

HVDC Overhaul 및 풍력발전을 고려한 제주계통 전력품질 분석

(Power Quality Analysis of Jeju System Considering HVDC Overhaul and Wind Turbines)

채우규* · 윤기갑 · 김재언 · 한지헌

(Woo-Kyu Chae · Gi-Gab Yoon · Jae-Eon Kim · Ji-Hon Han)

요 약

제주의 전력계통은 HVDC로 육지계통과 연계되어 있으며, 2곳의 풍력발전단지가 연계되어 있다. 향후 대용량의 풍력발전이 연계된 상황에서 HVDC Overhaul을 시행하거나 어떤 사고로 HVDC가 끊어 진다면 제주계통을 정상적으로 유지하는 것이 어려울 수도 있다. 이에 본 논문은 Overhaul 및 풍력발전이 제주계통에 어떤 영향을 미치는지를 분석하기 위하여 지난 5월에 이루어진 Overhaul 기간에 변전소 2곳 및 풍력발전단지 2곳을 선정하여 전력품질을 측정하고 분석하였다. 또한 풍력발전량에 따른 인근 D/L의 전력품질을 측정함으로써 풍력발전이 전력계통에 미치는 영향을 분석하였고 그 영향정도가 명확하지 않은 부분에 대해서는 통계 데이터를 이용하여 분석하였다. Overhaul 기간에는 주파수가 매우 불안정 하였으며, 전압왜형률이 규정치를 초과하기도 하였다. 풍력발전량에 비례한 고조파 전류가 계통으로 유입되었으며, 발전량이 3,000[kW] 이상일 때 인근 D/L의 전압파형이 발전량에 비례하여 왜곡되는 것을 확인할 수 있었다.

Abstract

Power system of Jeju is interconnected to the mainland using HVDC and that is also interconnected two wind farms. Control of Jeju power system will be difficult if HVDC is disconnected or HVDC is overhauled under large scale wind farms interconnected. We measured and analysed the power quality of two substation and two wind farms to assess that wind farms and HVDC overhaul have an effect on Jeju system or not during the HVDC overhaul. We found that the frequency of Jeju system is very unstable and the voltage distortion excess the limitation. Harmonic currents of wind farms flew into Jeju system in proportion to the power of wind turbine. And the voltage of nearby distribution line was distorted by power of wind turbine when the amount is more that 3,000[kW].

Key Words : HVDC, Wind Turbine, Power Quality, THD, Pst

* 주저자 : 한전 전력연구원 일반연구원
Tel : 042-865-5944, Fax : 042-865-5904
E-mail : wkchae@kepco.co.kr
접수일자 : 2007년 9월 27일
1차심사 : 2007년 10월 8일
심사완료 : 2007년 11월 12일

1. 서 론

제주 전력계통은 발전설비 부족에 따른 계통의 안

정적 운영을 위하여 제주-해남간 HVDC를 통하여 육지계통과 연계되어 있으며, HVDC 연계선로는 발생 가능한 사고에 대비하기 위하여 2회선으로 구성되어 있으나 2회선에서 동시에 고장이 발생할 가능성도 배제할 수 없다. 또한 HVDC 유지보수를 위하여 매년 Overhaul을 진행하고 있으며, 이는 제주계통의 단독운전을 의미한다. 제주계통이 64[GW] 이상되는 육지의 계통에서 분리되어 0.5[GW] 내외의 규모로 단독운전을 한다면 주파수 유지 및 전압관리 측면에서 기존의 경우에 비하여 안정도 확보에 어려움을 겪을 가능성이 커지게 된다.

현재 제주도는 행원과 환경에 15.8[MW]의 풍력발전이 연계되어 운전되고 있고 향후 약 85[MW]의 추가 연계가 예정되어 있다. 전체 계통 설비용량에 비하여 풍력발전용량이 적을 때는 풍력발전 출력의 변동이 계통 주파수에 큰 영향을 주지 못하였으나 용량이 계속 증가하게 되면 전력품질 및 계통 안정도에 여러 가지 측면에서 영향을 미치게 되므로 이에 대한 대비책이 필요하다[1].

지금까지의 많은 연구들은 주로 과도상태에서 대규모 풍력발전이 제주계통에 어떤 영향을 줄 수 있고 제주계통을 안정적으로 운영하기 위하여 연계 가능한 풍력발전의 최대용량을 얼마로 산정할 것인가에 대하여 한정되어 있었고[1-2] 유사한 연구가 진행중이다. 또한 풍력발전 자체에서 생산하는 전력품질에 대한 측정 및 분석은 다수 있었고 품질평가 기관에 의하여 분석되고 있지만[3-4] 전력계통에 어떤 영향을 주는지에 대한 분석은 저조한 것이 사실이다. 그러나 비록 대용량의 풍력발전이 전용선로로 연계되었을 지라도 인근 D/L에 전력품질에 영향을 줄 수 있으며, 특히 사고 또는 Overhaul과 같은 이유로 인한 HVDC의 차단상황에서 풍력발전이 제주계통에 어떤 영향을 미치고 있는지를 인지하는 것도 요구된다.

