碩士學位論文

660 kW 풍력발전 시스템의 전기품질 평가

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

濟州大學校 大學院

電氣電子工學科

朴 成 起

2003年 12月

660 kW 풍력발전 시스템의 전기품질 평가

指導敎授 金 一 煥

朴 成 起

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2003年 12月

朴成起의 工學 碩士學位 論文을 認准함

JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

審査委員長 印

委 員 印

委 員 印

濟州大學校 大學院

2003年 12月

Power Quality Assessment of 660 kW Wind Turbine Generation System

Sung-Ki Park

(Supervised by professor Eel-Hwan Kim)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2003. 12.

목 차

LIST OF FIGURES ····· ii

LIST OF TABLES ····· iii

SUMMARY ····· iv

Ⅰ. 서 론 ····· 1

Ⅱ. 전기품질의 측정 절차와 방법 ····· 2

1. 측정 조건 ····· 2
2. 측정 장비 ····· 3
3. 측정 방법 ····· 6
   3.1 정상 운전 ····· 6
   3.2 특별 운전 ····· 7

Ⅲ. 측정 및 평가 고찰 ····· 8

1. 측정 ····· 8
   1.1 정상 운전 ····· 8
   1.2 특별 운전 ····· 13
2. 측정 결과의 평가 고찰 ····· 16

Ⅳ. 결 론 ····· 18

참 고 문 헌 ····· 19

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

LIST OF FIGURES

Fig. 1 Assumed elements of measurement system ····· 3

Fig. 2 Active power and reactive power ····· 9

Fig. 3 Power factor curve ····· 9

Fig. 4 Maximum and minimum active power at 0.2 [s] ····· 11

Fig. 5 THD curve of phase a current with active power ····· 12

Fig. 6 Phase a current at soft starting ····· 13

Fig. 7 Phase a current at cutoff switching ····· 14

Fig. 8 Active and reactive power with wind speed ····· 16

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

LIST OF TABLES

Table 1 Measuring operation condition ····· 2

Table 2 Specification of requirements for measurement equipment ····· 3

Table 3 Specifications of power quality analyzer ····· 4

Table 4 Measurement procedure for normal operation ····· 6

Table 5 Measurement procedure for switching operation ····· 7

Table 6 Number of measurement in each wind speed bin ····· 8

Table 7 Power factor and reactive power ····· 10

Table 8 Ratings of model system ····· 10

Table 9 Peak output ····· 11

Table 10 Specifications of scope recorder ····· 15

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

SUMMARY

This paper presents the power quality assessment of Vestas V47-660 kW wind turbine generation system which is located in Haeng-Won wind farm. By the standard of IEC 61400-21 issued on the power quality of wind power generation, measurement and assessment are carried out using high accuracy power quality analyzer in normal and special operation condition.

In these operation, voltage, current, power, harmonic, inrush current at soft starting and cutoff current are measured. Using these data, the assessment of power quality is accomplished.

From the viewpoint of assessment, V47 system has good power quality characteristics. But it is shown that this system has low power factor and voltage harmonic problem in the bin of lower wind speed which is from 4 [m/s] to 6 [m/s].

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅰ. 서 론

급속한 지구환경의 오염으로 인하여 최근 전 세계적으로 대체에너지에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다(L. Xu and Tang Y. Tang, 1992), (C. Brune, R. Spee and A. K. Wallace, 1993). 우리나라에서도 1970년대 부터 대체에너지에 대한 중요성을 인식하여 풍력, 태양광, 바이오 에너지 등에 대한 지속적인 연구와 투자가 이루어지고 있으며, 그 중에서도 풍력은 가장 용량이 크고 상업화가 잘 이루어져 있어 차세대 청정에너지로서 각광받고 있다(C. Brune, R. Spee and A. K. Wallace, 1993). 이러한 추세에 부응하여 정부에서는 1998년부터 우리나라에서 풍속 자원이 가장 풍부한 제주도 행원에 10 [MW]급 풍력발전 단지를 조성하여, 현재 성공적으로 상업발전을 하고 있다(허종철, 2001), (전영진, 2002). 이러한 성공적인 상업발전은 우리나라에서도 풍력발전이 대규모로 가능하다는 것을 보여주는 기폭제가 되어 현재 민간기업이나 지방자치단체에서 대규모의 발전 단지를 조성하려고 하고 있다. 그러나 우리나라에서 10 [MW]급 정도의 대규모 단지를 조성하여 상업발전을 한 것은 이번이 처음이어서, 이로 인한 발전 단지에서 출력되는 전력이 계통선에 어떤 영향을 주는지 또는 전기품질이 어떤 상태인지 아직은 체계적인 연구가 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 논문에서는 국제 전기기술 위원회(IEC : International Electrotechnical Commission)가 제정한 풍력발전의 전기품질에 대한 규정 IEC 61400-21을 기준으로 하여 2003년 3월부터 2003년 5월까지 전압, 전류, 전력, 고조파 등을 측정하였다. 이 결과를 가지고 IEC 61400-21에서 제정한 평가 방법을 근거로 Vestas V47-660 [kW] 풍력발전 시스템의 전기품질을 평가하고자 한다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅱ. 전기품질의 측정 절차와 방법

1. 측정 조건

IEC가 제정한 IEC 61400-21에서는 풍력발전의 전기품질을 측정하기 위해서 다음과 같이 크게 두 가지 운전조건 하에서 측정하도록 하고 있다. 첫째는 정상 운전조건이고, 둘째는 특별 운전조건이다. 이를 정리하면 Table 1과 같다(IEC 61400-21, 2001).

