

울릉풍력발전의 계통에 주는 영향 분석

이승훈* 서영택** 오철수*
*경북대학교 전기공학과 **구미1대학

Influence of Grid Operation from Ullung Wind Power Plant

Seung-Hun Lee* Young-Taek Seo** Chul-Soo Oh*
*Dept. of Electrical Eng. Kyungpook Nat. Univ **Kumi College

Abstract - Ullung wind power plant is a remarkable event to get a great concern of many people, because it has been observed as a first case of combining the new large different generating sources, i. e. hybrid diesel-wind power system. This paper is dealing with the analysis of this problem and with the grid-coordination. The first endeavor of actual measurement was performed at site during October 18-21, 2000 and a part of this records is presented in this paper.

정격풍속 : 13 m/s
기어비 : 1: 63.2

b) 발전기의 사양

발전기 : 350 kW, YY, (원제품 600kW)
전압 : 3×690 V
전류 : 330 A
무부하 전류 : 105 A
역률 : 0.87 전부하시
회전속도 : 1800/1818-1980 rpm

1. 서 론

울릉도 풍력발전은 울릉도의 청정환경 바탕위에 기대 리에 준공되었으나 울릉도 계통과의 협조 문제로 원만한 가동이 되지 않고 있다. 그 이유는 울릉도 전기계통이 약한 독립계통으로 되어있음을 일차적 원인으로 들 수 있다.^(1,2) 울릉 풍력발전의 시운전은 2000. 3. 18부터 4. 6까지 하였으나 한전당국의 만족할만한 결과를 주지 못하였고, 이에 따라 2000. 10. 17 - 10. 23 사이에 전문가로 구성된 조사단의 현지조사가 있었고, 아울러 울릉풍력발전이 계통에 주는 영향을 비롯한 각종 측정을 할 수 있었다. 이를 계기로 국내에서 처음 시도되는 디젤-풍력 연계운전 및 계통협조 문제가 대두되고, 울릉 풍력발전이 이를 위해 귀한 사례로 평가되고있다.⁽³⁾

본 논문에서는 울릉풍력발전기의 제원과 운전특성을 파악하고, 울릉도 발전시스템 및 계통의 현황을 살펴봄으로써 풍력 각 출력 상황에 따른 계통의 주파수, 전압, 전력조류등 풍력발전기의 계통협조를 측정하였다.

2. 본 론

2.1 울릉풍력발전기

2.1.1 울릉풍력발전기 연혁

울릉풍력발전기는 제주도를 제외한 한반도에서는 처음으로 경상북도에서 지역에너지사업으로 13억을 투입하여 1999년 11월 울릉 풍력 1호기를 완공하였다.^(3,4)

그 후 전기사업법에 따른 경상북도-한국전력간의 병렬 운전 합의각서의 체결이 늦어져 2000년 3월에서야 시운전을 하게 되었다. 이와 때맞추어 울릉도내 발전소운영은 전우실업(주)로 이관되었다.

2.1.2 울릉풍력발전기 사양

a) 터빈측 사양

공급자 및 모델 : Vestas V44(3 Blade)
직경 : 44 m
포장면적 : 1,521 m²
날개축 높이 : 42 m
터빈 정격회전수 : 28.5 rpm

2.2 울릉도 발전시스템

2.2.1 울릉도 발전소 설비

1980년 울릉내연(내수전)이 가동되고 추산수력과 더불어 수력-화력의 복합시스템으로 되었고, 그후 1996에 남양내연이 가동되면서 현재 총 설비용량 9,400kW에 이르게 되었으나, 실제의 최대가동설비용량은 약 6,500kW 정도이다. 울릉도의 발전소 설비를 발전소별로 살펴보면 추산 수력발전소에 4기, 울릉 내연력발전소(내수전)에 6기, 남양 내연력 발전소에 2기 등 총 12기로 구성되어 있다. 발전소별 발전기 총용량과 변압기 용량 및 내연발전소의 발전기 사양을 각각 표 1, 2에 나타내었다.⁽⁴⁾

표 1. 발전기 총용량과 변압기 용량

	발전기총용량	변압기 용량
추산 제1수력	1,200kW	1,000kVA
추산 제2수력	200kW	300kVA
저동 내연발전소	5,000kW	4,000+3,750kVA
남양 내연발전소	3,000kW	5,000kVA
합 계	9,400kW	14,050kVA

표 2. 내연발전소의 발전기 사양

항목	#1, 2	#3, 4	#5, 6	#7, 8
출력(kW)	1,000	500	1,000	1,500
디젤용량(HP)	1,600	750	1,600	2,020
회전수(RPM)	720	900	720	720
실린더수	6	6	8	8
발전기 역률	0.8	0.8	0.8	0.8
냉각방식	직립수냉각	직립수냉각	직립수냉각	공냉식
시동방법	공기식	공기식	공기식	공기식
사용연료	경유	경유	경유	경유
제작사	Yanmar	Daihatsu	쌍용중공업	쌍용중공업

주:저동 내연발전소 # 1, 2, 3, 4, 5, 6 남양 내연발전소 # 7, 8

2.2.2 울릉도 발전량 추이

울릉도 1996-97년 발전량 추이 및 소요전력을 보면 수력의 설비용량은 1,400kW 이지만 연 평균 200kW 정도만 생산하며 울릉도 기저부하에 보탬을 주고 계통의 주파수 조절에는 영향을 미치지 못한다. 한편 남양내연의 발전량이 97년 하반기부터 울릉내연을 상회하며 기저부하를 담당하는 양상으로 가고 있음을 알 수 있다.

최근 4년간 울릉도의 최대 및 평균 전력사용 분포는 1월부터 6월까지 사용량이 평균치에 미치지 못한 반면, 7월부터 12월까지의 평균치를 상회하는 양분 현상으로 나타나고 있다.^[4] 울릉도의 1981-2001년까지의 발전전력을 나타내는 그래프가 그림 1이며, 발전전력은 최근 몇 년간 비교적 높은 년성장률 10%를 기록하고 있으며, 2001년에는 최대전력이 5,600kW, 그 판매량은 27GWh에 이를 것으로 보인다.

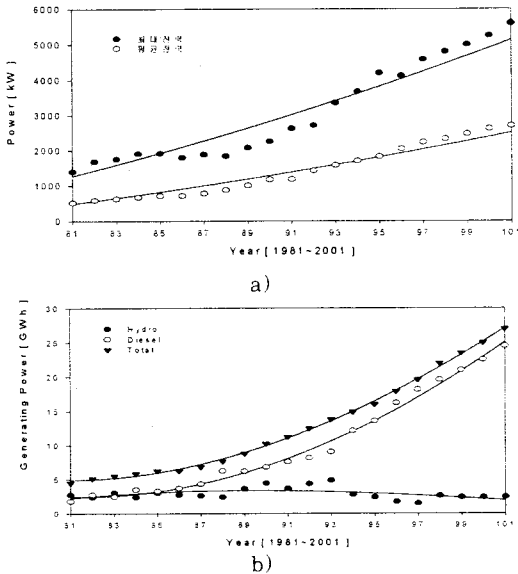


그림 1. 발전전력 a) 및 발전량 추이 b) (1981-2001)

2.3 울릉 계통

2.3.1 울릉 계통의 개요

울릉도에는 현재 6.6kV, 비점지식 배전선로를 운영하고 있다. 배전선로는 섬 남동쪽에 걸쳐 있는 남양내연-울릉내연 간의 비교적 튼튼한 모선을 중심으로 하여, 좌측으로 태하반, 우측으로 나리반이 북쪽으로 뻗어 있는 모양을 하고 있다. 태하반과 나리반은 추산수력발전소에서 선로상 연결은 되어 있으나 나리반의 송전능력이 약한 연유로 인하여 추산에서 분리 운전하고 있는 상태이고, 섬 전체 루프운전은 못하고 있는 실정이다.^[5,6,7]

울릉내연은 총 5,000kW의 설비가 있으나 기계가 노후하고 계통의 주파수 조절을 담당하기에는 부족한 점이 많다고 할 수 있다. 반면 남양내연은 설비용량이 2 × 1,500kW이며, 1996년에 설치되어 시설이 비교적 최신이고 효율 또한 높다 할 수 있다. 또한 풍력발전이 연결되어 있는 배전선로가 태하반이고 이 배전선로가 남양내연의 모선에서 시작한다는 점에서, 남양내연이 풍력발전(이하 현포 풍력발전으로 표기)의 급전충격분을 일차적으로 조절할 수 있도록 함이 효과적이라 할 수 있다.

2.3.2 남양 내연 발전소

남양내연의 디젤과 발전기의 내용은 다음과 같다.

1) 디젤

제작자 : 쌍용중공업(주) 95k 0006 PIDEH

터빈 형식 : 4행정, 배기식
회전방향 : CW (Flywheel측에서 봄)
출력 : 2,180 PS
과부하허용 : 110%(매 12시간마다 1시간)
발전기출력 : 1,875 kVA
피스톤 속도, 엔진속도 : 7.7 m/s, 720 rpm
실린더수, 실린더 직경, 실린더 행정 : 8, 280, 320 mm

2) 발전기

제작자 : 이천전기공업(주) LPU - 1750
외피 형태 : 개방적 보호형
계자 방식 : 회전돌극 계자형, 10극
냉각 방식 : 자력통풍 공기냉각 방식
여자 방식 : 자여자 브러시리스
상수 및 선수 : 3상 3선식
정격 역률, 절연 계급 : 지상 0.8, F중
주파수, 회전수 : 60 Hz, 720 rpm
연속 출력 (kW/kVA) : 1,500/1,875
정격 전압, 연속출력전류 : 6,600 V, 164 A

울릉도 간이계통도와 남양내연의 결선도가 그림 2와 같다.

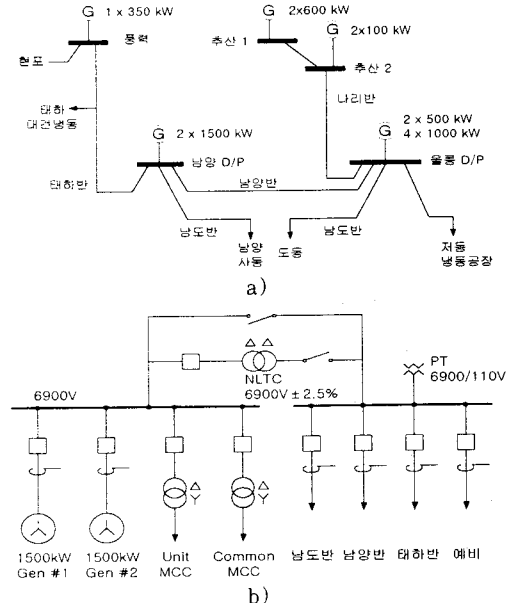


그림 2. 울릉계통도 a)와 남양 발전소 결선도 b)

2.3.3 풍력발전기의 계통병입시험

현포풍력발전기의 계통병입시험을 살피기 위해 풍력 각 출력 상황에 따른 계통의 주파수, 전압, 태하반 전력조류등을 측정하고자 하였다. 전압은 남양내연 출력단 모선을 PT (그림 2) 2차측 RS상 110V 단자를 채널 2에서 측정하였고, 주파수는 같은 곳에서 채취하여 채널 1에 기록하였다. 2000년 10월 18일 현포풍력의 전부하 350kW를 계통병입 시험하였다.

시험은 투입과 차단을 2차례, 즉, 09:06 1차 투입, 09:19 1차 차단, 09:30 2차 투입, 19:41 2차 차단을 하였고, 이때 계통주파수 및 남양내연 출력모선 전압을 측정할 결과가 그림 4이다 (scan 시간 2초, 당시 풍속 12.8 m/s). 두 차례의 풍력 전부하 투입시 디젤발전기(1호기 운전)의 출력은 170kW를 줄이는 응답을 하였고, 11분이 지나도록 잔여분 180kW를 추가로 추종하지 못하였다. 이로 인한 주파수 상승이 0.18Hz 였고, 이는 남양내연의 기록과 부합하였다.

2000년 10월 21일에는 풍황사정에 의하여 1/3 전부하(130kW)의 계통병입 시험이 있었고 또한 한전 자체 계통의 주파수 변동의 주 원인 제공자인 저동 냉동공장의 투입시험이 있었다. 이날 계통병입 시험동안 측정은 비교적 오래 동안 09:47 부터 12:30 까지 연속적으로 하였는데 이때 간헐적으로 현포풍력이 투입되어 전력 130kW의 출력이 있었고(풍속 약 8 m/s), 이 측정그래프가 그림 4 a) - d) 이다.

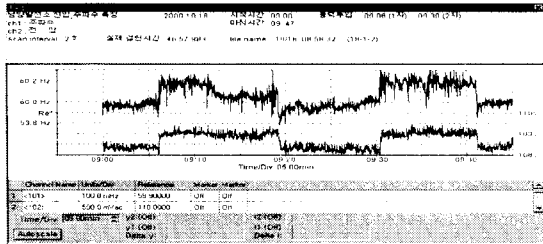
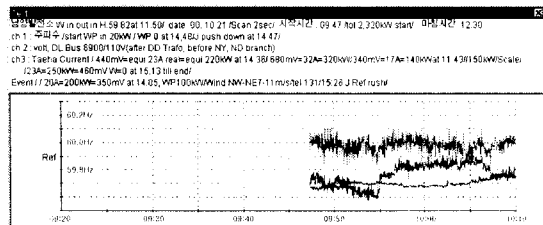
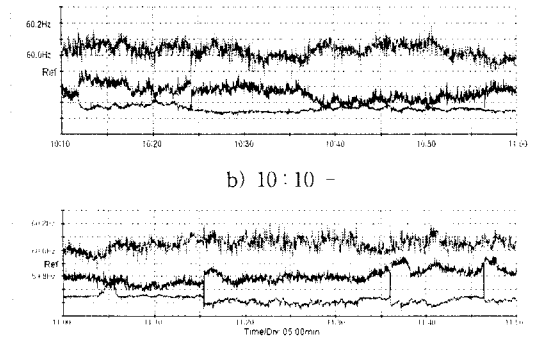


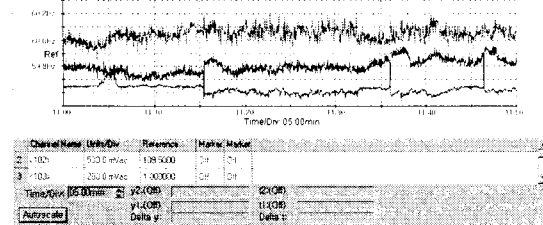
그림 3. 계통의 주파수, 출력도선 전압 (2000.10.18)



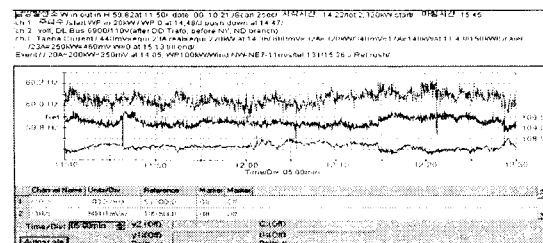
a) 09:20 -



b) 10:10 -



c) 11:00 -



d) 11:40 -

그림 4. 계통의 주파수, 전압, 태하반 전력조류 a)-d) (2000.10.21)

이날은 위 측정 채널 외에 제3 채널 즉, 태하반 전력 조류를 추가하였다. 제3 채널의 Reference값은 1V로 (CT 2차측), 감도설정은 200mV/div로 하였으며 이 값을 태하반 판별의 전력계와 맞추어 비교 교정하였다. 즉 측정값이 400mV일때 200kW이고 한 division당 100kW의 전력조류로 등가화 할 수 있었고, 이 전력이 그림에서 나타나고 있음을 알 수가 있다. 일정 전력이 남양으로부터 태하반으로 공급된다고 하였을 때 풍력전력이 생산되면 태하반 공급분에서 풍력이 빠진 분량이 제3 채널에 나타나고 있다.

당시 태하반의 부하 전력이 평균 230kW였고 풍력에서 130kW가 공급이 되었을 때 태하반 전력조류가 100kW로 감해짐이 제 3 채널에 기록이된 것이 그 예이다.(그림 4c 11:16, 11:36에서의 변동치 참조)

나아가서 풍력발전의 기동 정지시 주파수 변동 측정값을 읽을 수 있는데, 이때의 풍력출력은 130kW(1/3 정격 출력, 풍속 8m/s)이고 투입이 11:36, 차단이 11:43에 있었다.(그림 4c) 이때의 평균 주파수 변동은 0.1Hz로 기록되었다. 동일 용량의 풍력 2차 투입이 11:50, 차단이 12:17에 있었으며 이 과정에서의 평균 주파수 변동도 0.12Hz로 나타났다(그림 4d).

- 정격출력 테스트 : 0.18Hz 변동
- 1/3 정격 테스트 : 0.12Hz 변동
- 냉동부하 테스트 : 0.16Hz 변동

3. 결 론

현포풍력의 전출력 계통병입 시험에 따른 주파수 상승이 0.18Hz로 측정되었는데 이는 섬 지방이란 특수성을 고려할 때(도서지방의 주파수 변동폭 ± 0.4 Hz) 크게 우려 할 바 아니며 또한 다절발전기의 Droop 특성상 지극히 자연스러운 주파수변동이라 할 수 있겠다. 울릉계통은 현재 너무 취약하여 풍력발전이 투입되지 않은 상황에서 냉동공장의 투입만에도 0.16Hz의 변동이 기록되고 있다. 이 주파수 변동폭이 비록 한전규정 범위 안에 있다 하더라도 자체적인 설비의 보완이 요구된다 할 수 있으며, 그 방법으로 남양내연 조속기의 적절 조정으로 풍력의 급전충격을 일차적으로 완충시킬 수 있는 주도적 기능이 부여된다면, 풍력발전과 계통의 더욱 원만한 운영이 기대되리라 예상된다. 현포풍력의 출력이 350kW로 제한되어 발전량이 비교적 적다 하더라도 앞으로 울릉도 발전원가를 낮추는 면을 기대할 수 있는 것에 못지 않게 자연에너지 활용의 상징성에 역점을 두고 접근하는 자세가 한편 필요한 듯 하다.

(참 고 문 헌)

- (1) 오철수, 강장수, 권순홍, "동해안지역에 적합한 풍력발전 시스템에 관한 조사," 전기학회지, 제41권, 제10호, 1992.
- (2) 산업자원부 연구보고, "독립, 연계 운전용 대형 풍력발전 시스템 개발 및 운용평가에 관한 연구" 한국 화이바, 1998. 12. 30.
- (3) 에너지관리공단, "울릉도 풍력발전소 현장측정 보고서", 2000. 10. 30.
- (4) 오철수, "울릉도내 풍력발전시스템 타당성 조사", 경북대 공학설계원, 1998. 4.
- (5) 오철수, 서영택, 이우석, "풍력발전용 회전자여자 시스템 권선형유도발전기의 역률해석", 전기학회논문지, 제46권, 9호, 1997.
- (6) 김철호, 공정식, 오철수, "가변속과 일정속 풍력발전시스템의 출력제어", 한국에너지공학회지, 제9권, 2호, 2000.9.
- (7) D. M. Eggleston & F. S. Stoddard, "Wind Turbine Engineering Design", Van Nostrand Reinhold Co. N.Y., 1997.