력 최저점에 비하여 0.33kV 강하), Station 상전압은 13.00kV (97.5%), PCC 상전압은 13.08kV(98.1%)이다.

4.3 통합운전 결과 분석

이중역자 유도형 풍력발전 시뮬레이터를 가변 풍속에서 실험하여 얻은 데이터는 표 1에 정리하였다. 데이터는 디지털 미터를 사용하여 측정하였으며, 전압의 경우 오차 범위 이내의 변화를 보이기 때문에 절대 값 보다는 각 측정점 사이의 전압차에 주목해야 한다.

그림 8에서 그림 15 그리고 표 1을 종합하여 분석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 풍력발전기의 유효전력 변화에 대한 대책이 요구된다. 그림에서 보이는 것과 같이 풍력발전기의 유효전력은 풍속의 변화에 따라서 변동한다. 만일 항상 최대 출력점에서 운전한다면 우리나라와 같이 풍속과 풍향 변화가 심한 곳에서는 계통의 전력품질에 악영향을 끼친다. 풍력발전기의 유효전력 변화를 제한하는 방법으로 두 가지를 고려할 수 있다. 한 가지는 풍력발전기의 발전량을 매순간 발전 가능한 최대 발전량의 수십%로 제한하고 풍속이 급변해도 발전량은 서서히 변화시키는 방법이다. 이 방법을 도입할 경우 계통을 안정적으로 운영할 수 있지만, 발전사업자에게 발전하지 않은 전

Table 1. Comparison of DFIG reactive power and voltage with Variable wind speed

| 선로 | 시험조건 | | PCC 상전압 [kV] | 차이 [kV] | Station 상전압 [kV] | 차이 [kV] | Grid | |
|-------|------|------|--------------|---------|------------------|---------|----------|-------------|
| | 풍속 | 유효전력 | | | | | 상전압 [kV] | 무효전력 [kVar] |
| 20 km | 풍속 1 | 최소 | 13,41 | 0,02 | 13,43 | 0 | 13,43 | 36 |
| | | 최대 | 13,35 | 0,01 | 13,36 | -0,01 | 13,35 | 98 |
| | 풍속 2 | 최소 | 13,38 | -0,05 | 13,33 | 0 | 13,33 | 142 |
| | | 최대 | 13,10 | -0,09 | 13,01 | 0,04 | 13,05 | 394 |
| | 풍속 3 | 최소 | 13,42 | 0,01 | 13,43 | 0 | 13,43 | 34 |
| | | 최대 | 13,10 | -0,09 | 13,01 | 0,03 | 13,04 | 420 |
| 40 km | 풍속 1 | 최소 | 13,41 | 0,01 | 13,42 | 0 | 13,42 | 18 |
| | | 최대 | 13,38 | -0,02 | 13,36 | 0,01 | 13,37 | 105 |
| | 풍속 2 | 최소 | 13,36 | -0,02 | 13,34 | 0,01 | 13,35 | 157 |
| | | 최대 | 13,08 | -0,08 | 13,00 | 0,02 | 13,02 | 494 |
| | 풍속 3 | 최소 | 13,44 | -0,01 | 13,43 | 0,01 | 13,44 | 91 |
| | | 최대 | 12,99 | -0,05 | 12,94 | 0,02 | 12,96 | 540 |

력량을 보상할 수 있는 대책이 필요하다. 다른 방법은 풍력발전기의 출력단에 에너지 저장 장치를 설치하는 것이다. 축전지 에너지 저장 장치(BESS, Battery Energy Storage System)가 대표적인 에너지 저장 장치이다. 에너지 저장 장치는 유효전력의 흡수/공급을 통하여 풍력발전기의 급격한 발전량 변화를 보상할 수 있다. 에너지 저장 장치는 계통 운영자가 도입하는 것이 바람직하며, 무효전력 제어를 통하여 계통의 전력 품질을 능동적으로 제어할 수 있고, 스마트 그리드가 도입되었을 때 다양하게 활용 할 수도 있다.