Table 1 Measuring operation condition

정상 운전조건	특별 운전조건
역률과 무효전력	시동풍속에서의 스위칭
전력변동과 피이크	정격풍속에서의 스위칭
플리커	발전기 투입 시의 스위칭
고조파 진동과 주파수 분석	정격출력에서의 동작과 정지

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 1과 같은 측정 운전조건들은 주파수 또는 전압을 인위적으로 제어하지 않는 3상 계통 연계형 풍력터빈에 적용되며 15 [m/s] 이상의 풍속에 대해서는 측정을 하지 않는다. 그리고 계통선 연계는 고전압 계통에 직접 연계하여야 하며, 계통주파수의 변동은 ± 1 [%] 이내이어야 하고, 풍력터빈에 연계된 전압의 전체 고조파율은 5 [%] 미만이내이어야 한다. 그리고 전압의 변동율은 ± 5 [%] 미만이어야 한다. 또한 전압 불평형 계수는 2 [%] 미만이어야 하며, 10분 주기의 난류강도는 8 ~ 16 [%] 사이이어야 한다는 조건 하에서 측정이 이루어지도록 한다.

2. 측정 장비

풍력발전의 전기품질을 측정하기 위해서는 Fig. 1과 같이 표현된 요소들을 가지고 측정 시스템에 이용된다. 여기서 디지털 데이타 처리 시스템은 소프트웨어나 아날로그 변환기 그리고 필터에 의해 대체할 수가 있다. 이 모든 요소들은 독립적으로 조합할 수 있으나, 단독 장비로도 측정할 수가 있다. Fig. 1에 들어가는 측정 장비는 Table 2의 사양을 만족해야 한다.

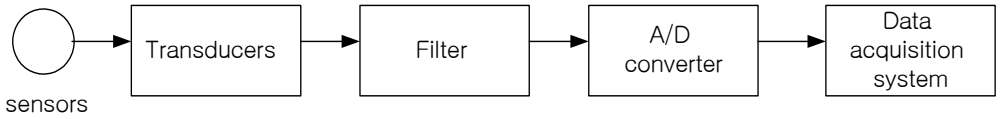

Fig. 1 Assumed elements of measurement system

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 2 Specification of requirements for measurement equipment

장 비	요구되는 정확도	준수 규격
계기용 변압기	등급 1.0 이하	IEC 60186
변류기	등급 1.0 이하	IEC 60044-1
피상전력 측정 장치	등급 1.0 이하	IEC 60688
유효전력 측정 장치	등급 1.0 이하	IEC 60688
무효전력 측정 장치	등급 1.0 이하	IEC 60688
풍속계	± 0.5 [m/s] 이하	-
필터+A/D컨버터+DAS	full scale의 1 [%] 이하	-

본 논문에서 사용된 측정 장비는 미국 AMETEK사의 전기품질 분석기(Model : Meridian Ultra Power Quality Analyzer)를 사용했으며 이 장비에 대한 사양은 Table 3과 같다.

Table 3 Specifications of power quality analyzer

Input	Voltage	Four voltage inputs, A, B, C, neutral to ground voltage
	Current	Four current inputs, phase A, B, C, and neutral current
	Circuit Type	Single phase split phase, 3-phase wye, 3-phase delta
	Impedance	5 Mega-ohm
	Digital	8 selectable inputs and 8 outputs through external I/O (optional)
Measurement range and capability	Voltage	5-750 VAC and 0-800 VDC
	Current	0~10,000 amps through external current clamps (0-3 VAC input)
	Frequency	DC, 45 to 65 Hz, and 400 Hz
	Sample Rate	256 samples per cycle, (nominal 15.3 kHz @ 60 Hz, 12.8 kHz @ 50 Hz), 400 Hz mode : 32 samples per cycle (nominal 12.8 kHz)
	Peak Detector	Sampling at 4 MHz
Measurement capability	Voltage and Current	True RMS (minimum, maximum, and average), peak (hi, low, abs), waveform, instantaneous
	Power	Watt, VAR, VA, power factor, phase angle, unbalance
	Energy/ Demand	Watt-hours, var-hours (supplied, delivered, and totaled), thermal demand
	Transient	250 nano-second w/ 4 MHz peak detect
	Harmonics	To 60rd voltage, current and power, THD, meets IEC 61000-4-7
	Flicker	Pst, Plt, instantaneous, meets IEC 61000-4-15, IEC 868
Measurement accuracy	Resolution	14 bit
	Voltage, Current	±0.05 % of full scale 0.1 % of full scale (VA, VAR, Watt, PF)
	Energy	0.1 % of full scale
Recording and data storage continous or by exception recording rate		Adjustable from one cycle up to one week, multiple rates per measurement type