본 논문에서는 지난 5월에 실시된 HVDC Overhaul 기간을 이용하여 변전소 2곳을 선정하여 전력 품질을 측정하고 Overhaul이 제주계통에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 해당 기간에 풍력발전량에 따른 인근 D/L의 전력품질 영향정도를 분석하기 위하여 풍력발전의 연계점(PCC, point of common

coupling) 및 풍력발전이 연계된 주변압기(MTr)에서 인출된 D/L에서 동시에 측정하였다. 측정된 데이터를 이용하여 풍력발전량에 따른 인근 D/L의 영향정도를 분석하였으며, 그 영향정도가 명확하지 않은 부분에 대해서는 통계적 방법으로 접근하여 분석을 수행하였다.

2. 전력품질 유지 기준

2.1 전기품질 유지기준

2.1.1 주파수 유지범위

산자부의 전기품질 유지기준(고시)에 따르면 계통 주파수를 정상시 60±0.2[Hz]의 범위 이내로 유지하고 비상상황의 경우 62~57.5[Hz] 범위 내에서 유지할 수 있도록 되어 있다.

표 1. 배전선로의 전압유지 범위
Table 1. Voltage range of D/L

구 분	범 위
배전선로에서의 유지 범위	12,000[V]~13,800[V] 20,800[V]~23,800[V]
주변압기(MTr)의 송출전압 유지 범위	22.9[kV]+4[%]~-1[%] (23,816[V]~22,671[V])

2.1.2 전압의 유지 범위

배전선로의 전압은 ULTC를 이용하여 표 1과 같이 유지하도록 규정되어 있다.

2.1.3 고조파

배전계통의 고조파 관리 기준은 현재 THD기준으로 3[%] 이하로 되어 있고 각 고조파 차수별로는 정의되어 있지 않은 상태이나 향후 이 기준을 개정할 예정이다.

2.1.4 플리커

현재 국내의 플리커 관리 기준은 $\Delta V_{10} \leq 0.45$ 로 되어 있으나 ΔV_{10} 을 개발한 일본조차 이 기준을 사용하지 않고 있으며 IEC 기준에 준하여 기준을 개정하려는 움직임을 보이고 있다. 현재 IEC에서 권장하

는 배전계통의 플리커 관리기준은 다음과 같다.

$$P_{st} \leq 0.9$$

$$P_{lt} \leq 0.7$$

이때 Pst의 계산에는 주기적으로 측정된 플리커 지수(최소한 초당 50개)의 값에 대한 누적확률밀도 함수가 이용된다. 누적확률밀도함수의 모양은 전압 요동의 성질에 따라서 매우 다르므로, 이것을 적당히 나타내기 위한 알고리즘으로 multipoint algorithm이 이용된다. Pst를 수식으로 나타내면 식 (1)과 같다.

$$P_{st} = \sqrt{(0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50})} \quad (1)$$

Plt는 12개의 연속된 Pst 값으로 이루어지며 수식으로 나타내면 식 (2)와 같다[6].

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} P_{sti}^3} \quad (2)$$

2.2 분산형전원 배전계통 연계 기술기준

2.2.1 전압변동

분산형전원 발전설비의 연계로 인한 특고압 계통의 상시 전압변동은 2[%] 이하, 순시 전압변동(2초 이하)은 2[%] 이하로 하도록 되어 있다. 또한 분산형 전원 발전설비의 빈번한 출력변동과 빈번한 병렬 분리에 의한 전압변동으로 인하여 특고압계통의 상시 전압이 한전의 공급전압 변동범위(12,000~13,800[V]/20,800~23,800[V])를 벗어날 우려가 있을 때는 분산형전원 발전설비의 설치자가 출력전압을 조정 하도록 되어 있다.

