유도발전기식 풍력발전시스템의 STATCOM 적용 타당성 분석

論 文
53A-6-1

Application Feasibility Analysis of STATCOM for Wind Power System with Induction Generator

韓 炳 文* · 李 範 奎** · 全 永 秀*** · 李 光 烈§
(Byung-Moon Han · Bum-Kyoo Lee · Young-Soo Jon · Kwang-Yeol Lee)

Abstract - The wind power is known as the most promising future energy source to obtain the electricity. Induction generator is a simple energy conversion unit in the wind power generation system but it consumes the reactive power from the interconnected power system. Switched capacitor banks are normally used to compensate the reactive power, which bring about the transient overvoltage. This paper proposes a method for compensating the reactive power with STATCOM. A detail simulation model for analyzing the interaction between the wind power system and the commercial power system was developed using EMTDC software. The developed simulation model can be effectively utilized to plan the reactive power compensation for newly designed wind power system.

Key Words : STATCOM, ENTDC, 풍력발전 시스템

1. 서 론

연계운전용 풍력발전에는 유도 발전기와 동기 발전기가 사용되는데 유도 발전기는 계통에 직접 연결되어 있어 전압조정과 위상 조절이 필요하지 않아 전기적 시스템이 비교적 간단하다는 장점이 있다[1]. 그러나 속도 범위가 좁아 풍차의 회전수를 고정시켜주어야 하기 때문에 풍력이용률이 낮고 역률도 낮은 단점이 있다.

유도발전기를 사용하는 경우 낮은 역률을 보상하기 위해 기존의 시스템은 발전기 측에 전력용 커패시터와 스위치로 구성된 뱅크를 달아 무효전력을 보상하였다. 그러나 커패시터 뱅크는 가격은 저렴하지만 동작점이 연속적으로 바뀌는 경우 개폐동작을 빈번하게 일으켜 과전압발생에 따른 차단기의 유지보수 문제를 일으킬 수 있고 실시간 보상이 불가능한 단점이 있다[2].

STATCOM은 선로와 병렬로 연결되어 실시간으로 선로에 무효전류를 주입 또는 흡수함으로써 유도 발전기에서 필요로 하는 무효전력을 발생하고 모선의 전압 안정도를 유지하는 역할을 한다[3,4] 그러나 STATCOM만으로 무효전력을 보상하기에는 STATCOM의 용량이 커지며 고비용 문제가 발생함으로 최대출력으로 운전 시 요구되는 무효전력을 일정값의 커패시터 뱅크로 보상하고 출력저하 시 변동하는 값에 대해서는 STATCOM이 보상하면 실시간으로 무효전력을 보상하여 시스템의 안정도모와 제작비용을 절감할 수 있다는 이점이 있다.

* 正 會 員 : 明知大學 電氣工學科 敎授 · 工博
** 學生會員 : 明知大學 電氣工學科 碩士課程
*** 學生會員 : 明知大學 電氣工學科 碩士課程
§ 正 會 員 : 明知大學 電氣工學科 碩士
接受日字 : 2003年 12月 29日
最終完了 : 2004年 4月 29日

본 논문에서는 이러한 점에 착안하여 750kW급 유도발전기로 구성된 풍력발전시스템에 고정커패시터와 STATCOM으로 무효전력을 효율적으로 보상하는 방법을 제안하고 그 타당성을 분석하기 위해 EMTDC 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션모델을 개발하였다. 개발된 모델의 유용성을 확인하고자 소프트스타터에 의한 유도발전기의 기동을 분석하였고 커패시터뱅크와 STATCOM에 의한 무효전력보상효과를 분석하였다. 또한 대표적인 배전계통을 예로 하여 선로사고 시 유도발전기에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 계통연계 풍력발전 시스템

풍력발전이란 공기의 유동이 가진 운동에너지로 공기역학적 특성을 이용하여 블레이드를 회전시켜 기계적 에너지로 변환시키고 이 기계적 에너지로 발전기를 돌려 전기 에너지를 얻는 것을 말한다.

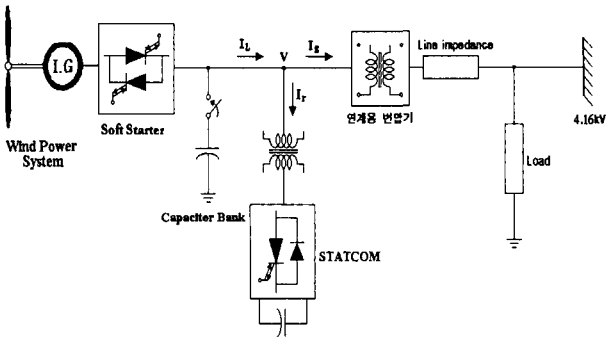


그림 1. 풍력발전 시스템 회로도
Fig. 1. Wind power system diagram

그림 1은 농형 유도발전기를 이용한 풍력발전 시스템의 개념도를 나타낸 것이다. 농형유도발전기는 출력발생시 지상으로 동작하여 연계계통으로부터 무효전력을 흡수한다. 따라서 무효전력의 소모를 보상하기 위해서는 소모되는 무효전력의 양에 알맞게 커패시터와 스위치를 직렬로 연결한 뱅크 다수를 병렬 연결하여 운전 중의 무효전력 소모량에 따라 계단식으로 투입한다.