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

To be continued

Data Storage		10 GB Hard Drive, 1.44 MB 3.5 inch Floppy, 64 MB RAM
Event triggering voltage and current		All measured or calculated values : internal and external Up to 32 triggers on any measurement, pre-trigger up to one second, post trigger unlimited
Communications	Ethernet	TCP/IP, 10 BaseT
	Modem	56 kBps, V.90 (internal)
	Serial	RS 232
	Parallel	Centronics for local printer
User interface	Display	12.1 inch Active color Hibrite SVGA display with fully sealed Touchscreen
	Keyboard	84 key QWERTY, sealed, backlit

Table 3에서 보면 측정하는 파라미터의 측정오차 범위가 Table 2에서 요구하는 수준보다 적어 풍력발전의 전기품질을 측정하기 위한 IEC 규정에 잘 부합되고 있음을 알 수 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3. 측정 방법

3.1 정상 운전

정상 운전에서는 역률과 무효전력, 전력변동과 피이크, 플리커, 고조파 진동과 주파수 분석 등이 측정된다. 이에 대한 측정 방법은 Table 4와 같다.

Table 4 Measurement procedure for normal operation

측정값	전압, 3 상 전류, 3 상
계산값	유효, 무효, 피상전력, 최대출력, 출력변동, 플리커, 고조파
샘플링 간격	1 주기 당 256 샘플링, 12.8 [kHz]
평균시간	0.2 [s], 1 [min], 10 [min]
정밀도	출력 0.1 [%] 이하
요구되는 측정 횟수	시동풍속에서 15 [m/s] 까지 1 [m/s] 간격으로 풍속 bin 당 5회 이상 측정

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

3.2 특별 운전

특별 운전에서의 측정은 전원 계통과 연결하거나 차단하기 위한 주접점 스위치 개폐 조작 시 주로 이루어진다. 시동풍속에서의 주접점 개폐 스위칭과 정격풍속에서의 주접점 개폐 스위칭, 발전기 투입 시 스위칭 운전 그리고 정격출력에서의 동작과 정지에 대해 측정한다. 이에 대한 내용은 Table 5와 같다.

Table 5 Measurement procedure for switching operation

측정값	전압, 3 상
	전류, 3 상
	풍 속
계산값	전압과 전류의 실효치
	유효, 무효, 피상전력
샘플링 간격	1.6 [kHz] ~ 12.8 [kHz]
평균시간	1 샘플 주기
정밀도	전압 : 1 [%] 이하
	전류 : 1.5 [%] 이하
	출력 : 2.5 [%] 이하
요구되는 측정 횟수	시동풍속에서 15 [m/s] 까지 1 [m/s] 간격으로 풍속 bin 당 5회 이상 측정

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅲ. 측정 및 평가 고찰

1. 측 정

1.1 정상 운전

본 논문에서 사용된 전기품질 분석기를 사용하여 2003년 3월부터 2003년 5월까지 제주 행원 풍력발전 단지 내에 설치되어 운용되고 있는 Vestas V47-660 [kW] 시스템에 연결하여 IEC가 제정한 방법대로 측정하였다. 풍력발전 시스템이 계통선에 투입되고 발전 시스템이 정상적으로 동작되었을 때 무효전력과 역률은 10분 평균값으로 하고 풍속 bin 당 측정 횟수는 아래의 Table 6과 같다. Table 7은 각 풍속 bin에 대한 무효전력과 역률을 나타내고 있다. 여기서 가령 풍속 bin 8은 풍속 7 [m/s]에서 8 [m/s] 사이를 의미한다. 풍력발전 시스템의 무효전력은 IEC 61400-21 지침에 따라 계산된다. Fig. 2는 10분 평균값으로 하여 측정된 유효전력과 무효전력의 관계를 나타내고 있다. 역률은 유효전력/무효전력에서 구해지며 Fig. 3에 나타내고 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 6 Number of measurement in each wind speed bin

풍속 bin [m/s]	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
측정 횟수	0	0	18	14	22	23	29	31	30	18	30	17	15	12