2.2.2 고조파 전류

고조파 전류는 10분 평균한 40차까지의 종합 전류 왜형률(TDD)이 5[%]를 초과하지 않도록 각 차수별로 제어하여야 한다. 여기서 TDD는 식 (3)으로 정의 된다. TDD는 수식의 분모에 정격 전류를 사용하는 반면 THD 계산시에는 전류중 1차 harmonic 성분을

사용하기 때문에 그 값이 발전량에 따른 큰 차이를 보이므로 분산전원의 고조파 전류를 평가하기 위해서는 TDD를 사용하는 것이 보다 합리적이다.

$$TDD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} I_h^2}}{I_L} \times 100 \quad [\%] \quad (3)$$

I_h : 각 차수의 고조파 전류 크기, h : 고조파 차수, I_L : 최대 정격 전류

2.2.3 플리커

플리커 가혹도 지수는 특고압 계통 연계지점에서 단시간(10분) E_{psti} 는 0.35 이하로, 장시간(2시간) E_{plti} 는 0.25 이하로 제한하도록 되어 있다. 이때 E_{psti} 는 분산형전원에서 방출한다는 의미에서 계통의 플리커 지수인 Pst에 Emission을 추가한 것이다[7].

3. 제주계통 전력품질 분석

3.1 측정 개요

3.1.1 제주계통 개요

제주도의 부하량은 약 350[MW]에서 510[MW] 정도이며 현재 15.8[MW]의 풍력발전을 상용운전하고 있으며 향후 85.8[MW] 용량의 추가 건설 계획이 추진중에 있다[5]. 전력계통 구조는 10개의 154[kV] 모선에 송전망은 환상망을 이루고 있고 제주도내의 북제주 모선과 내륙 해남지역의 모선이 2회선의 연계선(HVDC)으로 연결되어 있다. 제주 계통은 연계선에 의하여 연평균 40[%] 정도의 전력을 공급 받고 있고 5단계의 부하 차단을 통하여 사고에 대응하도록 설계되어 있다[1].

3.1.2 측정 개요 및 측정 장비

제주계통을 분석하기 위하여 아래와 같이 변전소 2개소 및 풍력발전단지 2곳에서 전력품질을 측정하였다. 각 변전소의 2개 D/L은 각각 환경품질 및 행원품질이 연계된 MTr에서 인출된 D/L이다. 측정기간은 약 15일간이다.

표 2. 측정 개요

Table 2. Summary of measurement

구 분	내 용
측정 위치	한림복합S/S 청수D/L 인출
	성산S/S 온평D/L 인출
	한경풍력 Main VCB반
	행원풍력 Main VCB반
측정 기간	2007년 5월 10일~25일
측정 장비	PNA-600K 2대, DEWE-2010 2대
저장 시간	3초 단위

3.1.3 한경풍력 개요

한경풍력은 1.5[MW] 풍력발전기 4대로 구성되어 있으며 상세한 내용은 표 3과 같다.

표 3. 한경풍력 개요

Table 3. Summary of Hangyung wind farm

구 분	내 용
발전용량	1,500[kW]
제조사	NEG-Micon(덴마크)
제어방식	Active Stall
발전기 수량	4대
발전기 종류	유도기

3.2 HVDC 연계 전후 제주계통 전력품질 분석

HVDC Overhaul 기간은 제주계통이 단독으로 운전되는 상황이고 그 크기가 육지계통의 1[%]도 되지 않는다. 따라서 해당 기간동안 주파수나 전압변동 등이 기존에 비하여 클 것이라는 가정을 할 수 있고 그에 따라 주파수 변동, 전압 변동, 전압 고조파, 전류 고조파, 플리커 등에 대한 분석을 실시하였다.

분석결과 3상의 내용이 유사하고 그래프를 간결하게 그리기 위하여 A상만의 결과를 그래프로 나타내었다.

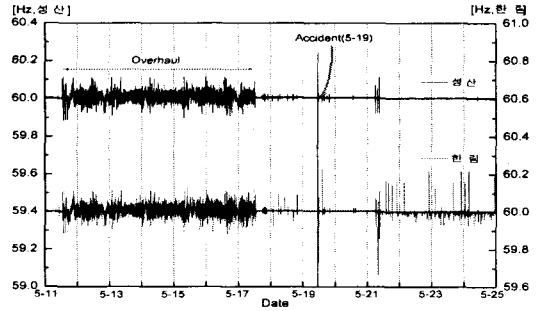


그림 1. 성산변전소 및 한림변전소의 주파수
Fig. 1. Frequency of Sungsan S/S and Hanlim S/S

3.2.1 주파수

그림 1은 성산변전소(온평D/L, 그래프 상단) 및 한림복합변전소(청수D/L, 그래프 하단) 인출단의 주파수 변동 그래프이다. 5월 11일에 Overhaul이 시작됨에 따라 60±0.005[Hz]에서 유지되던 주파수가 60±0.1[Hz]로 변동이 심화되었음을 알 수 있다. 그러나 주파수 유지기준(60±0.2[Hz])은 만족하는 것으로 나타났다. HVDC가 연계되지 않은 상황에서는 제주계통이 작아져 주파수 비교적 변동이 심한 것을 알 수 있고 향후 어떤 사정으로 인하여 HVDC 미연계 운전 상황이 발생한다면 주파수 유지에 관심을 가져야 할 필요가 있음을 알 수 있다.