이럴 경우 동작점이 연속적으로 바뀌어 스위치의 개폐동작을 빈번하게 일으켜 스위치의 유지보수 문제를 일으키고 적은 수의 뱅크를 둘 경우 실시간 보상이 불가능하다. 소용량의 농형유도발전기의 경우 단일 커패시터뱅크를 설치하는 경우도 있다. 본 연구에서는 운전 중 유도발전기가 소모하는 무효전력의 평균치를 일정값의 단일 커패시터뱅크로 보상하고 운전중 수시로 바뀌는 양은 STATCOM으로 보상하는 방법을 제안한다.

3. 풍력발전시스템의 모델

풍력발전을 시뮬레이션 하기위해 PSCAD에서 제공하는 풍력 시스템 모델을 사용하였다[5]. 이것은 실제 풍속과 같이 시간에 따라 변하는 조건 하에서의 발전기 특성을 시뮬레이션에 사용하기 위함이다. 이 풍력발전 모델은 기본 풍속, 바람의 면적, 항력 등을 변수로 입력할 수 있기 때문에 풍력발전이 설치될 곳의 풍속 데이터로 시뮬레이션이 가능하고 그 특성을 간접적으로 알아볼 수 있다.

풍력발전의 풍력터빈 모델인 그림 2(a)는 세 가지 입력변수와 하나의 출력변수가 있다. 세가지 입력변수는 풍속 모델에서 제공되는 풍속값(WS)과 조속기에서 출력되는 피치각 β값(beta), 그리고 발전기의 속도(W)를 입력으로 받는다. 이 세가지 입력값을 통해서 풍속에 따른 발전기의 토크값(Pm)을 출력하게 된다. 풍력터빈 모델에서 수행되는 풍속과 피치각 β에 따른 발전기 출력토크 연산은 식(1)~(4)에 의해 수행된다.

$$\lambda = \frac{\omega_H \times R}{v_w} \tag{1}$$

여기서, λ : tip speed ratio, ω_H : hub 속도(rad/sec),
R : blade 반경, v_w : 바람속도(m/s) 이다.

$$c_p \cong (0.44 - 0.0167 \times \beta) \times sin\left[\frac{\frac{\pi}{2} \times (\lambda - 3)}{7.5 - 0.15 \times \beta}\right] - (\lambda - 3) \times 0.00184 \times \beta \tag{2}$$

여기서, c_p : 출력계수, β : pitch angle in degrees 이다.

$$P_w = \frac{1}{2} A \rho c_p v_w^3 \tag{3}$$

여기서, ρ : 공기밀도, P_w : 출력파워 이다.

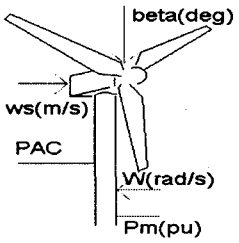
$$T_w = \frac{P_w}{w_H} = \frac{1}{2} AR\rho \frac{c_p}{\lambda} v_w^2 \tag{4}$$

풍력터빈 모델은 피치각 제어 유·무와 Cut-in velocity, rated velocity, Cut-out velocity 값 등이 내부 변수로 설정이 가능하므로 여러 형태의 풍력터빈 모델을 모의할 수가 있다.

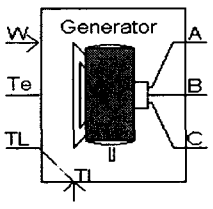
그림 2(b)는 농형 유도발전기로써 A, B, C 단자는 계통에 연결되는 발전기의 3상 출력 전원을 나타내며, W와 Te, 그리고 TL은 발전기의 출력을 제어하는 외부 입력과 출력단자를 나타낸다. 여기서 W는 회전 속도를 P.U 값으로 입력받고, TL은 기계적 토크 값을 입력받는다. 이것은 풍력 시스템으로부터의 운동에너지를 의미한다. 또한 Te는 유도발전기의 전기적 출력 토크값을 나타낸다.

유도기의 특성상 발전기로 동작하려면 토크 값이 음의 값을 가져야 하므로 풍력터빈모델의 출력인 발전기의 토크값(Pm)에 -1을 곱해서 그 값을 유도발전기 모델의 토크 입력값(TI)으로 사용한다.

동역학에 의한 기기의 특성을 연산하기 위한 Multimass는 유도발전기에 연결되어 터빈에 의해 생성된 기계적 토크 값(TL)과 전기적 토크값(Te)을 통해서 발전기의 속도(W)를 P.U 값으로 유도발전기에 공급한다. 유도발전기를 이용한 풍력발전시스템은 풍속과 풍량에 따라 발전기의 회전속도와 토크의 크기가 변한다. 농형유도기의 경우 발전기의 용량이 주어지면 일반적인 내부변수들이 생성되므로 시뮬레이션 모델로 750kVA 용량의 일반적인 풍력발전기를 선정하였다.