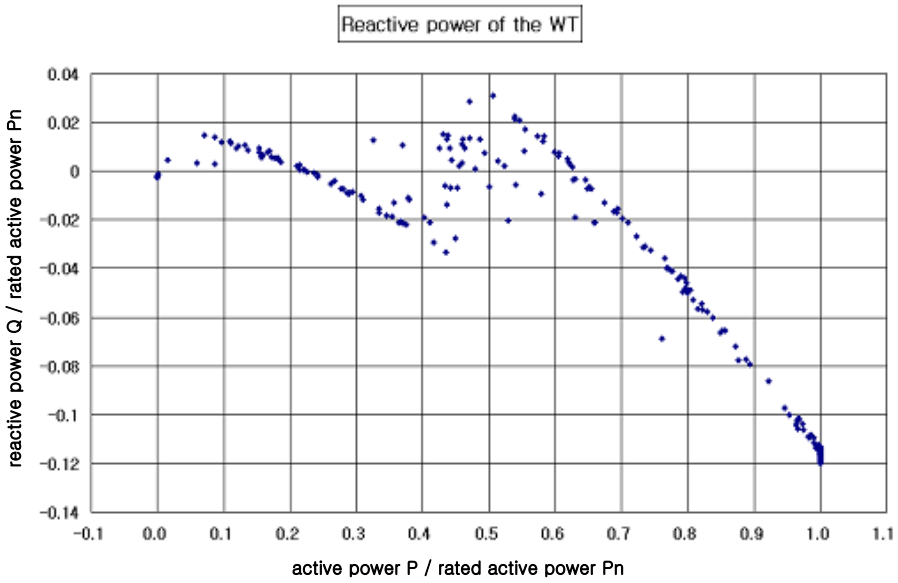

Fig. 2 Active power and reactive power

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

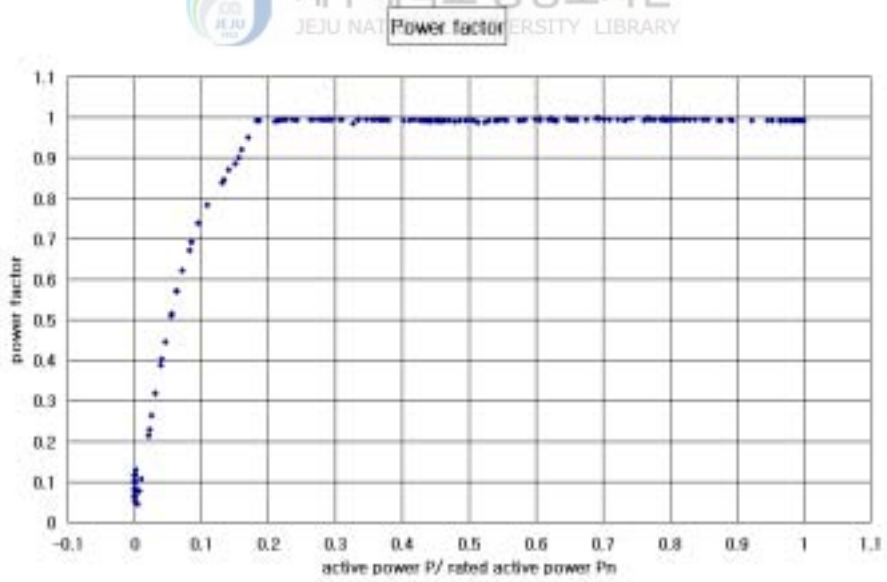

Fig. 3 Power factor curve

Table 7 Power factor and reactive power

유효전력 [kW]	측정 횟수	유효전력 /무효전력 P/Pn		평균 유효전력 [kW]	평균 무효전력 [kvar]	역률
		bin from	bin until			
0	33	0	0.15	26.09	1.88 c	0.39
100	31	0.15	0.31	144.23	0.31 c	0.99
200	32	0.31	0.46	259.69	6.27 i	0.99
300	30	0.46	0.61	346.63	5.30 c	0.99
400	25	0.61	0.76	442.34	9.65 i	0.99
500	79	0.76	1.00	612.02	60.21 i	0.99
660	35	1.00	1.00	660.15	76.59 i	0.99

주) c는 진상, i는 지상을 의미한다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 8은 본 논문에서 모델 시스템으로 채용된 V47 풍력발전 시스템의 정격을 나타내고 있다.

Table 8 Ratings of model system

유효전력 (Pn)	660 [kW]
선간전압 (Un)	690 [V]
피상전력 (Sn)	743 [kVA]
무효전력 (Qn)	342 [kvar]
상전류 (In)	560 [A]

Table 9 Peak output

평균 시간 [sec]	유효전력		무효전력		최대 피이크	
	P[kW]	P/Pn	Q [kvar]	Q/Pn [kvar/kW]	Date, time	풍속 [m/s]
0.2	674.7	1.0	51.1 i	0.08 inductive	25.06.2003 09:49:10	13
60	685.0	1.0	44.0 i	0.07 inductive	18.06.2003 17:13:01	13
600	685.5	1.0	14.0 i	0.02 inductive	19.06.2003 14:29:56	13

주) i는 지상을 의미한다.