또한 5월 21일 이후 한림S/S의 주파수가 비교적 불안정하므로 변전소측 UFR이 동작할 우려가 있다. 풍력발전 연계시에는 주파수 변화량으로 단독운전을 감지할 때 풍력발전이 정지되는 상황이 발생할 수 있으므로 이론적인 분석뿐만 아니라 현장 상황까지 고려한 사전검토가 필요함을 의미한다.

3.2.2 전압변동

그림 2는 성산변전소(온평D/L, 그래프 상단) 및 한림복합변전소(청수D/L, 그래프 하단) 인출단의 전압 변동 그래프이다. 그림 2로 보아 HVDC 미연계가 주파수 변동과 달리 전압변동에는 별다른 영향을 주지 않는 것으로 분석된다. 그러나 성산변전소 측의 전압이 매우 불안정한 모습을 보이므로 추가적인 분석이 요구된다.

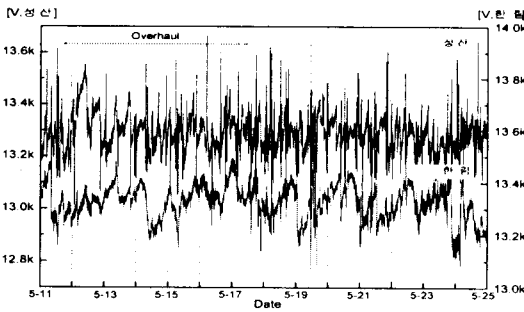


그림 2. 성산변전소 및 한림변전소의 전압변동
Fig. 2. Voltage variation of Sungsan S/S and Hanlim S/S

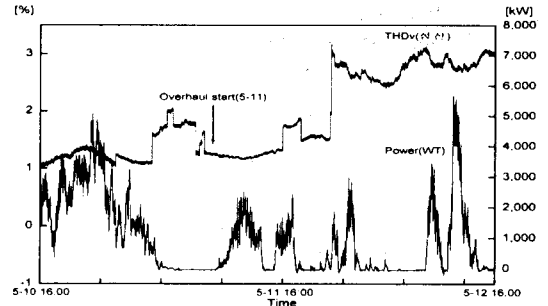


그림 4. 행원풍력 발전량에 따른 성산변전소의 전압 THD
Fig. 4. THDV of Sungsan S/S due to Haengwon wind farm

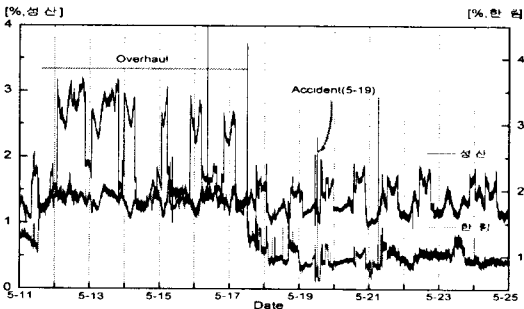


그림 3. 성산변전소 및 한림변전소의 전압THD
Fig. 3. THDV of Sungsan S/S and Hanlim S/S

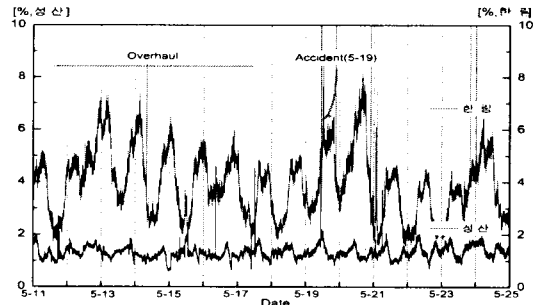


그림 5. 성산변전소 및 한림변전소의 전류THD
Fig. 5. THDI of Sungsan S/S and Hanlim S/S

3.2.3 전압 고조파

그림 3은 성산변전소(온평D/L, 그래프 상단) 및 한림복합변전소(청수D/L, 그래프 하단) 인출단의 전압THD 그래프이다. HVDC 미연계 기간에 성산변전소 및 한림변전소 모두 전압THD가 약 0.5~0.8[%]정도 상승한 것을 알 수 있다. 이는 제주 계통이 작은 상황(HVDC 미연계시)에서 부하를 사용하기 때문에 파형 왜곡이 심해진 것으로 판단된다.