(a) 풍력 터빈 모델



(b) 유도발전기

그림 2. 풍력발전 시스템 모델링
Fig. 2. Wind power system modeling

4. 역률보상용 STATCOM

인버터식 무효전력보상기와 교류계통 사이에 교환되는 무효전력의 양은 인버터 출력전압의 크기에 따라 정해진다. 전압원 인버터를 이용한 무효전력 보상장치를 그림 3에 나타내었다. 이 보상장치는 3상 전압원 인버터와 dc 커패시터로 구성되어 있으며 진상 및 지상 무효전력을 모두 보상할 수 있

다. 이 인버터는 선로 중간점의 전압 V와 위상이 동일한 출력전압 V_0를 발생하고 그 크기는 인버터의 스위칭 각에 의해 조정된다. 따라서 V_0의 신속한 제어가 가능한데, 만일 V_0>V 이면 인버터가 흡수하는 전류는 진상을 갖고, V_0<V이면 인버터가 흡수하는 전류는 지상을 갖는다. 따라서 인버터의 전압 V_0를 최소와 최대값인 V_{0min} =V_0-△V와 V_{max} =V_0+△V 사이에서 적절히 조절하면 무효전력을 연속적으로 지상 최대치에서 진상 최대치까지 변경 가능하다.

인버터가 무효전력보상용으로 쓰일 경우에 이상적이라면 유효전력의 소모가 없으나 실 시스템에서는 스위칭소자에서 발생하는 손실에 따른 보상과 dc 커패시터의 전압유지 때문에 V_0와 V 사이에는 약간의 위상차를 갖는다.

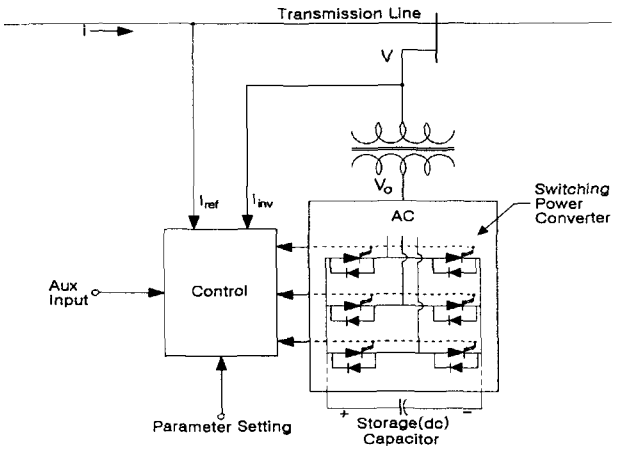


그림 3. STATCOM의 개념도
Fig. 3. Conceptual diagram of STATCOM

STATCOM으로 선로의 역률과 무효전력 보상을 위하여 그림 4와 같은 제어기를 설계하였다. 부하전류와 주입전류를 d-q 변환식을 이용하여 부하전류의 정지좌표 I_{ds}, I_{qs}와 주입전류의 정지좌표 I'_{ds}, I'_{qs}를 식 (5)를 이용하여 구한다.

$$\begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (5)$$

부하전류의 정지좌표 I_{ds}, I_{qs}와 주입전류의 정지좌표 I'_{ds}, I'_{qs}를 모선전압에서 구한 θ를 이용하여 식 (6)을 이용하여 회전변환한다.

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} cos\theta & sin\theta \\ -sin\theta & cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Ids \\ Iqs \end{bmatrix} \quad (6)$$

이렇게 구한 부하전류-I_d, I_q와 주입전류-I'_d, I'_q 중 무효분을 제어하기 위해서는 I_q와 I'_q만 필요로 한다. 그림 4의 무효전류 I_q는 부하전류의 무효분이다. STATCOM이 부하 역률을 개선하기 위해서는 부하전류의 무효분과 크기는 같고 부호가 반대인 무효분의 전류를 공급하여야 한다. 따라서, STATCOM의 출력 기준전류 I_q^*는 - I_q가 되며 역시 I_q^*와 I'_q의 차는 PI 전류제어기를 거쳐 인버터 출력전압의 점호각 α^*를 형성한다.

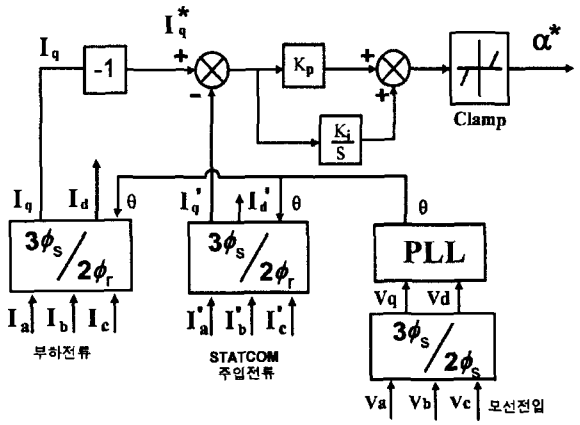


그림 4. STATCOM 제어블럭도
Fig. 4. Control diagram of STATCOM

5. EMTDC 시뮬레이션

5.1 연계 배전계통 모델

풍력발전 시스템이 연계된 배전계통은 용량이 5000kVA인 변압기와 선간전압이 4.16kV인 IEEE 13-bus를 기반으로 구성하였다.[6] 이 배전계통은 분산부하와 집중부하들로 구성되어 있으며 분산부하의 경우 편의상 앞단 버스에 집중 부하의 형태로 연결된 것으로 가정하였다. 그리고 풍력발전 시스템은 bus 75에 연결하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 5는 풍력발전 시스템이 연결된 IEEE 13-bus 배전계통의 단선도를 나타낸 것이다.

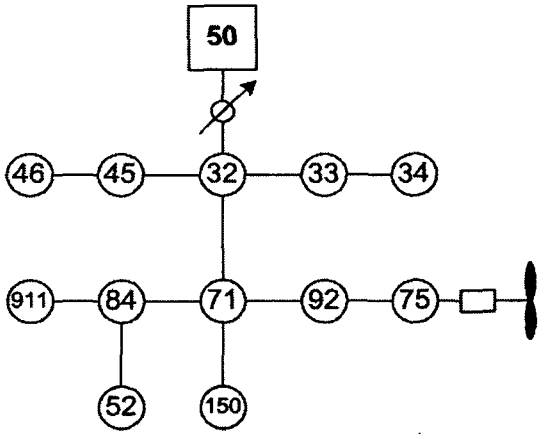


그림 5. IEEE 13 BUS 배전계통
Fig. 5. IEEE 13-BUS distribution system

5.2 시뮬레이션 전체 모델

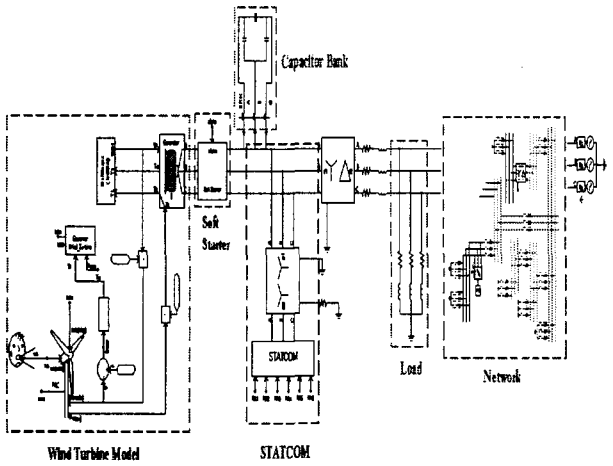


그림 6. EMTDC 시뮬레이션 모델
Fig. 6. EMTDC simulation model

표 1. 시스템 회로정수
Table 1. System parameters

발전기 (Induction Gen.)	발전기 용량	750 [kW]
	전 압	690 [V]
	전 류	1 [kA]
부 하	부 하 용 량	420 [kVA]
	역 률	0.84
계통 연계용 변압기 (Y-△결선)		0.69 : 4.16
계 통 전 압		4.16 [kV]
캐패시터 뱅크 용량	캐패시터 단독구동	550 uF △ 결선
	캐패시터-STATCOM	400,200,100 uF △ 결선

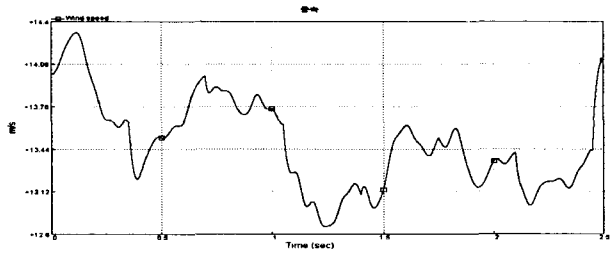
풍력 발전용 유도발전기와 연계된 소프트 스타터와 STATCOM의 성능을 검증하기 위해서 다음과 같은 시나리오로 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 총 2.5초간 하였으며, 1초 후 STATCOM을 동작시켰다. 먼저 풍력 발전 동작이 정확히 수행되는지 알아보기 위한 결과 파형들을 살펴보고, 발전기 기동 시 소프트 스타터의 동작 상태, 유도 발전기에 의한 무효전력을 제거하기 위한 STATCOM의 동작 상태와 STATCOM이 연결된 선로의 전, 후 무효전력 상태, 그리고 커패시터 뱅크의 유, 무에 따른 STATCOM의 보상용량 등을 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

5.3 풍력발전 시뮬레이션 결과

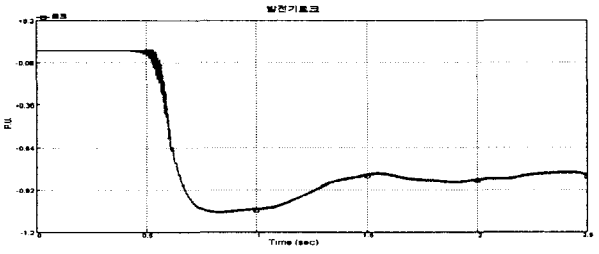
그림 7(a)의 파형은 풍속이며 터빈의 제한 풍속은 Cut in velocity 3.5 m/s, Cut out velocity 20 m/s, Rated velocity 14 m/s로 설정하였으며, 정격속도 주위에서 풍속이 발생하도록 설정하였다. 이 풍속을 받아 피치각 조절을 하여 얻은 발전기 토크가 그림 7(b)이다. 유도기의 특성상 발전기로 동작을 하려면 토크 값이 음의 값을 가져야 하므로 풍력터빈에서 받은 토크 값에 -1을 곱하여 발전기로 보낸다.

소프트 스타터가 없다면 유도기가 풍력에 의해 회전하기 시작하면서 동기속도 이상으로 돌기 전까지 전동기 동작을 하기 때문에 초기토크 값은 양의 수를 갖게 되어 발전기도 유효전력을 흡수하게 되나 소프트 스타터로 인해 유도기가 발전기동작을 할 때까지 발전기로의 유효전력 유입을 정격미만으로 제한한다.

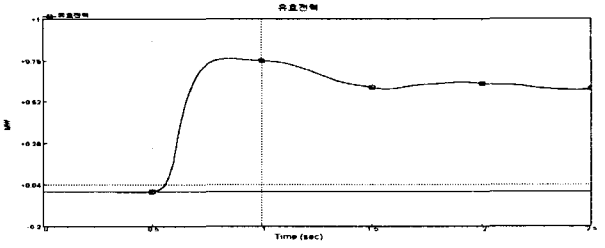
그림 7(c)와 7(d)는 발전기의 유·무효전력 파형이다. 유효전력 750kW를 계통으로 보내는 것을 볼 수 있으며 이는 계통 연계용 변압기를 통해 4.16kV의 배전계통에 전력을 보낸다. 풍력발전으로 생성된 750kW중 선로 손실과 부하에 의해 소비된 전력 420kW를 뺀 나머지 전력 330kW를 계통으로 보내게 된다.



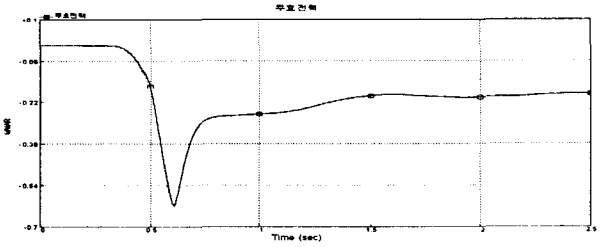
(a) 풍속



(b) 발전기 토크



(c) 발전기 유효전력

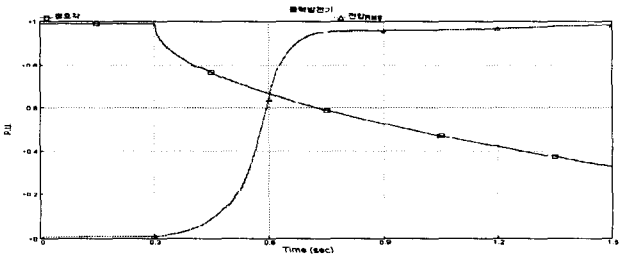


(d) 발전기 무효전력

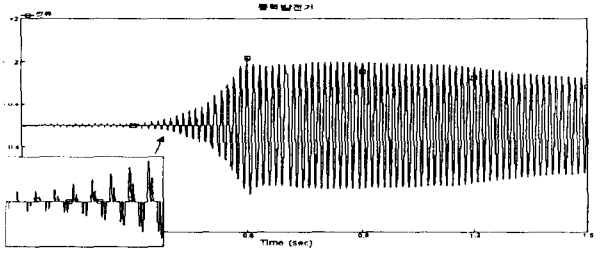
그림 7. 풍력발전 시스템 시뮬레이션
Fig. 7. Wind power system simulation results

5.4 소프트 스타터(Soft starter)

풍력발전의 문제 중 하나는 발전기가 배전계통에 연계될 때 과도현상으로 인해 플리커 현상이 발생될 수 있으며 강인하지 못한 배전계통에서는 더욱 그 현상이 두드러진다. 이런 문제점은 전력을 공급받는 수용가에게 악영향을 미친다. 전기적인 관점에서 보면 과전류와 전압강하가 발생될 수 있다. 이 문제는 풍력발전기의 기계적인 손상을 가져온다. 소프트 스타터는 이러한 문제점을 해결하기 위해 사용되고 있는 방식이다. 그림 8(a)는 소프트 스타터의 점호각과 발전기 출력 전압의 실효값이다. 점호각의 증가에 따라 전압의 값이 1pu. 로 서서히 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 그림 8(b)는 소프트 스타트 기법을 사용했을 때의 전류 파형이다. 발전기 투입 시 초기 전류가 소프트 스타터에 의해 점진적으로 증가하여 발전기가 정상상태에 도달할 때에 맞추어 전류가 안정되고 있다.