Table 9는 0.2 [s], 1 [min], 10 [min] 평균시간 동안에 나타나는 최대출력이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

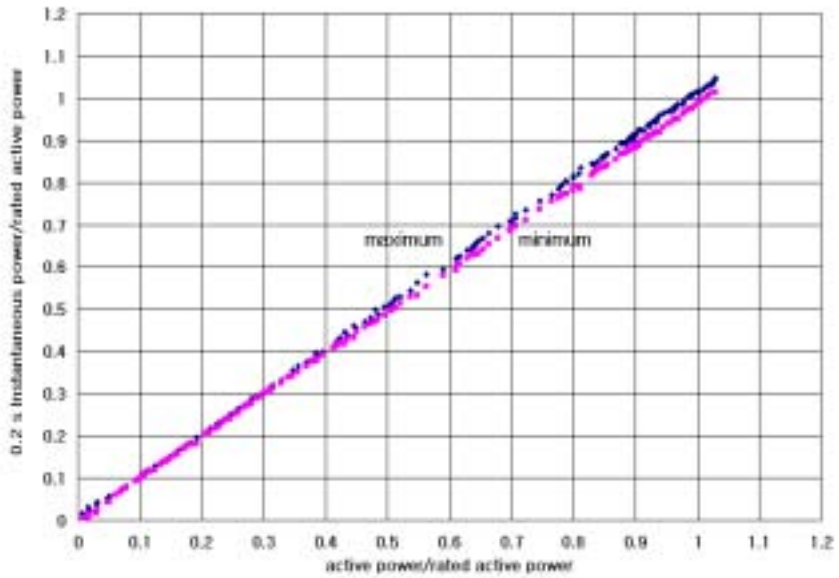

Fig. 4 Maximum and minimum active power at 0.2 [s]

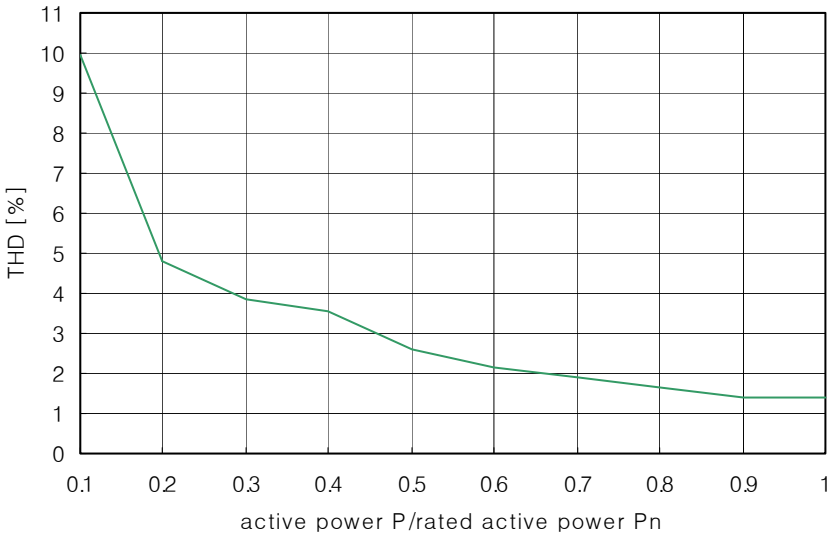

Fig. 5 THD curve of phase a current with active power

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 4는 유효전력을 0.2 [s] 평균값으로 하여 단위출력 당 최대값과 최소값을 나타낸 것이고, Fig. 5는 유효전력의 출력 변화에 대한 a상 전류의 전체 고조파율을 나타낸 것이다.

1.2 특별 운전

시동풍속에서 풍력발전 시스템이 계통선에 투입될 때 과도한 돌입전류를 제한하기 위하여 싸이리스터를 이용한 소프트 스타팅을 행한다. 이때 어느 정도의 전류 피이크가 발생하는지 순간 과도현상을 스코프 레코더로 측정하면 쉽게 얻을 수 있다. 여기에 사용된 스코프 레코더는 Nicole사의 Vision으로 사양은 Table 10과 같으며 이 장비의 성능은 IEC 61400-21 규정을 만족하고 있다. Fig. 6은 스코프 레코더를 이용하여 풍속이 5 [m/s]일 때 풍력발전 시스템이 cut-in 되어 싸이리스터에 의해서 소프트 스타팅시의 a상의 전류를 나타내고 있다.