성산변전소의 그래프에서 전압THD가 주기적으로 1[%]이상 상승을 반복하는 것을 알 수 있다. 이에 대해 행원풍력발전의 영향여부를 알아보기 위하여 그림 4에 행원풍력 발전량에 따른 성산변전소의 전압THD 변동을 나타내었다. 분석결과 전압THD의 주기적인 1[%]이상 상승은 행원풍력발전과 상관관계가 없는 것으로 나왔으며, HVDC 연계 후에도 동일한 패턴이 나타나는 것으로 보아 해당 D/L의 부하 현황이나 성산변전소를 공급하고 있는 발전소와 관계가 있는 것으로 판단된다.

3.2.4 전류 고조파

그림 5는 성산변전소(온평D/L, 그래프 하단) 및 한림복합변전소(청수D/L, 그래프 상단) 인출단의 전류THD 그래프이다. 그림 5에서 두 변전소 모두 전류THD는 HVDC 연계 전후에 별다른 변화가 보이지 않는다. 한림변전소의 주기적인 THD 상승 및 하락은 THD 계산식의 특성상 부하 패턴과 관련이 있는 것으로 분석 되었으며 인출전류 크기와 대체로 반비례하는 것을 확인하였다.

3.2.5 플리커(Pst)

그림 6은 성산변전소(온평D/L, 그래프 상단) 및 한림복합변전소(청수D/L, 그래프 하단) 인출단의 Pst 그래프이다. 그림 6을 분석해 볼때 HVDC 미연계가 Pst에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

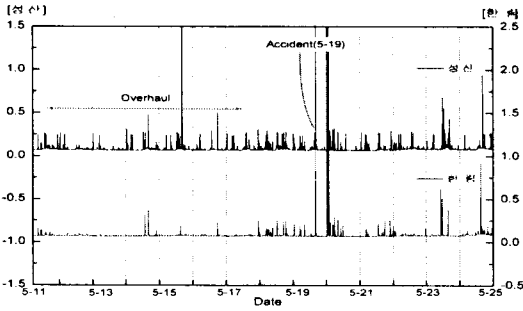


그림 6. 성산변전소 및 한림변전소의 플리커
Fig. 6. Pst of Sungsan S/S and Hanlim S/S

3.3 HVDC Overhaul 기간 중 풍력발전이 제주 계통에 미치는 영향 분석

풍력발전이 인접 D/L의 전력품질에 미치는 영향을 분석하기 위하여 측정결과를 분석하였다. 이때 인접 D/L은 한경풍력과 같은 주변압기(MTr)에서 인출되고 부하량이 적당한 청수D/L을 선택하였다.

특히 풍력발전량에 따른 인근 D/L에서의 전력품질 영향 정도가 명확하게 특정지어지지 않는 경우에는 통계적 분석방법을 적용하였다. 발전량별 통계 데이터를 산출하기 위하여 표 4와 같이 구분하였으며, 평가의 척도는 표준편차(standard deviation), 평균값(mean), 최빈값(mode) 등을 이용하였다.

표 4. 풍력발전량에 따른 구분
Table 4. Classification of Hangyung wind farm due to the power

구분		일시
구간	발전 여부	
①	발전구간	5월 11일 15:50~5월 12일 14:51
②	발전구간	5월 12일 18:25~5월 13일 06:20
③	미 발전구간	5월 13일 07:41~5월 13일 12:41
④	미 발전구간	5월 15일 03:00~5월 15일 12:38
⑤	간헐적 발전구간	5월 13일 12:39~5월 13일 21:07
⑥	간헐적 발전구간	5월 15일 11:06~5월 15일 19:12

3.3.1 주파수 변동

그림 7은 한경풍력 발전량(그래프 하단)에 따른

한림복합변전소(그래프 상단)의 주파수 상관관계를 나타내고 있다. 그림 7로는 발전량이 주파수 변동에 미치는 영향을 분석하기가 어렵기 때문에 그림 8 및 표 5의 통계 데이터를 이용하였다. 그림 8은 발전량이 비교적 일정하고 많을 때 주파수 분포이며, 표 5

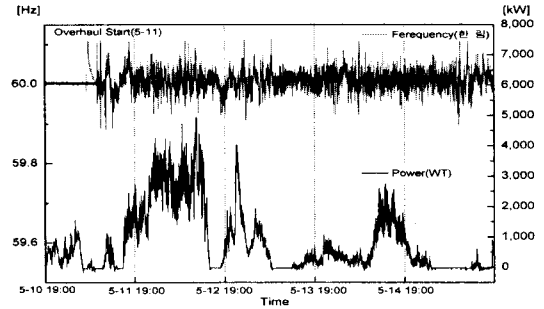


그림 7. 한경풍력 발전량에 따른 청수D/L의 주파수 변동
Fig. 7. Frequency of Chungsoo D/L due to the power of Hangyung wind farm

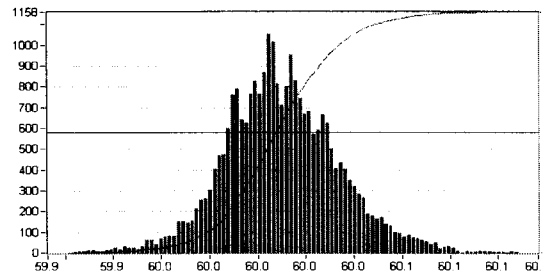


그림 8. 발전량이 많을 때의 청수D/L의 주파수 분포
Fig. 8. Frequency distribution of Chungsoo D/L due to much generation output

표 5. 발전량 구분에 따른 주파수 통계
Table 5. Statistics of frequency

구간	발전 여부	평균	표준편차	최빈값
①	발전구간	60.010	0.0239	60.004
②	발전구간	60.003	0.0275	60.005
③	미 발전구간	60.005	0.0133	60.006
④	미 발전구간	60.003	0.0242	60.004
⑤	간헐적 발전구간	60.008	0.0137	60.005
⑥	간헐적 발전구간	60.014	0.0233	60.015

는 전체적인 결과이다. 일반적으로 풍력발전량의 변동이 심할 때 전압변동 및 주파수 변동이 일어날 수

있는데 구간 ⑤, ⑥에서 주파수 분포가 비교적 퍼져 있고 평균값이 60[Hz] 기준으로 높게 나타났다. 본 결과로 풍력발전이 주파수 변동에 영향을 주었다 판단하기에는 다소 데이터가 부족하므로 추가적인 측정 및 분석이 필요하다.

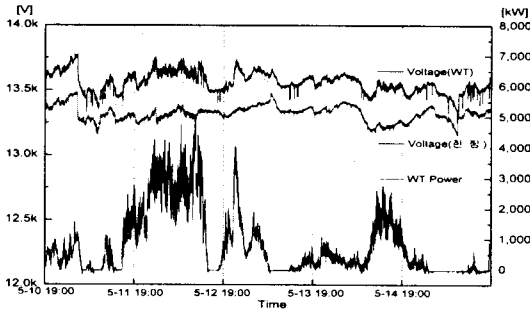


그림 9. 한경풍력 발전량에 따른 청수D/L 및 연계점의 전압변동
 Fig. 9. Voltage of Chungsoo D/L and PCC due to the power of Hanyung wind farm

3.3.2 전압 변동

그림 9는 한경풍력 발전량(그래프 하단)에 따른 한림복합변전소 청수D/L 인출단 전압(그래프 중간) 및 한경풍력 연계점의 전압(그래프 최상단)을 나타내고 있다. 이미 알려진 바와 같이 풍력발전 연계점의 전압은 풍력발전량에 비례하여 변동함을 알 수 있으며 연계점의 전압이 청수D/L의 송출전압보다 더 높은 것을 알 수 있다. 그러나 청수D/L 인출단의 전압은 풍력발전의 영향을 일부 받고 있기는 하지만 해당 D/L의 부하 변동 및 ULTC의 동작에 따른 영향이 더 큰 것으로 분석되어 그 영향이 미미한 것으로 보인다. 또한 분산전원 연계기준인 12,000~13,800[V]를 유지하고 있는 것으로 나타났다.

3.3.3 전압 고조파

그림 10은 한경풍력 발전량(그래프 하단)에 따른 한림복합변전소 청수D/L 인출단의 전압 THD(그래프 중간) 및 한경풍력 연계점의 전압THD(그래프 상단)를 나타내고 있다. 그림 10의 결과로 보아 연계점에서의 전압THD는 발전량과 거의 정확하게 비례함을 알 수 있고 발전량이 많은 5월 11일~12일에는 3[%]이상 되는 경우가 많다. 해당 기간의 발전량은

3,000[kW] 이상이며 청수D/L의 전압THD에 일정부분 영향을 주는 것으로 분석되었으며, 발전량이 1,000~3,000[kW]로 적을 때는 거의 영향을 받지 않는 것으로 분석 되었다. 그러나 현재 연계기준에는 고조파 전류 유출량에 대한 규정치는 있지만 전압 THD에 대한 규정치는 없기 때문에 이에 대한 보완이 필요할 것으로 보인다.

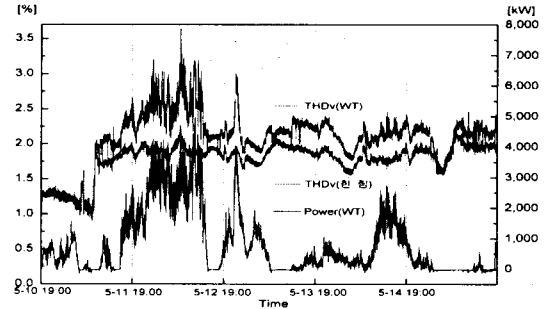


그림 10. 한경풍력 발전량에 따른 청수D/L 및 연계점의 전압THD
 Fig. 10. THDV of Chungsoo D/L and PCC due to the power of Hanyung wind farm

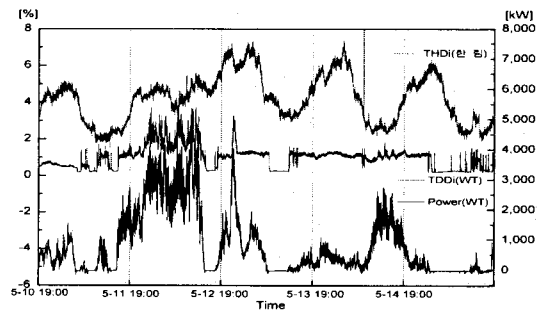


그림 11. 한경풍력 발전량에 따른 청수D/L의 전류 THD 및 연계점의 전류TDD
 Fig. 11. THDI of Chungsoo D/L and TDDI of PCC due to the power of Hanyung wind farm

3.3.4 전류 고조파

그림 11은 한경풍력 발전량(그래프 하단)에 따른 한림복합변전소 청수D/L 인출단의 전류 THD(그래프 상단) 및 한경풍력 연계점의 전류TDD(그래프 중간)를 나타내고 있다. 연계점의 전류TDD를 계산하기 위하여 한경풍력의 총 용량이 6MVA 이기 때문에 $I_L=151[A]$ 로 가정하였다. 풍력발전량이 커지면

그에 비례하여 TDD가 증가함을 알 수 있으며, 그만큼 많은 고조파 전류를 계통으로 유입시키고 있음을 알 수 있다. 연계기준에서 정한 5%이하는 만족하는 것으로 나타났으나 측정기간에는 설비 정격용량인 6[MW]로 발전한 사례가 없어 정확한 판단을 내리는 것이 불가능하므로 추후 확인이 필요하다. 청수 D/L의 THD는 부하 상황이 더 큰 영향을 주는 것으로 보이며, 풍력발전기의 영향이 거의 없는 것으로 판단되나 그림 12로 볼 때 고조파 전류를 일정부분 계통으로 주입하고 있는 것을 확인할 수 있다. 그림 12는 발전량이 약 5[MW] 일때의 고조파 차수별 크기이며 5차 고조파가 약 6[A]까지 계통으로 유입되고 있음을 알 수 있다.

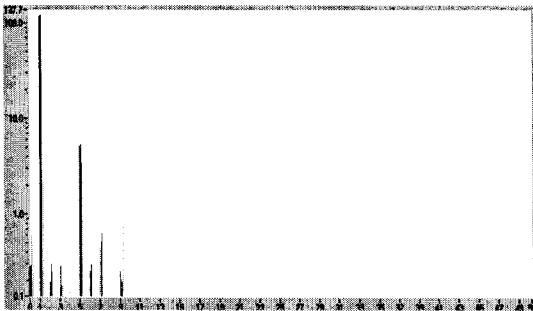


그림 12. 환경풍력 발전의 차수별 고조파 전류
Fig. 12. Harmonic current of Hangyung wind farm

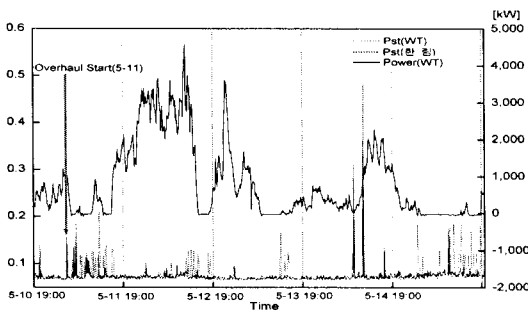


그림 13. 환경풍력 발전량에 따른 청수D/L의 전류 THD 및 연계점의 Pst
Fig. 13. Pst of Chungsoo D/L and PCC due to the power of Hangyung wind farm

3.3.5 플리커(Pst)

그림 13은 환경풍력 발전량(그래프 상단)에 따른 한림복합변전소 청수D/L 인출단의 Pst(그래프 하단

실선) 및 환경풍력 연계점의 Pst(그래프 하단 점선)를 나타내고 있다. 그림 13에서 발전량이 급격하게 증가하는 부분 및 급격하게 감소하는 부분에서의 Pst가 다른 시점(발전이 지속되는 구간 또는 발전이 되지 않는 구간)에 비하여 비교적 높게 나타나는 것을 알 수 있으며, 이것은 풍력발전기의 기동 및 정지 특성에 따른 것으로 보인다.

풍력발전기의 플리커 방출 계수는 연계기준을 만족하는 것으로 분석 되었으며, 그림 13 및 통계 데이터를 고려할 때 풍력발전량이 많은 구간에서는 인근 D/L에는 약간의 영향을 주고 있으나 그 영향은 그리 크지 않은 것으로 분석되었다.

4. 결론 및 향후연구

본 논문은 HVDC Overhaul 및 풍력발전이 제주계통에 어떤 영향을 미치는지를 이론적인 방법보다는 측정을 통하여 분석하였다. 변전소 2곳 및 풍력발전단지 1곳을 선정하여 전력품질을 측정하고 발전량에 따른 인근 D/L의 전력품질을 분석하였으며, 그 영향 정도가 명확하지 않은 부분에 대해서는 통계적 방법으로 접근하여 분석을 수행하였다.

HVDC Overhaul 기간은 제주계통이 육지계통과 분리되어 운전되고 있는 상황으로 제주계통의 주파수가 규정치를 만족하지는 않지만 매우 불안정한 모습을 보였으며 전압고조파가 규정치를 초과하는 상황이 발생되기도 하였다. HVDC Overhaul 기간 중에 풍력발전은 인근 D/L의 전압변동에 일정부분 기여하였고 고조파 전류를 일정부분 계통으로 유입시켜 그 양이 미미하기는 하지만 전압THD의 상승을 가져오는 것을 확인할 수 있었다.

향후에는 좀더 정확한 결과를 산출하기 위하여 측정기간 및 대상을 좀더 광범위하게 설정하여 측정 및 분석할 예정이며 시뮬레이션 및 측정결과를 비교 분석하여 제주계통에 연계될 수 있는 풍력발전량을 보다 정확하게 산출할 예정이다. 또한 본 논문은 대용량의 풍력발전이 제주계통에 연계되었을 때 제주계통을 좀더 안정적으로 운영할 수 있는 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

References

- (1) 황교익, "제주계통 단독운전 시 주파수 안정도 유지를 위한 풍력발전 운전용량 선정 방법에 관한 연구", 대한전기학회 논문집, 56권 2호 pp. 233-239, 2007.
- (2) 산업자원부, "풍력발전단지가 연계된 계통의 과도상태 해석 및 연계 허용용량에 관한 연구", 최종보고서, 2005.10.
- (3) IEC, "IEC 61400-21", 2001.
- (4) 김건훈, "제주 월령 시범단지 풍력발전시스템 성능시험 및 결과의 고찰", 한국에너지공학회지, 제10권 제1호, pp. 10-16, 2001.
- (5) 김영환, "제주지역 풍력발전기에 의한 전력계통운영 영향분석", 대한전기학회 하계학술대회, A권, pp.127-129, 2007.
- (6) Roger C. Dugan, "Electrical Power System Quality 2nd Edition", McGraw-Hill, 2002.
- (7) 한국전력공사 배전처, "분산형전원 배전계통 연계기술 해설서", 2006.

◇ 저자소개 ◇

채우규 (蔡又圭)

1977년 4월 22일생. 2004년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 2007년 8월 충북대학교 전기공학과 졸업(석사). 2004년~현재 한전 전력연구원 근무.
Tel : (042) 865-5944
E-mail : wkchae@kepcoco.kr

윤기갑 (尹棋甲)

1961년 1월 15일생. 1983년 한양대 전기공학과 졸업. 1988년 8월 한양대 전기공학과 졸업(석사). 1999년 2월 한양대 전기공학과 졸업(박사). 1990년~현재 한전 전력연구원 근무.
Tel : (042) 865-5941
E-mail : ykk@keprie.re.kr

김재언 (金在彦)

1959년 7월 17일생. 1982년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1984년 3월 1일~1998년 8월 31일 한국전기연구소 근무. 1996년 일본 교토대 전기공학과 졸업(박사). 현재 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 전기공학전공 부교수.
Tel: (043) 261-2423
E-mail : jekim@chungbuk.ac.kr

한지현 (韓枝憲)

1971년 9월 21일생. 1998년 인하대학교 전기공학과 졸업. 1998년 1월~2001년 4월 한국전력공사. 2001년 4월~현재 한국남부발전(주) 근무. 현재 한림발전소 풍력과장.
Tel : (064) 795-0216
E-mail : markv5@kospo.co.kr