(a) 점호각과 실효치 전압



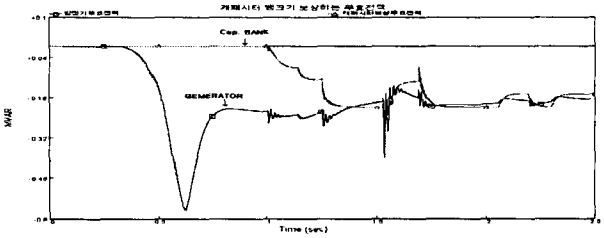
(b) 발전기 출력전류

그림 8. 소프트 스타터 시스템 시뮬레이션

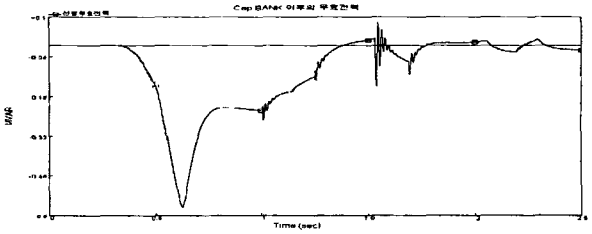
Fig. 8. Simulation results of the soft-starter

5.5 커패시터 뱅크에 의한 보상

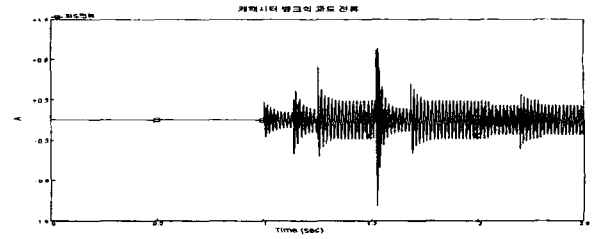
선로에 커패시터 뱅크가 연결되어 있는 풍력발전 시스템은 발전기가 흡수하는 무효전력의 양에 따라 커패시터 뱅크를 스텝입력으로 투입, 차단하므로써 무효전력을 보상하게 된다. 그림 9(a)는 발전기 무효전력 파형과 커패시터 뱅크 보상 무효전력의 파형이다. 커패시터 뱅크를 스텝입력으로 주기 때문에 순시적으로 정확한 무효전력 보상이 이루어지지 않는다. 그림 9(b)는 커패시터 뱅크 보상에 따른 선로무효전력 파형이다. 그림 9(c)는 커패시터 뱅크의 투입에 따른 과도전류 파형이며 이 전류로 인해 커패시터 뱅크는 스트레스를 받게 된다.



(a) 발전기와 커패시터 뱅크 무효전력



(b) 선로 무효전력



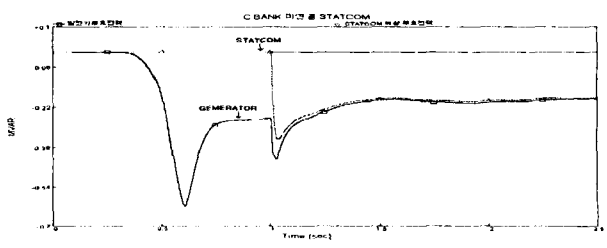
(c) 커패시터 투입, 차단에 따른 과도전류

그림 9. 커패시터 뱅크 보상

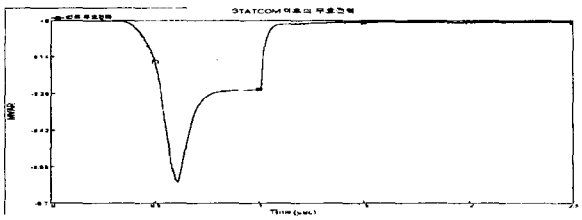
Fig. 9. Reactive power compensation of capacitor bank

5.6 STATCOM에 의한 보상

선로에 커패시터 뱅크가 없이 STATCOM만으로 무효전력을 보상 시에는 STATCOM만으로 무효전력의 모든 용량을 보상해야만 한다. 그림 10(a)는 선로에 커패시터 뱅크가 없는 경우 STATCOM의 발전기 측 무효전력과 STATCOM에서 보상하는 무효전력의 비교파형이다. 그림 9(a)에서와 같이 STATCOM이 무효전력을 잘 추종하며 보상해 주고 있다는 것을 볼 수 있다. STATCOM이 1초에 동작을 시작 할 때 발전기 측의 무효전력은 순간 증가하다 원상태로 돌아온다. 이는 선로의 무효전력과 인버터의 무효전력을 측정하여 보상전류를 내보내는 제어기에 의하여 생기는 것으로 STATCOM이 동작하기 전까지는 인버터에서 내보내는 전류를 측정할 수 없기 때문에 초기투입 시 무효전력이 순간 증가하는 것이다. 그림 10(b)는 STATCOM에 의해 보상된 선로의 무효전력 파형이다.



(a) 발전기와 STATCOM 무효전력



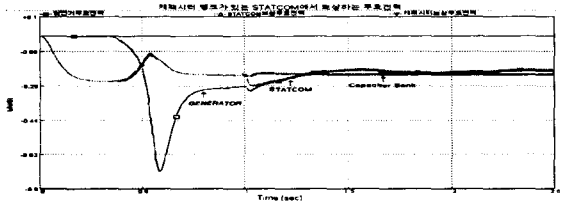
(b) 선로 무효전력

그림 10. STATCOM에 의한 보상

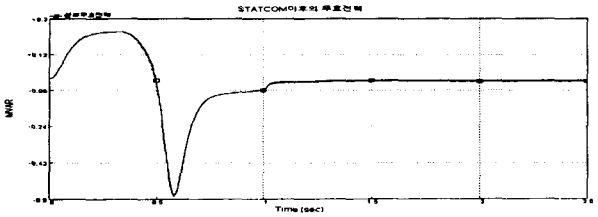
Fig. 10. Reactive-power compensation of STATCOM

5.7 고정커패시터와 STATCOM에 의한 보상

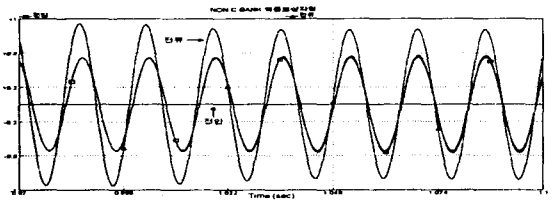
선로에 커패시터뱅크가 연결되어 있는 경우 STATCOM은 발전기가 흡수하는 무효전력의 일정량을 커패시터 뱅크가 보상해 주므로 바교적 적은 양의 무효전력만 STATCOM이 보상해주면 된다. 그림 11(a)는 발전기 무효전력, STATCOM의 보상무효전력, 그리고 커패시터 뱅크 보상 무효전력파형을 나타낸다. 그림 11(a)에서 보는바와 같이 커패시터 뱅크에 의해서 무효전력이 대부분 보상되어있고 STATCOM은 커패시터 뱅크가 보상해주지 못한 여분의 무효전력만을 보상해 주고 있는 것을 볼 수 있다. 커패시터 뱅크가 보상하는 무효전력량은 0.2 MVAR이다. 그림 11(b)는 선로에 커패시터 뱅크와 STATCOM에 의해 보상이 된 선로 무효전력 파형이다. 그림 11(c)는 무효전력 보상에 의한 역률개선을 보여주는 전압과 전류의 파형이다. 1초를 기점으로 무효전력보상 전·후의 전류파형의 위상변화를 확인 할 수 있다.



(a) STATCOM과 캐패시터 뱅크 와 발전기의 무효전력



(b) 선로 무효전력



(c) 역률보상

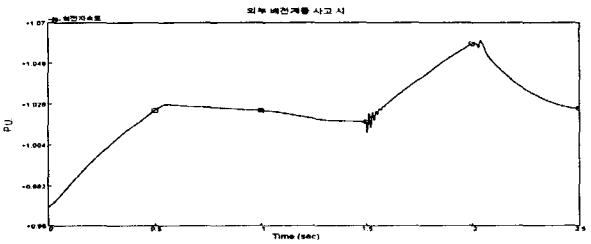
그림 11. 고정커패시터와 STATCOM에 의한 보상

Fig. 11. Reactive-power compensation of static capacitor bank and STATCOM

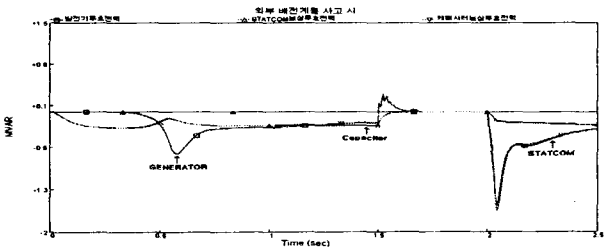
6. 배전계통 사고에 대한 특성 분석

외부 배전계통 사고에 대한 풍력발전의 동특성을 분석하기 위하여 풍력발전이 연계된 그림 5에 보여진 IEEE 13-bus배전계통의 bus84와 bus52 사이에 3상 지락사고를 발생시켰다.

배전계통에서 발생한 사고는 신속하게 배전계통으로부터 제거시켜 사고로 인한 현상을 최소화 시켜야 하지만 배전선 보호기기 사이의 보호협조에 의해 차단기 동작까지는 일정한 동작대기시간이 필요하게 된다. 그 영향으로 간선의 전압이 감소하면 자기적 토크가 기계적인 외부 입력토크에 비해 작아지므로 발전기 회전자의 속도가 서서히 가속된다. 이후 사고가 제거되어 정격전압이 연계 계통에 인가되면 큰 회전자 속도를 가진 유도발전기에 의해 계통에 돌입전류가 발생하고 계전점의 전압이 감소하는 특성을 나타낸다. 이때, 사고복구시간이 짧은 경우 풍력발전 시스템은 정상상태로 복귀를 하게 된다. 그림 12는 1초에 STATCOM을 투입하고 1.5초에 0.5초간 3상 지락사고를 발생시킨 뒤 2초에 사고를 복구하였을 때의 파형이다. 그림 12(a)는 회전자속도를 나타내었다. 사고구간동안 회전자속도는 증가를 하지만 사고가 복구된 후 회전자속도는 감소하여 안정상태로 복귀되고 있다. 그림 12(b)는 사고 발생 후 STATCOM의 동작을 나타내었다. 사고 구간동안은 STATCOM이 동작하지 않지만 사고구간이 복귀된 후 STATCOM이 무효전력을 보상하고 있음을 알 수가 있다.



(a) 회전자 속도



(b) STATCOM, 커패시터뱅크, 발전기의 무효전력

그림 12. 배전계통사고에 의한 풍력발전시스템의 특성

Fig. 12. Characteristics of wind power system in the fault

7. 결 론

본 논문에서는 750kW급 유도발전기로 구성된 풍력발전시스템에 고정커패시터와 STATCOM으로 무효전력을 효율적으로 보상하는 방법을 제안하고 그 타당성을 분석하기 위해 EMTDC 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 개발된 모델의 유용성을 확인하고자 소프트스타터에

의한 유도발전기의 기동을 분석하였고 커패시터뱅크와 STATCOM에 의한 무효전력보상효과를 분석하였다. 또한 대표적인 배전계통을 기본 모델로 설정하여 선로사고 시 유도발전기에 미치는 과도특성을 분석하였다.

커패시터 뱅크는 값이 싸나 실시간 무효전력제어가 어렵기 때문에 풍력발전과 같이 발생전력이 정출력이 아닌 발전시스템에서는 사용하기 어렵다. 또한 STATCOM이 단독으로 무효전력을 제어하면 실시간 제어는 가능하나 시스템 비용이 증가하므로 커패시터 뱅크와 STATCOM을 병렬운전하는 방식이 가장 효과적임을 알 수 있다.

본 논문은 STATCOM과 풍력발전 전력계통간의 상호 응동과 동특성을 해석하는데 효과적일 것으로 판단되며, 단순한 제어응답 시뮬레이션이 아닌 실 계통을 설계, 시뮬레이션함으로써 실 시스템의 기술적인 기초 자료가 될 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 및 한국과학재단의 ERC프로그램을 통한 지원으로 이루어졌으며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

[1] 한 상근, 박 민원, 유 인근, "PSCAD/EMTDC를 이용한 동기기형 풍력 발전시스템의 출력제어", 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템 학회 춘계학술대회 논문집, PP. 201-203. 2002. 4.

[2] A. G. Gonzalez Rodriguez, M. Burgos Payan, and C. Izquierdo Mitchell, "PSCAD Based Simulation of the Connerction of a Wind Generator to the Network", IEEE Porto Power Tech Conference 10^{th}-13^{th} September, Porto, Portugal, 2001

[3] 한 병문, 박 종근, "EMTP에 의한 STATCON과 송전계통의 동적응동 분석", 대한전기학회논문지, 제46권 7호, PP. 991-997. 1997. 7.

[4] P. Mattavelli and A.M. Stankovi, "Dissipativity-Based Control for STATCOM", IEEE Power Tech'99 Conference Budapest Hungary, paper BPT 99-369-46, Aug 29 Sept2, 1999.

[5] Manitoba HVDC Research Centre."EMTDC V3 User's Manual"

[6] IEEE Distrubution Planning Working Group Report, "Radial Distrubution Test Feeders." IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 6, No. 3, August 1991

저 자 소 개

한 병 문(韓 炳 文)

1953년 7월 5일생. 1976년 서울대 전기공학과 졸업. 1988년 미 아리조나주립대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박).
미 Westinghouse 중앙연구소 선임 연구원. 현재 명지대 전기공학과 교수.

이 범 규(李範奎)

1974년 10월 24일생. 2002년 명지대 전기공학과 졸업. 현재 명지대 대학원 전기공학과 석사과정.

전 영 수(全永秀)

1976년 11월 10일생. 2003년 명지대 전기공학과 졸업. 현재 명지대 대학원 전기공학과 석사과정.

이 광 열(李光烈)

1978년 10월 17일생. 2002년 명지대 전기공학과 졸업. 2004년 명지대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 (주)삼성전자 연구원.