둘째, 계통 운영자의 입장에서 풍력발전기의 무효전력 제어에 대한 방안이 요구된다. 풍력발전기는 무효전력을 '0'으로 제어할 때 가장 높은 효율을 얻을 수 있다. 그러나 실험 결과에서 확인할 수 있는 것과 같이 풍력발전기의 무효전력을 '0'으로 제어해도 계통선로에서 무효전력을 소비하기 때문에 풍력발전기의 발전량에 따라서 선로의 무효전력과 전압이 변동한다. 최근 국내에 설치되는 풍력발전기는 전력변환장치를 사용하기 때문에 무효전력을 독립적으로 제어할 수 있다. 계통 선로의 전압을 안정적으로 운영하기 위해서 풍력발전기의 무효전력을 제어하는 것이 필요하다. 풍력발전기 무효전력의 제어 방법과 범위에 대한 계통운영자와 풍력발전 사업자 사이의 합의가 선행되어야 한다.

5. 결론

본 논문에서는 전력품질 실증시험장에 설치된 1.5MW급 풍력발전 시뮬레이터를 이용하여 계통에 연계된 풍력발전기가 계통에 미치는 영향을 분석하였다. 풍력발전 시뮬레이터에는 풍력발전기의 제어기를 구현하였으며, 풍력발전기의 관성특성을 모의할 수 있도록 하였다. 또 풍력발전 시뮬레이터를 가변 풍속으로 운전하여 실제 풍력발전기의 유효전력 특성을 모의하였다. 풍력 시뮬레이터와 계통 사이에는 수십 km

의 송전 선로를 모의할 수 있는 선로모의용 임피던스를 설치하여 풍력발전기가 계통에 미치는 영향을 모의할 수 있도록 하였다. 풍력발전 시뮬레이터를 통하여 가변 풍속에서 풍력발전기의 특성을 분석하였으며, 풍력발전기가 계통에 미치는 영향을 분석하였다. 시뮬레이터 실험 결과는 풍력발전기를 계통에 설치할 때 계통연계 기준의 보완, 풍력발전기가 설치된 계통의 전력 품질 향상 대책, 그리고 대규모 풍력발전 단지가 계통에 도입될 경우 풍력발전 단지의 운영 방안 수립 등에 활용할 계획이다.

후 기

본 연구는 지식경제부에서 시행한 전력산업연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] 최영도, 박노홍, 전영수, 전동훈, "풍력발전 계통연계시 선로 정수에 따른 계통영향", C. of KIEE, pp. 64, 2008.
- [2] 최영도, 전영수, 전동훈, 신정훈, "계통연계형 풍력발전 시뮬레이터 개발", ksnre, pp. 92, 2009.
- [3] 정병창, 송승호, "이중여자 유도형 가변속 풍력발전기 제어 기술", 전력전자학회지, Vol. 11, No. 1, pp. 19-25, 2006.
- [4] 김슬기, 김은상, "계통연계형 가변속 풍력발전방식의 PSCAD/EMTDC 모의 및 해석", 전기학회 논문지, 52B권 8호, 2003년 8월.
- [5] A. D. Hansen, F. Iov, P. Soerensen, F. Blaabjerg, "Overall Control Strategy of Variable Speed Doubly-Fed Induction Generator Wind Turbine", 2004 Nordic Wind Power Conference, March 2004.

최영도



2000년 명지대학교 전기공학과 공학사
2002년 명지대학교 전기공학과 공학석사
2005년 한국전력공사 입사

현재 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소 선임연구원
(E-mail : zeroway@kepri.re.kr)

전영수



1983년 성균관대학교 전기공학과 공학사
1997년 충남대학교 전기공학과 공학석사
1987년 한국전력공사 입사

현재 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소 책임연구원
(E-mail : ysjeon@kepri.re.kr)

전동훈



1991년 홍익대학교 전기공학과 공학사
1993년 홍익대학교 전기공학과 공학석사
1994년 한국전력공사 입사

현재 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소 선임연구원
(E-mail : dhjeon@kepri.re.kr)

신정훈



1993년 경북대학교 전기공학과 공학사
1995년 경북대학교 전기공학과 공학석사
2006년 경북대학교 전기공학과 공학박사
1995년 한국전력공사 입사

현재 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소 선임연구원
(E-mail : jhshin@kepri.re.kr)

김태균



1986년 한양대학교 전기공학과 공학사
1989년 한양대학교 전기공학과 공학석사
1993년 한양대학교 전기공학과 공학박사
1996년 한국전력공사 입사

현재 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소 책임연구원
(E-mail : tkkim@kepri.re.kr)

정병창



1998년 전북대학교 전기공학과 공학사
2000년 전북대학교 전기공학과 공학석사
2006년 전북대학교 전기공학과 공학박사

현재 LS산전 연구소 선임연구원
(E-mail : changwin@shinbiro.com)