

# 제주계통 풍력발전단지의 무효전력 특성 분석

최영도\*, 박영신, 전동훈, 윤기갑, 박상호

## Analysis of Reactive Power Characteristic for Wind Farms in Jeju System

Young Do Choy\*, Young Shin Park, Dong hoon Jeon, Gi Gab Yoon and Sang Ho Park

### Abstract

Experiences in wind farm operation are very limited in Korea, and the foundation for setting standards in power system connection is weak. Therefore, connection and operation standards for wind farms in other countries must be reviewed and power system operation criteria need to be established in order to set up connection standards and optimal operation plans according to the Jeju power system. In this study, reactive power control characteristics of a wind farm were analyzed using a wind farm model of the Jeju power system to propose power system connection operation standards for wind generation within the Jeju power system. Also, change in characteristics of the power system for the application of each reactive power control standard was confirmed, and the results were verified through trial tests arm was analyzed.

### Key words

Wind farm(풍력발전단지), Reactive power(무효전력), Grid code(연계규정)

(접수일 2010. 6. 7, 수정일 2010. 6. 21, 게재확정일 2010. 6. 21)

\* 한국전력공사 전력연구원

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

## 1. 서론

최근 국내에서 신 재생 에너지에 대한 관심이 높아지면서 2030년까지 전체 1차 에너지 중 신 재생에너지의 비율을 11%까지 확보할 것을 목표로 하고 있다<sup>(1)</sup>. 특히 제주 지역의 경우 상대적으로 좋은 풍황과 지자체의 추진 의지 등이 결합되어 많은 풍력발전 관련 사업신청이 쇄도하고 있다. 이에 따라 제주계통의 특성을 고려한 풍력 발전 단지의 연계 및 운영 기준(유효 전력 제어, 무효 전력 제어 및 Fault Ride Through 규정)의 수립은 풍력 발전의 점유율이 증가함에 따라, 더욱 제주 계통의 안

정도 및 전압 품질을 개선을 위해 필요한 실정이다<sup>(2~4)</sup>.

제주 계통은 육지 계통에 비해 매우 작은 규모를 갖고 있으며, 소수의 발전기가 특정 지역에 집중되어 건설된 특성을 갖는다. 따라서 계통 전체에서 전압 제어 또는 무효 전력 제어에 매우 취약하며, 계통에 사고가 발생하는 경우 계통 전체에 매우 심각한 저 전압이 발생하게 되고 이러한 계통 특징은 대규모 풍력 발전 단지의 연계에 따라 기존 발전기가 운전이 감소하는 경우 특히 심화될 수 있다. 즉, 제주 계통에서는 계통에 연계된 각 발전기와 함께 풍력 발전 단지의 무효 전력 제어 특성이 계통 운영에 크게 영향을 줄 수 있으며, 이는 사고 시 무효 전력 보상

을 통한 전압 회복만이 아니라 일반적인 계통 운영에 있어 해당 지역 전압의 유지관리 측면에서도 매우 중요하다고 할 수 있다.

하지만 아직 우리나라는 풍력 발전에 대한 계통 연계 기준이 없고, 신 재생 에너지원에 대한 연계 규정이 대규모 풍력 발전 단지에도 포괄적으로 적용되고 있어서, 무효 전력 관리 측면에서의 연계 조건으로 정상 운전 시 일정한 역률 범위를 만족할 것만을 요구하고 있을 뿐 무효 전력 출력 제어에 관한 별도의 규정이 없다. 그 결과 기존 풍력 발전 단지의 대부분이 무효 전력 제어 설비를 가지고 있지 않고 현실적으로 연계 점에서의 특별한 무효 전력 제어가 어려운 실정이다. 이에 풍력 발전 단지의 점유율이 증가하는 실정에서 계통의 안정적인 운영을 위해서는 연계 기준 제정 시 대규모 풍력 발전 단지에 적용할 수 있는 무효 전력 제어에 관한 구체적인 규정이 반드시 포함되어야 한다.

본 논문은 제주 계통을 대상으로 다양한 계통 모의를 수행하고, 무효 전력 특성을 분석하는 것으로 추후 계통 연계 기준 수립 시 대규모 풍력 발전 단지의 무효 전력 제어 규정에 대한 필요성을 확인하고 제안하였다.