Fig. 7은 풍속이 약하여 10분 평균풍속이 4 [m/s] 이하로 떨어질 때 풍력발전 시스템의 작동을 멈추기 위해 주접점 개폐기를 개방시킬 때 a상에서 나타나는 전류 파형을 나타내고 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

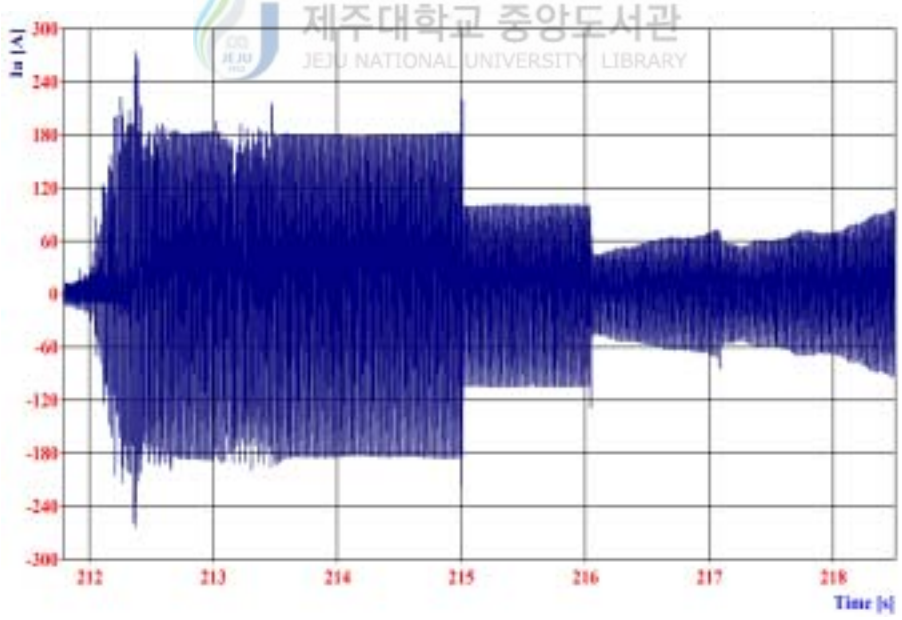

Fig. 6 Phase a current at soft starting

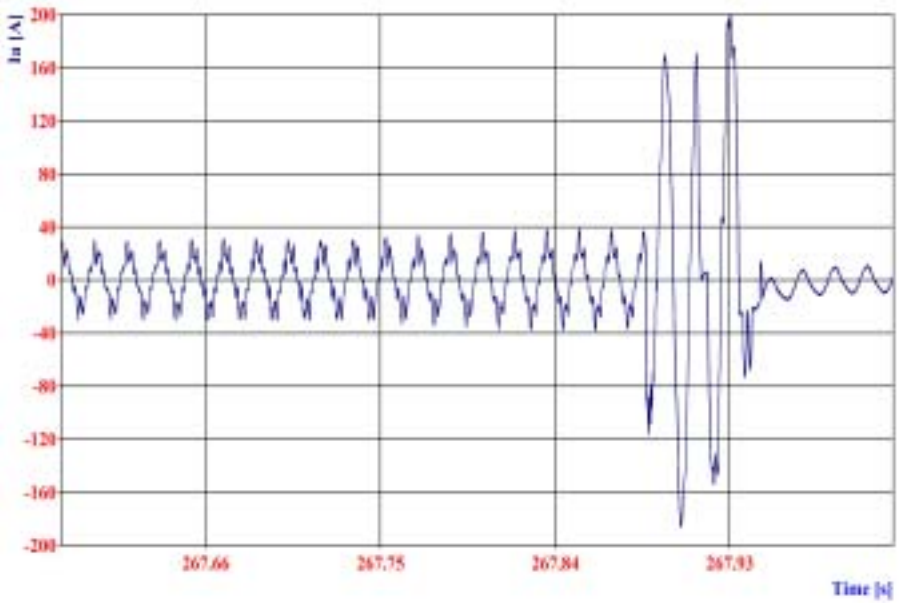

Fig. 7 Phase a current at cutoff switching

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 10 Specifications of scope recorder

Analog Specifications	
Analog Channels	8 or 16
Sampling Rate	1 Sample/s to 100 kS/s
Band width	20 kHz
Resolution	16-bit
Range	50 mV to 1000 V
Isolation	500 Vrms
Filtering	6-pole Bessel anti-alias filter, autotracking
Over Voltage Protection	2 kV
Gain	0.05 % FSR
Offset	0.03 % FSR
Linearity	0.02 %
Maximum Static Error (MSE)	0.10 %
Input Impedance	1 Mega-Ohm, 40 pF nominal
Maximum Input Voltage	500 Vac, dc-peak, IEC Cat 1
CMRR, < 10 V	105 dB
CMRR, > 10 V	72 dB
PC System Platform	
Processor	Intel Celeron® 466 MHz or greater
RAM	64 MB or greater
Display	10.4″ TFT color, 640 x 480
System Hard Drive	Internal IDE hard drive, 4 Gbyte or greater
Acquisition Drive	Internal SCSI hard drive, 9 Gbyte or greater
Floppy Drive	Internal 3.5″ 1.44 Mbyte standard, 120 MB Imation LS-120 Super Disk TM (option)
Acquisition, Display, and Plotting	
DA Modes	Continuous, Transient
Triggers	Positive, negative, dual-slope, dV/dt
Pre-trigger	1 to full-disk pre-trigger points
Post-trigger	User selectable
Number of triggers	1 to 10,000
Digital Modes	Status, Frequency, RPM
External I/O	Clock, Trigger, Start, Stop, Triggered Alarm
External Clock	Up to 50 kHz
Display Modes	Continuous, Triggered Refresh, Meters XY (transient only)
Realtime Parameters	Max, Min, Peak-to-Peak, Mean, Slope, Period, Duty Cycle, Pulse Width, RMS, Thermocouple linearization
Zoom	Zoom X and Zoom Y increase display 2x per click

