

울릉도 풍력발전 계통연계 문제점 및 대책

윤기갑*, 이완수*, 김병한*, 이상길*
*한전 전력연구원

Technical Problems and solution based on Connection of Ullung Wind Power Plant into Power Distribution System

G.G. Yoon*, W.S. Lee*, B.H. Kim*, S.K. Lee*
*Korea Electric Power Research Institute

Abstract - The wind power equipment of Ullung island is composed of a hybride type of wind powers and diesel generators. The wind power generation in Ullung island is, however, not smooth due to the small capacity and weekness of existing power systems and line. Therefore, it is the purpose of this study to describe the technical problems and its solution through the investigation of actual conditions.

1. 서 론

울릉도 풍력발전은 정부의 대체에너지 보급정책에 따라 1999년 8월에 건설이 되었으나 기존 울릉도의 독립된 계통과의 연계시 여러 가지 문제점이 나타나서 계통에 연계하여 운전하는데 많은 애로점이 있다. 육지의 기존 한전계통에 풍력발전기를 연계할 경우에는 큰 문제가 없겠지만 도서지방이라는 특수한 상황과, 육지와의 전력계통이 연계된 형태가 아니고 독립된 계통을 갖고있는 형태이기 때문에 발전설비용량이 작고 또한 기존의 독립 전력계통이 취약한 선로로 구성되어 있어서 풍력발전기의 계통연계시 여러 가지 문제점이 나타나고 있다. 풍력발전기가 울릉도 전력계통에 연계하여 운전될 경우에 풍속에 따라 빈번하게 기동·정지되고 풍력발전기 출력이 심하게 변동되어 계통의 주파수와 운전중인 기존 내연발전기의 출력이 심하게 변하는 현상이 나타나 전력계통에 연계하여 운전하는데 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 지금까지 검토되었던 내용들을 참조하고 현장 점검 결과를 토대로 울릉도 풍력발전기의 전력계통연계의 문제점 및 대책에 대하여 논하고자 한다.

2. 본 론

2.1 울릉도 발전설비 개요

가) 풍력발전기 건설

- 공사기간 : 1999.1.13 ~ 1999.8.30(7.5개월)
- 총공사비 : 28억(국비 21억, 지방비 7억)
- 효성중공업 시공, 경북대학교 공학설계기술원 타당성조사

나) 풍력발전기 제원

- 시설용량 : 600kW, 1대
- 설비기종 : V42-600(덴마크 Vestas사)
- 타워높이 : 40m
- 운전풍속 : 4.2 ~ 20m/s

다) 울릉도 발전설비용량 : 총 10,000kW

- 울릉도내연 : 5,000kW
- 남양내연 : 3,000kW
- 추산수력 : 1,400kW
- 풍 력 : 600kW

라) 울릉도 전력부하

- 최저전력 : 1,476kW
- 최대전력 : 5,326kW
- 평균전력 : 2,371kW

2.2 독립전력계통 연계시 고려사항

국내에 설치되어있는 풍력발전기 용량은 대부분 600~750kW로 육지와 같은 큰 전력계통이나 제주도과 같이 비교적 큰 도서의 전력계통에 풍력발전기를 연계시켜 운전하는데는 기술적 문제가 없으나, 기타 작은 도서지방의 독립된 전력계통에 연계시켜 운전할 경우에는 계통용량에 비해 풍력발전기의 용량 비율이 크기 때문에 기존 계통과 복합적으로 검토하여 알맞은 풍력발전기 기종 및 용량을 선정해야한다. 이러한 이유로 발전기에서 계통의 부하 변동을 자동 추종할 수 있는 능력이 있어야 하나 풍력발전기는 바람의 에너지를 이용하기 때문에 부하를 추종할 능력이 없고, 또한 부하에 상관없이 바람의 세기에 따라 발전기 출력이 변동되기 때문에 오히려 기존의 다른 발전기에 부하조정 용량을 가중시키게 된다.

그러므로 풍력발전기가 설치되는 장소의 바람 성질에 따라 발전기 출력이 변동되는 예상 크기를 조사하고 기존발전기의 부하 추종능력도 파악되어야 한다. 또한 풍력발전기는 일반적으로 유도발전기를 사용하고 있으므로 계통연계시 기동전류에 의한 계통의 영향도 검토되어야 한다. 그러므로 울릉도의 경우 전력계통 용량에 비해 풍력발전기의 용량이 비교적 크기 때문에 다음과 같은 사항을 검토하여 풍력발전기 용량이 결정되어야 한다.

- 발전기 출력의 변화 분석, 즉 바람특성 분석
- 울릉도 기존발전기의 부하 조정능력
- 울릉도의 전력계통 분석
- 풍력발전기 특성 및 기동전류

2.3 풍력발전기 계통연계시 나타난 문제점

가) 풍력발전기 출력변동이 심함

- 시간당 수백회 출력변화로 측정이 불가함
- 발전기 출력 최대변동폭이 0~350kW로 평균치 측정이 어려움
- 발전기 기동정지 횟수: 최소 5회/일, 최대 88회/일

나) 기존발전기 엔진의 변화가 심함

- 불완전 연소 발생
- Turbo charger surging 발생
- Governor hunting 발생
- 기관 Hunting 및 Surging 발생

다) 계통주파수 변동이 심함

월 일	3.18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
최고 (Hz)	60.4	60.4	60.1	60.4	60.4	60.3	60.5	60.4	60.5	60.4	60.7	60.2	60.3	60.3
최저 (Hz)	59.5	59.7	59.6	59.6	59.6	59.4	59.7	59.6	59.7	59.6	57.5	59.6	59.5	59.4
편차 (Hz)	0.9	0.7	0.5	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	3.2	0.6	0.8	0.9

2.4 풍력발전기 연계운전관련 시스템분석

2.4.1 풍력발전기 출력 변화 분석

풍력발전기 출력의 변동특성은 바람의 특성에 의해 결정되므로 풍력발전기 건설전에 바람의 특성에 대한 조사를 먼저 수행하여 발전기 출력변화에 대한 것이 예측되어야 하며, 풍력발전기 설치후 운전상태에서 발전기 출력의 변화 상태를 보면 풍속에 따라 기동·정지가 반복되고 발전기 출력이 위에서 나타난 것처럼 0~350kW 정도가 변하여 계통의 주파수 변동이 대략 60±0.5Hz정도가 되고 있다.

2.4.2 기존 울릉도 발전기의 부하조정 능력

울릉도 발전설비용량은 풍력발전기 용량을 포함하여 총 10,000kW이며, 울릉도 전력계통의 부하는 1999년 기준으로 최대 5,326kW, 최소 1,476kW, 평균 2,371kW이다. 울릉도 전력계통 부하에 따라 발전기의 운전상황을 살펴보면 추산수력은 계속 출력의 변동없이 Base load 일부를 담당하고 있으며, 계통의 저 부하에서는 남양내연의 1,500kW 1대와 울릉도 내연 1,000kW 1대가 부하를 추종하며 운전하고 있고, 계통 부하가 증가함에 따라 남양내연 1대와 울릉도내연 3대가 추가로 운전되어 부하를 추종하며 운전되고 있다. 따라서 풍력발전기가 연계되어 운전되게 되면 저 부하 상태에서는 남양내연 발전기 1대와 울릉도내연 발전기 1대가 부하의 변동을 추종하며 운전하던 것이, 풍력발전기가 부하에 상관없이 출력 변동을 하게되면 기존의 발전기는 계통 변동에 대한 부하 조정량 분담이 커지게 되고, 부하 추종과정에서 부하와 발전기 출력의 편차가 주파수 변동으로 나타나게 된다.

발전기가 여러대 운전될수록 즉 전력계통의 부하가 클수록 풍력발전기의 출력 변화량에 대한 부하 조정 분담율은 작아지게 된다. 발전기가 부하를 추종한다는 것은 원동기 토오크의 추종이 동반되어야 하므로 원동기의 제어 및 응답속도와 에너지 변환과정의 시정수와 관계되어 변동에 대한 추종의 속도가 제한되므로, 급격하게 변동되는 부하에 대해서는 계통의 특성에 의해 좌우되고 나서 원동기 제어계통이 추종되어 계통의 에너지 평형을 이루므로, 이 과정에서 주파수로 변동이 커지게 되고, 완만하게 변동되는 부하에 대해서는 원동기의 제어계통에서 추종되어 거의 일정한 주파수를 유지하게 된다.

풍력발전기 용량 350kW는 울릉도 전력계통의 평균 부하 2,300kW의 15%를 차지하는 용량이며, 남양내연의 조속기의 경우 속도 조절율이 4%로 계통주파수가 ±0.5Hz가 변동되면 남양내연 발전기 출력은 ±20%인 ±300kW가 변동되어 일시적인 변동은 문제가 없으나 연속적인 변동은 발전기와 원동기에 큰 무리를 주게 된다. 한편에서 수용가에게 공급하는 규정 주파수는 60±0.2Hz이므로, 전기적 과도해석 프로그램(ETAP)을 이용하여 풍력발전기가 울릉도 계통에 연계되어 출력이 급변동할 경우 계통에서 수용할 수 있는 용량은 남양내연 발전기 1대와 울릉도 내연 발전기 1대가 운전하고 있는 조건에서 평균부하가 2,300kW에서 계통주파수가 60±0.2Hz 이내로 유지할 수 있는 변화량의 모의 실험 결과 ±60kW 정도였으며, 2,300kW에서 350kW가 급변하여 0kW로 변하였을 경우에는 계통주파수가 1.5Hz로 떨어졌다.

2.4.3 울릉도 전력계통 분석

풍력발전기의 출력변화를 기존 발전기에서 추종하여 담당해야 되는데 기존 발전기 원동기가 무리가 가지않는 조건에서 움직인다고 가정하고, 울릉도 전력계통에서 풍력발전기를 수용할 수 있는 능력을 살펴보면 1,750kW 이하의 부하에서 풍력발전기 운전가능 용량은 150kW로 운전이 가능하며, 4,500kW의 부하에서 최대 700kW운전이 가능하고 2000~3000kW의 부하에서는 부하 2400kW시에 풍력발전기 350kW로 운전이 가능하다.

2.5 울릉도 풍력발전기 연계시의 문제점

2.5.1 풍력발전기 용량 과대

울릉도에 설치된 풍력발전기는 권선형 유도발전기 이기는 하나 유도발전기가 갖고있는 문제점인 병입시의 돌입전류를 정격전류 이하로 제한하는 제어설비를 가지고 있는 발전설비이다. 그러나 풍력발전기의 용량이 600kW로 울릉도 전력계통 용량에 비해 너무 큰 발전기를 채용하여 발전기 부하를 350kW로 제한하여 운전한다 하여도 발전기 병입시의 돌입전류는 동일하므로 순간적으로 계통에 주는 영향이 크다.

울릉도의 바람특성이 풍속의 변화가 심하여 발전기의 기동·정지가 빈번하고 이에따른 순간적인 계통의 변화가 발생된다. 이런 순간적으로 변화하는 현상은 발전기 병입시에만 발생 되므로 기존 운전중인 발전기 및 엔진에 미치는 영향은 비교적 적다고 할수 있다.

2.5.2 울릉도 계통 용량에 비해 발전기 출력 변화량 과대

발전기는 부하의 변화를 추종하여 운전되어야 하는데 풍력발전기는 부하에 관계없이 풍속에 의해 발전되기 때문에 출력변화가 심하게 되면 기존발전기가 변화에 대한 추종을 담당해야 하기 때문에 풍력발전기 출력의 변화상태가 매우 중요한 요소이며, 이에 의해 발전기 용량도 제한을 받게 된다. 울릉도 풍력발전기의 출력은 울릉도의 풍속변화에 직접 연관이 되므로 운전결과 출력의 변화로 보아 풍속의 변화도 심하다고 판단할 수 있으므로 기존의 발전기 및 원동기가 추종할 수 있는 정도로 출력을 제한하여 운전되어야 하며 지금까지의 운전결과 및 나타난 현상으로 보아 풍력발전기의 부하변화량을 기존의 발전기 및 원동기가 연속적으로 추종하여 운전되는 것은 무리가 있다고 생각된다.

3. 결 론

울릉도에 설치된 풍력발전기의 연계운전에 대한 해결 방안은 현상태로 풍력발전기가 운전되었을 경우에 전력계통에서 허용할 수 있는 최대의 용량을 산정하여 이 범위내에서 운전하는 것이고 그 이상의 용량으로 운전하려면 풍속의 급변에 상관없이 발전기출력을 완만하게 계통에 공급할 수 있도록 설비를 보완하는 것이며, 현 상태에서 전력계통에서 허용할 수 있는 발전기의 최대용량은 2300kW에서 계통주파수가 $60 \pm 0.2\text{Hz}$ 이내로 유지할 수 있는 변화량은 $\pm 60\text{kW}$ 정도이므로 제한출력은 120kW가 된다.

또한 풍력발전기의 출력의 변화가 완만하면 기존발전기 엔진의 조속기에서 부하 추종이 가능하므로 풍력발전기의 출력은 계통이 허용하는 범위내에서 계통의 부하가 2000~3000kW일 경우 풍력발전기 운전가능 용량은 350kW이며 또한 부하가 4500kW일 경우의 운전가능 용량은 700kW로 증가하여 운전할 수 있다.

풍력발전기 출력을 완만하게 변화하도록 조정하는 방법으로는 우선 전기저장 장치를 병용 운영하므로써 출력의 변화 상태를 조정할 수 있으나 현실적으로 비용의 증가면이나 기술적인 면에서 적용하는데 어려움이 있으며, 또다른 방법으로는 풍속이 급속하게 변화시 풍력발전기 브레이드 각도를 조정하여 추력을 조정하는 방법이 있으나 이방법은 현실비의 제어방법을 개선하는 것으로 우선 가능여부를 제작사와 협의해볼 필요가 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] "자가용발전기 병렬연계선로 보호방식에 관한 연구" 한전 기술연구원 최종연구보고서 1985.4
- [2] 電氣技術基準調査委員會, "分散形電源系統連繫指針", 日本電氣協會, 1994.1
- [3] 資源에너지廳編, "解說電力系統連繫技術要件가이드라인'98", 電力新報社, 1998.7
- [4] "계통연계운전형 신에너지전원의 표준화 및 보급제도 정비" 한전전력연구원 최종연구보고서 2000.12
- [5] "울릉도 풍력발전소 2호기 계통연계에 따른 기술검토" 한전전력연구원 기술검토 보고서 1999.12
- [6] "울릉풍력발전의 계통에 주는 영향 분석" 2001년도대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템학회 춘계학술대회 논문집 P495-497
- [7] "계통측에서 본 풍력발전단지 도입에 따른 해결과제 및 대책연구" 2001년도 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템학회 춘계학술대회 논문집 P488-490