## 2. 제주계통의 무효전력 특성분석

### 2.1 제주계통의 무효전력 수급 현황

계통의 무효 전력 특성은 운전 조건에 따라 크게 변화하므

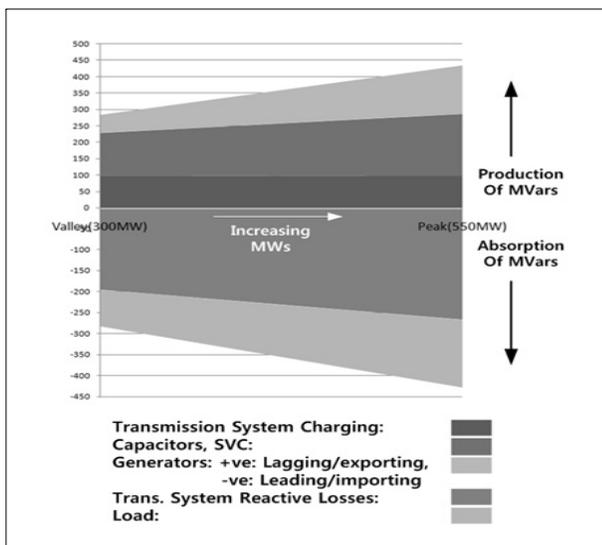


Fig. 1 The supply-demand situation of reactive power in Jeju system 1.

로, 계통 연계 기준에서 무효 전력 제어 규정의 수립을 위해서는 먼저 다양한 운전조건에서 계통의 무효 전력 특성에 대한 분석이 필요하다. 그림 1은 제주 계통의 무효 전력 수급 현황을 나타낸 그림으로 제주 계통의 부하가 최소 부하인 300MW에서 최대 부하인 550MW까지 변화할 때, 계통 전체의 무효 전력 수급 균형을 위한 각 계통 설비들의 무효 전력 생산과 소비를 보여준다. 이를 통해 제주 계통에서 대부분의 무효 전력 소비가 부하 및 선로에서의 손실임을 확인할 수 있으며, 전압 보상을 위해 capacitor가 상당히 높은 비율의 무효 전력 공급을 담당하고 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 제주 계통의 중요한 특징으로 선로에서의 손실 중 70% 이상이 HVDC의 운전으로 인한 무효 전력 소모이며, 이를 보상하기 위해 다수의 무효 전력 보상 기기가 필요하기 때문이다. 또한 부하가 증가할 때, 선로의 line charging은 항상 일정량의 무효 전력을 계통에 공급하지만 capacitor, 발전기에 의한 무효 전력 공급이 증가하는 것을 확인할 수 있는데, 이를 통해 발전기와 각 무효 전력 보상장치가 계통의 전압을 일정하게 유지하기 위한 제어를 수행하고 있음을 확인할 수 있다. 이때, 전체적인 발전기의 역률은 최대 부하 기준 0.9656으로 상당히 좋은 편으로, 이는 제주 계통의 특성 상 무효 전력의 대부분을 계통에 연계된 상당수의 무효 전력 보상 장치가 부담하고, 154kV 선로가 상당량의 무효 전력을 계통에 보상해 주기 때문이다.

그림 2는 그림 1에서 확인한 제주 계통의 무효 전력 수급

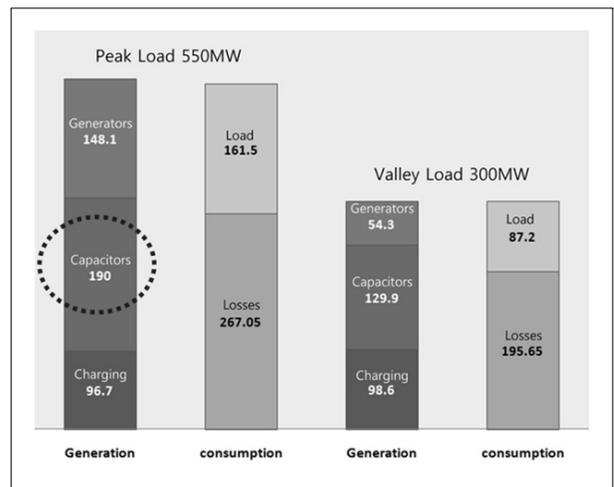


Fig. 2 The supply-demand situation of reactive power in Jeju system 2.

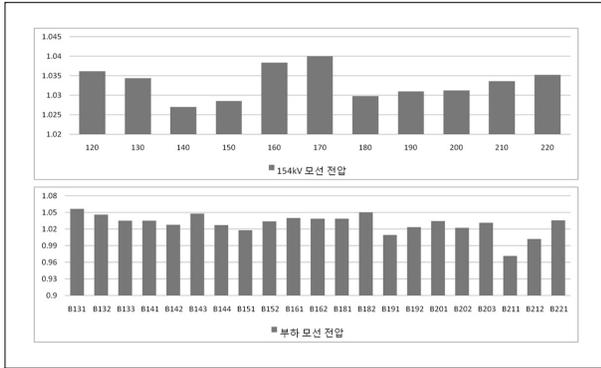


Fig. 3 Main bus voltage profile in Jeju system.

현황을 최대 부하와 최소 부하인 경우로 나누어 각 구성 요소를 자세히 나타낸 것이다.

그림 3은 최대 부하 시 제주 계통의 전압 profile을 154kV 모선과 주요 부하 모선을 대상으로 정리한 것으로, 계통 내 주요 모선의 전압이 매우 높은 수준으로 유지되고 있음을 확인할 수 있다. 이는 제주 계통의 주요 선로가 계통 규모에 비해 용량이 매우 큰 154kV 선로로서 전압 유지에 필요한 무효 전력 중 상당량이 line charging에 의해 공급되고, 다수의 shunt capacitor와 동기 조상기의 운전으로 무효 전력의 보상이 충분하기 때문에 발전기에 의한 전압 제어가 원활하게 이루어지고 있음을 보여준다.

이러한 제주 계통의 전압 특성은 현재 실제 운전 중인 풍력 발전 단지를 포함한 경우에도 크게 변화하지 않으며, 전체 계통에서 특별한 무효 전력의 부족이나 전압 문제가 없음을 확인할 수 있다. 또한 풍력 발전기나 분산전원 또는 신 재생 에너지가 적절한 위치에서 연계되는 경우 오히려 전압 profile이 개선될 수도 있다. 하지만 대규모 풍력 발전 단지가 설치되거나 풍력 발전 단지의 계통 점유율이 크게 높아질 경우 이러한 계통의 무효 전력 특성은 크게 변화할 수 있다. 이는 대규모 풍력 발전 단지의 연계에 따라 유효 전력 조류가 크게 변화하는 경우, 전체적인 무효 전력 수급 특성이 변화할 수 있기 때문이며, 이에 따라 계통에 국지적인 전압 문제가 발생할 수 있다.

## 2.2 풍력발전 출력변동과 무효전력 특성변화

풍속 변화에 따른 대규모 풍력 발전 단지의 유효 전력 출력 변화는 계통의 주파수 변동과 함께 국지적인 전압 변동을 유

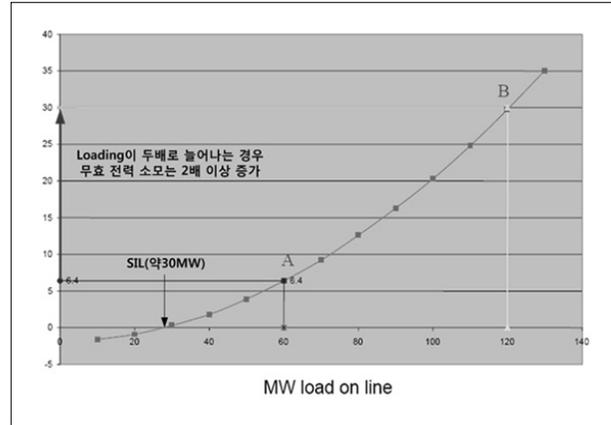


Fig. 4 Consumption characteristic of reactive power according to load of overhead line.

발할 수 있다. 이는 선로의 loading 변화에 따른 무효 전력 소모량 변화 특성에 따른 것으로, 대규모 풍력 발전 단지의 유효 전력 출력 증가는 연계 선로에서의 추가적인 무효 전력 소모를 급격히 증가시킬 수 있다. 따라서 대규모 풍력 발전 단지가 무효 전력 예비력이 충분하지 않은 곳에 연계될 경우, 풍력 발전 단지의 유효 전력 출력 증가 시 무효 전력이 부족하여 연계 모선 또는 주변 모선의 전압이 크게 감소할 수 있다. 그림 4는 60km 110kV overhead 선로의 loading과 무효 전력 소모 특성을 나타낸 것으로, 이를 통해 선로의 loading이 증가할 때, 동일한 전압을 유지하기 위해서 필요한 무효 전력이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

즉, 해당 선로의 경우 SIL(Surge Impedance Loading)이 약 30MW로 선로의 유효 전력 송전량이 해당 값 이하인 경우 선로에서 소모되는 무효 전력이 선로 자체의 capacitive 성분보다 작기 때문에 계통에 무효 전력을 공급하지만, 송전량이 그 이상이 되는 경우 무효 전력 소모가 급격하게 증가하여 전압을 유지하기 위해 계통에서 무효 전력을 공급받는 것을 확인할 수 있다. 그리고 이러한 무효 전력 소모는 그림과 같이 loading이 60MW에서 120MW로 두 배가 늘어나는 경우 4배 이상 증가하는 등, loading이 클수록 빠르게 증가하기 때문에, 전압 유지를 위해서는 주변 계통에 충분한 무효 전력 예비력이 있어야 한다. 따라서 대규모 풍력 발전 단지의 계통 연계 시 이러한 유효 전력 출력 증가에 따른 무효 전력 소모 특성 변화를 고려하는 것이 필요하며, 전압 안정도 측면에서도 각 선로의 loading과 무효 전력 예비력을 적절하게 관리하는 것이 중요하다.

- 풍력 발전 단지의 출력 변화에 따른 제주 계통의 무효 전력 특성 변화 모의

제주 계통과 대규모 풍력 발전 단지의 모의를 통해 대규모 풍력 발전 단지의 풍력 발전 출력 변동과 그에 따른 선로 및 변압기에서의 무효 전력 소모의 변화를 확인하고 이를 통해 제주 계통의 전압 안정도 유지를 위해서는 대규모 풍력 발전 단지의 연계 운전 시 충분한 무효전력 예비력의 확보가 필요함을 확인하였다. 다음의 그림 5는 제주 계통의 계통도와 연계 운전 및 연계 예정 중인 풍력발전소를 나타낸 것으로, 이용 신청이 접수된 풍력 발전 단지까지 포함한 총 237MW의 풍력 발전 연계를 고려하여 풍력 발전 단지의 출력이 20%에서 100%까지 변화할 경우 각 연계 선로에서의 무효 전력 소모량의 변동을 모의하였다.

표 1은 풍력발전 단지의 유효전력 출력 변동에 따른 무효전력 소모 변화의 모의 결과를 정리한 것으로 동일한 부하 조건에서 풍력 발전 단지의 출력이 증가할 경우 해당 변압기와 연계 선로에서의 무효 전력 손실이 선로의 경우 22배까지, 변압기의 경우 17배까지 증가한 것을 확인할 수 있으며, 전체적으로 10배 이상의 무효 전력 필요량이 변화하는 것을 확인할 수

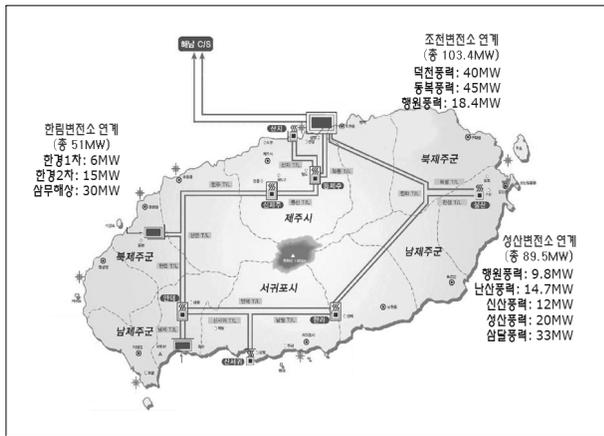


Fig. 5 Wind farm condition in Jeju system.

Table 1. Consumption variation of reactive power according to active power variation of wind farm

풍력 발전 단지 연계 모선	B1411	B1511	B1512	B1513	B1521	B2011	B2012	B2013	B2021	B2022	B2031	B2211	B2221	B2222	합계
20%															
연계 선로	0	0	0	0	0.04	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.04	0.1	0.01	0.04	0.27
변압기	0.02	0.02	0.01	0.04	0.19	0.07	0.01	0.08	0.04	0.04	0.13	0.33	0.05	0.12	0.979
100%															
연계 선로	0.01	0.02	0	0.08	0.34	0.06	0	0.11	0.08	0.11	0.4	0.78	0.22	0.28	2.49
변압기	0.16	0.29	0.08	0.82	1.66	0.5	0.08	0.16	0.56	0.65	1.7	2.48	0.88	2	12.02

있다. 따라서 대규모 풍력 발전 단지의 연계 시 발전 단지 자체의 무효 전력 특성만이 아니라, 풍속에 따른 풍력 발전 단지의 유효 전력 변화에 따른 계통 또는 연계 지점에서의 무효 전력 특성 변화를 확인하고, 전압 안정도 유지를 위해 풍력 발전 단지의 dynamic reactive power reserve를 확보가 필요함을 알 수 있다.

그림 6은 풍력발전 단지의 유효전력 출력 변동에 따른 연계 모선의 전압 변화를 나타낸 그림으로 실제로 PSS/E를 이용하여 제주 계통을 대상으로 peak 부하 시, 연계 예정인 동북 풍력(#2211) 발전 단지의 출력 변동을 모의하고 모선 전압 변화를 확인한 것이다<sup>(5)</sup>. 이때, HVDC는 정상 운전을 가정하였으며, 풍력 발전 단지의 출력은 일반적인 풍력 발전 단지의 분간 최대 출력 변화가 정격의 20% 내외임을 고려하여, 풍속 변화를 통해 정격의 15% 변화하는 것을 모의하였다.

그림 6의 결과로 풍력 발전 단지의 무효 전력 제어에 의해 전압 변동 효과가 적지만 풍력 발전 단지의 출력 변화가 연계 모선에서의 전압 변동을 유발하는 것을 확인할 수 있다.

3. 무효전력 제어방식에 따른 계통영향 분석

3.1 모의 시나리오의 구성

풍력발전(DFIG) 단지의 무효전력 제어방식 및 제어 역률 범위의 변화에 따른 계통영향 분석은 제주 계통을 대상으로 각 무효 전력 제어 방식이 계통에 주는 영향을 검토하고, 전

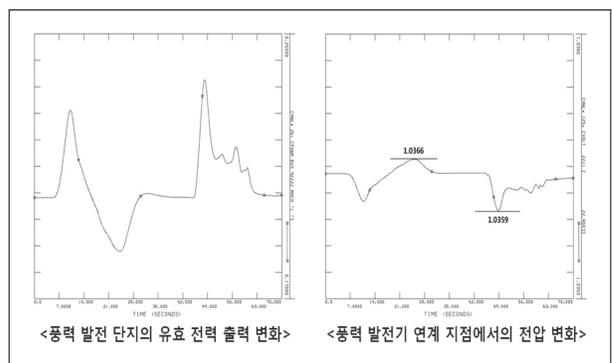


Fig. 6 Variation of bus voltage according to active power variation of wind farm.

Table 2. Power system condition for simulation

구성 발전기	HVDC 정상 운전	최대 발전량	최소 발전량	Merit order	총력 발전기	
제주내연#1	20131	40	40	26	2	2011(명원풍력) - 9MW
남제주내연#1	20176	20	20	7	2	1511(한경1차) - 6MW
남제주내연#2	20178	20	20	7	2	1512(신항풍력) - 1.5MW
보령주기력#1	20122	90	100	59	4	2012(할정풍력) - 1.5MW
남제주기력#4	20173	100	100	50	4	2021(산산풍력) - 10.5MW
제주기력#3	20123	42	75	42	6	1513(한경2차) - 15MW
제주기력#2	20122	42	75	42	7	1521(상무풍력) - 30MW
						2022(산산풍력) - 12MW
						2013(상산풍력) - 12MW
						1411(삼읍풍력) - 3MW
						2211(중북풍력) - 45MW
HVDC 정상 운전	150	150	40			2221(한원2차) - 18MW
						2031(상달풍력) - 33MW
						2222(억전풍력) - 40.5MW
합계		504	580	180		총력 : 237MW중 47.4MW

압 제어를 하는 경우 무효 전력 제어 범위에 따른 차이를 확인하는 것으로, 추후 계통 연계 및 운전 기준의 수립 시 무효 전력 제어 규정에 필요한 구체적인 고려사항을 도출하였다.

표 2의 모의 계통연계는 제주 계통의 최대 부하 모델을 기준으로 수행하였으며, 550MW 부하 시를 기준으로 풍력 발전 단지 총 14개, 237MW 용량의 풍력 발전(DFIG)이 계통에 연계되었을 경우를 모의하였다. 이때 계통 발전기의 구성은 merit order에 따라 출력을 결정하고, HVDC는 정상적인 연계 운전을 가정하여 최대 150MW에서 최소 40MW의 출력을 낼 수 있도록 하였다.

연계 모의 시나리오는 풍력 발전 단지의 무효 전력 제어 방식과 제어 역할 범위를 구분하여 작성하였으며, 정해진 제어 방식에서 풍력 발전 단지의 운전 조건(유효 전력 출력) 변화에 따른 계통의 전압 profile 변화를 확인하는 것으로 각 시나리오에서 계통 영향을 비교하였다. 이를 정리하면 다음과 같다.

1. 0.95lagging, unity PF, 0.95leading등 일정 역할 제어에서 역할 변화 모의
2. Unity PF control Vs. Voltage control - 제어 방식에 따른 계통 영향 변화 모의
3. Voltage control에서 무효 전력 출력 범위가 주는 계통 영향 변화 모의

### 3.2 모의 시나리오

#### 3.2.1 scenario 1 : 일정 역할 제어와 제어 범위 변화

각 풍력 발전 단지가 일정 역할 제어를 수행하는 경우, 제어 역할 변화와 풍력 발전 단지의 유효 전력 출력 변화에 따

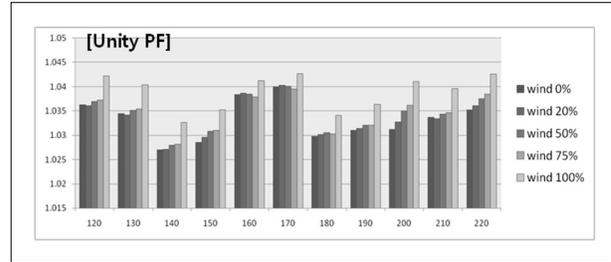


Fig. 7 Variation of system voltage according to output power variation of wind farm (Unity power factor).

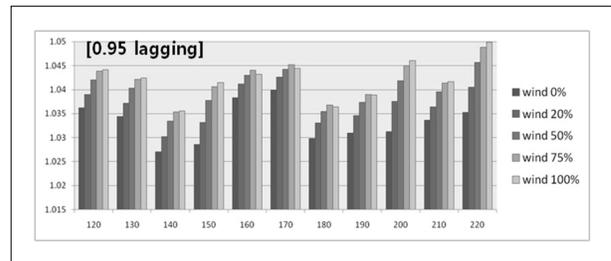


Fig. 8 Variation of system voltage according to output power variation of wind farm (0.95 leading).

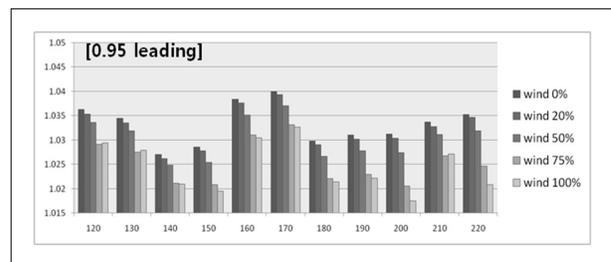


Fig. 9 Variation of system voltage according to output power variation of wind farm (0.95 lagging).

른 계통의 주요 변전소 모선에서의 전압 변화를 검토하였다. 그림 7은 단위역률 제어 시 풍력발전 출력변동에 따른 계통전압의 변화를 나타낸 것으로 단위 역률 제어 시에는 풍력 발전 단지의 유효 전력 출력 변동에 대해 각 변전소 모선의 전압이 거의 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있으며, 그림 8은 0.95 lagging 제어 시 풍력발전 출력변동에 따른 계통전압 변화를 나타낸 것으로 0.95 lagging 제어 시에는 유효 전력 출력의 증가와 함께 계통의 전압이 크게 상승하고, 그림 9는 0.95 leading으로 운전하는 경우에는 반대로 계통의 전압이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 대규모 풍력 발전 단지의 일정 역할 운전은 운전 조건에 따라 계통에 과전압 또는 저 전압을 유발할 수 있으며, 단위 역률 역시 출력이 크게 증

가하는 경우 계통의 전압에 영향을 줄 수 있으므로, 연계 위치와 전압 조건에 따라 적절한 역할 범위를 결정하는 것이 필요하다.

### 3.2.2 scenario 2 : 일정 역할 제어와 전압 제어

풍력 발전 단지의 무효 전력 제어 방식을 일정 역할 제어와 전압 제어로 구분하여 풍력 발전 단지의 유효 전력 출력 변화에 따른 계통의 주요 변전소 모선에서의 전압 변화를 검토하였다. 그림 10은 무효전력 제어 방식에 따른 전압변동을 비교한 것으로 단위 역할을 하는 경우에 비해 전압 제어를 하는 것이 풍력 발전 단지의 유효 전력 출력 변동에도 전반적으로 계통 전압이 안정되게 유지되는 것을 확인할 수 있다.

### 3.2.3 scenario 3 : 전압 제어와 제어 범위 변화

각 풍력 발전 단지가 전압 제어를 수행하는 경우, 제어 역할 범위의 변화와 풍력 발전 단지의 유효 전력 출력 변화에 따른 계통의 주요 변전소 모선에서의 전압 변화를 검토하였다. 그림 11은 전압제어 시 역할범위에 따른 전압변동을 비교한 것으로 0.95 lagging에서 0.95 leading으로 역할 제어 범위가 정의되어 있는 경우를 모의한 것과 역할 제어 범위를 0.85 lagging에서 0.85 leading을 증가시키는 경우를 모의하여, 풍력 발전 출력 증가 시 연계 모선의 전압 변동을 보여준다.

모의 결과에서 풍력 발전 단지가 연계 모선의 전압 제어를 목적으로 무효 전력을 제어하는 경우에도 역할 제어 범위에 따라 전압 제어 효과가 서로 다르게 나타나는 것을 확인할 수

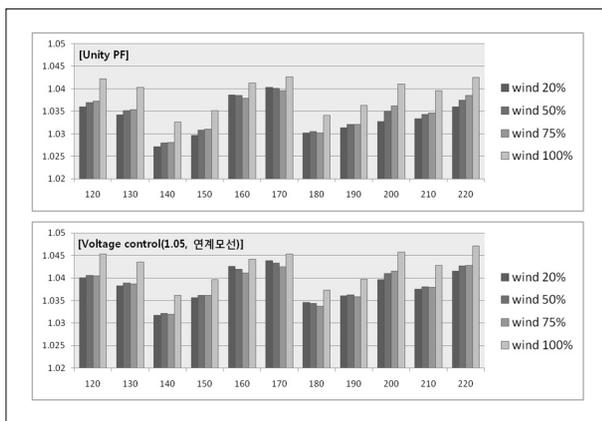


Fig. 10 Comparison of voltage variation according to reactive power control.

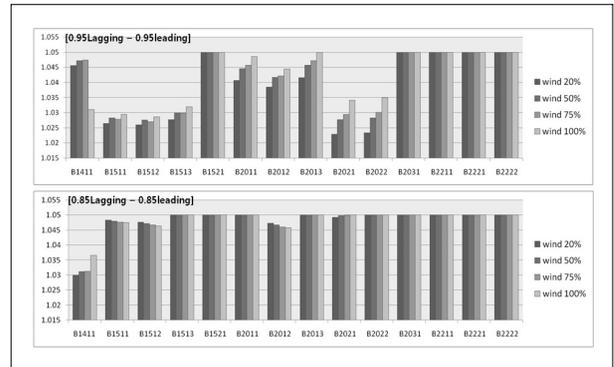


Fig. 11 Comparison of voltage variation according to power factor range of voltage control.

있는데, 이는 무효 전력 제어 규정에서 제어 역할 범위 범위가 충분하지 않은 경우, 운전 조건에 따라 충분한 전압 제어가 어려울 수 있음을 나타낸다. 따라서 연계 기준 제정 시 계통 검토를 통해 적절한 무효 전력 제어 범위를 결정하는 것이 필요하며, 특히 풍력 발전 단지의 출력이 낮은 경우 실제 전압 제어 효과가 더욱 작아질 수 있으므로 이를 충분히 고려하여야 한다.

## 4. 결론

본 논문은 제주 계통을 대상으로 다양한 계통 모의를 수행하고, 무효 전력 특성을 분석하는 것으로 추후 계통 연계 기준 수립 시 대규모 풍력 발전 단지의 무효 전력 제어 규정에 대한 필요성을 확인하고 이상의 모의 결과를 통해 풍력 발전의 계통 연계 기준 및 운영 기준 수립 시 무효 전력 제어 규정에 필요한 구체적인 고려사항을 도출하였다. 주요 결과를 요약하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. 일정 역할 제어에서 단위 역할을 하는 경우 계통 전압이 비교적 안정적으로 유지되지만, 대규모 풍력 발전 단지가 연계 운전되는 경우 lagging 또는 leading 운전과 마찬가지로 무효 전력 수급 특성 변화에 의해 과전압 또는 저 전압을 유발할 수 있다. 따라서 무효 전력 제어에 관한 규정 수립 시 역할 제어 범위를 명시하는 것과 함께, 운전 조건에 따른 계통 운영자의 역할 제어가 가능하도록 해야 한다.

2. 전압 제어에서 일정 역률 제어에 비해 전압 제어의 경우 풍력 발전 단지의 유효 전력 출력 변화에도 계통 전체의 전압이 고르고 안정되게 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 풍력 발전 단지의 연계 위치 또는 계통의 운전 조건에 따라 풍력 발전 단지의 적절한 전압 제어 목표를 설정하는 것을 통해 계통 전체의 전압 안정도 향상을 고려할 수 있어야 한다. 또한 풍력 발전기의 유효 전력 출력이 정격보다 매우 작은 경우, 역률 범위의 제한으로 인해 실질적인 전압 제어 효과를 얻기 힘든 경우가 있을 수 있으므로, 유효 전력 출력이 감소함에 따라 넓은 범위의 무효 전력 제어 범위를 규정하는 것이 효과적이다.

## 후 기

본 연구는 지식경제부에서 시행한 전력산업연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

## References

- [1] 국가에너지 기본계획(안), 지식경제부& 에너지경제연구원, 2008.
- [2] "Wind Power Facility, Technical Requirements", Grid Code from Alberta Electric System operator, Canada.
- [3] "Discussion document for the review of requirements for wind turbine generators under system faulty conditions, commonly referred to as fault ride through", ESB National Grid., November 2003.
- [4] "Modeling and Wind Farms for Power System Stability Studies", Shaw Power Technologies, Inc.
- [5] "The Application of Wind Turbine Modelling in PSS/E", Shaw Power Technologies, Inc.

**최영도**



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

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

**박영신**



1988년 연세대학교 전기공학과 공학사  
1988년 한국전력공사 입사

현재 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소 책임연구원  
(E-mail : parkshin@kepeco.co.kr)

**전동훈**



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

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

**윤기갑**



1983년 한양대학교 전기공학과 공학사  
1988년 홍익대학교 전기공학과 공학석사  
1999년 한양대학교 전기공학과 공학박사  
1990년 한국전력공사 입사

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

**박상호**



2000년 명지대학교 전기공학과 공학사  
2002년 명지대학교 전기공학과 공학석사  
2004년 한국전력공사 입사

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