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. 측정 결과의 평가 고찰

IEC 61400-21을 기준으로 하여 측정한 결과를 고찰해 보면 Fig. 2에서는 유효전력에 대한 무효전력의 변화를 보여주고 있다. 여기서 단위 유효전력이 약 0.22를 기준으로 하여 그 이하에서는 진상, 그 이상에서는 지상으로 운전이 되다가 다시 단위 유효전력이 약 0.4에서 0.62 사이에서는 진상 운전, 그 이상에서는 다시 지상으로 운전되고 있다. 이것은 Fig. 8에서 보듯이 V47 시스템이 풍력발전기의 무효전력 보상을 진상용 콘덴서 용량(Q_com)이 2 단계 즉 175 [kVA]와 225 [kVA]로만 보상을 하고 있기 때문에 보상 후의 무효전력(Q_ref)의 변화가 진상과 지상으로 나타나고 있으며 저 풍속 영역에서 유효전력에 비해 보상 후의 무효전력량이 훨씬 커 무효전력 보상이 제대로 되고 있지 않음을 알 수 있다.

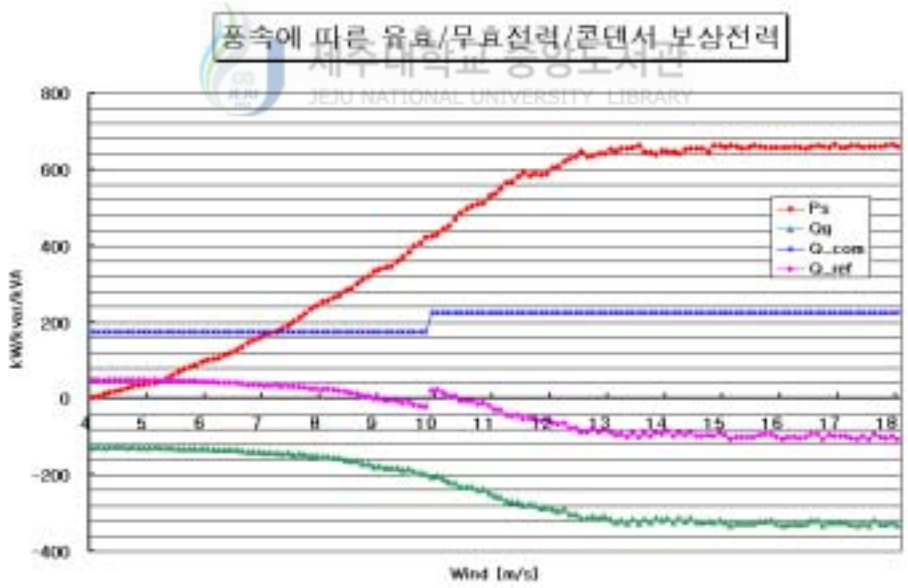

Fig. 8 Active and reactive power with wind speed

Fig. 3에서는 유효전력에 대한 역률의 변화를 나타내고 있다. 이 그림에서 보면 단위 유효전력이 0.18 이상에서는 거의 1에 가까움을 알 수 있고 0.15 이하에서는 역률이 0.9 이하가 되어 역률이 현저하게 떨어짐을 알 수 있다. 이것은 저 풍속 영역에서 역률이 나쁘다는 것을 의미하며 진상용 콘덴서에 의한 역률 보상이 제대로 잘 되고 있지 않음을 나타내고 있다. 따라서 이에 대한 새로운 역률 보상 대책이 요구된다.

Fig. 4는 0.2 [s] 동안 단위 유효전력에 대한 최대값과 최소값의 변화를 보여주고 있다. 이 결과에서 최대값과 최소값의 차이가 작아 풍속에 대한 출력 변동이 적음을 알 수 있다. Fig. 5는 유효전력에 대한 전류의 전체 고조파율을 나타내고 있다. 이 결과에서 보면 단위 출력이 0.2 이하에서는 고조파율이 5를 넘고 있다. 이것은 출력이 적은 저 풍속 영역에서 출력전류에 고조파 성분이 많이 포함되고 있음을 나타내고 있어 이에 대한 대책이 필요함을 알 수 있다.

Fig. 6과 Fig. 7은 풍력발전 시스템이 계통에 투입될 때의 소프트 스타팅 시와 계통 차단 시의 a상의 전류를 나타내고 있다. 이 결과에서 보면 소프트 스타팅 시 전류의 최대치가 300 [A] 이하여서 이것은 정격전류의 0.5 정도로서 기동 시 과도한 돌입전류를 잘 제한하고 있어 싸이리스터에 의한 소프트 스타트 제어가 잘 이루어지고 있음을 알 수 있다. 또한 계통 차단 시에도 전류가 200 [A] 이하여서 큰 문제가 없음을 알 수 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅳ. 결 론

풍력발전 시스템의 전기품질에 대한 측정과 평가 방법을 규정한 IEC 61400-21을 기준으로 하여 제주 행원 풍력발전 단지의 Vestas V47-660 [kW] 시스템을 모델로 정하여 이 규정에 부합되는 전기품질 분석기와 스코프 레코더를 사용하여 측정된 결과를 가지고 평가를 한 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 저 풍속 영역(4 ~ 6 [m/s])에서 전력용 콘덴서에 의한 역률 보상이 제대로 안되어 역률이 현저하게 떨어지는 문제점을 야기하고 있다.
2) 저 풍속 영역에서 상전류의 전체 고조파율이 5 [%]를 넘어 고조파 문제가 발생되고 있다.
3) 소프트 스타팅 시나 계통 차단 시에도 과도한 돌입전류가 흐르지 않고 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

이상과 같은 결과들을 종합해 보면 Vestas V47-660 [kW] 시스템은 대체적으로 전기품질이 양호하다고 볼 수 있으나 저 풍속 영역에서 보완해야 할 점이 대두되고 있다. 만약 정지형 무효전력 보상 시스템을 채용하여 운전된다면 저 풍속 영역에서 역률 저하 문제를 어느 정도 개선시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한 본 논문에서 전압 플리커에 대한 연구가 이루어지지 않아 이 분야를 보완하고 측정 횟수를 지금보다 더 많이 추가한다면 더 신뢰성 있는 풍력발전 시스템의 전기품질에 대한 평가 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

B. K. Bose, 1988, Power Electronics and AC Drives, Prentice Hall. pp. 207-231.

C. Brune, R. Spee and A. K. Wallace, 1993, Experimental Evaluation of a Variable Speed Doubly-Fed Wind Power Generation System, IEEE IAS Annual Meeting Conf., pp. 480-487.

L. Xu and Tang Y. Tang, 1992, A Novel Wind Power Generating System using Field Orientation Controlled Doubly Fed Excited Brushless Reluctance Machine, IEEE IAS Annual Meeting Conf., pp. 408-413.

L. Xu, Li Zhen and E. H. Kim, 1998, Field Orientation Control of a Doubly Excited Brushless Reluctance Machine, IEEE Trans. Appl. Vol. 34. No. 1, Jan/Feb.

IEC 61400-21, 2001. 12, Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines.

X. Xu, Rik De Doncker and Donald W. Novotny, 1998, A Stator Flux Oriented Induction Machine Drive, Proc. of IEEE PESC, pp. 870-876.

전영진, 제주행원 풍력발전 시스템의 모델링 및 해석, 석사학위 논문, 제주대학교 대학원, 2002. 12.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

허종철, 2001, 제주도내 풍력자원 연구조사 보고서.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

감사의 글

지난 2년간의 대학원 생활이 이제야 조그만 결실을 맺게 되었습니다. 지금까지 여러 가지로 부족한 저를 항상 넓은 마음으로 관심을 가지고 지도해 주신 김일환 교수님께 먼저 깊은 감사를 드립니다.

그리고 많은 가르침과 조언으로 이끌어 주신 좌종근 교수님, 오성보 교수님, 이개명 교수님, 김세호 교수님, 김호찬 교수님께도 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

또한 실험실에서 밤늦도록 실험을 같이 하고 격려해 주신 제주산업정보대학교 강경보 교수님과 행원 풍력발전 연구를 하는 동안 많은 격려와 지도를 해주셨던 기계공학과 허종철 교수님께도 감사드립니다.

같은 연구실에서 함께 고생하고 노력했던 전영진 선배와 대학원 선배이자 친구인 김정웅에게도 고마운 마음을 전하고 대학원 생활동안 옆에서 여러모로 도움을 준 김도진, 부창진 선배와 김태한, 강찬호, 부찬혁, 양익준, 라경윤, 고민철 원생, 그리고 행정적으로 많은 도움을 준 강시훈, 현여숙 조교에게도 감사드립니다.

끝으로 오늘이 있기까지 헌신적인 사랑과 희생으로 보살펴 주신 부모님과 격려를 아끼지 않은 동생에게도 감사의 마음을 전합니다.

2003년 12월

박 성 기

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY