

저전압 펄스신호를 이용한 발전기 회전자 턴단락 진단

이영준*, 김병래*, 황영하**
 한전 전력연구원*, 한국서부발전(주)**

Shorted-Turn Diagnosis Test for Generator Rotor Windings using Low Voltage Pulse Signal

Young-Jun Lee*, Byung-Rae Kim*, Young-Ha Whang**
 Korea Electric Power Corporation*, Korea Westernpower Company**

Abstract - A recurrent surge oscillograph(RSO) test was performed at the Taean thermal power plant on #5 turbine generator. The test was conducted using a rotor reflectometer and digital oscilloscope. A DC voltage step is applied to each end of the rotor winding in turn. Each reflected wave, at the input end of the winding, is monitored and the two waveforms are superimposed automatically and monitored on a single channel oscilloscope. As the half windings in a rotor are identical, the two waveforms monitored at each end of the rotor will also be identical for a healthy winding. A winding with a fault will cause different voltages to be monitored at the two ends.

품으로 전력연구원 및 전력산업과 관련된 일부 대기업에서 보유하고 있다.



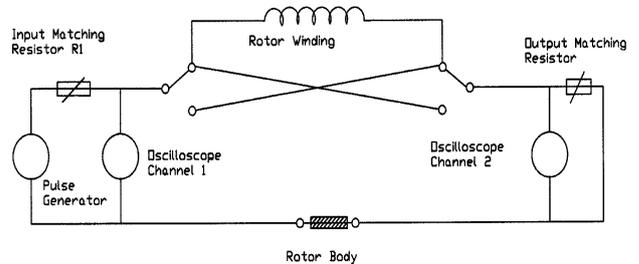
<그림 1> Rotor Reflectometer

1. 서 론

발전소 중요 전기설비인 발전기는 터빈의 회전력을 받아 전력을 생산하는 중요한 역할을 담당한다. 이러한 발전기는 크게 고정자, 회전자 및 철심 등으로 구분되며 고정자 권선을 감싸고 있는 절연물은 절연진단 등을 통해 건전성을 확인하고 있고, 회전자 권선의 건전성은 턴단락, 접지 발생여부 등을 시험하여 관리하고 있다.

Rotor reflectometer를 이용하여 회전자 슬립링 양단을 통해 저전압 펄스를 인가하고, 되돌아 오는 파형을 오실로스코프로 측정하는 결선도는 그림 2와 같다. 회전자 권선 내부에 단락 현상이 존재하는 경우에 각 극 권선의 임피던스 차이에 따라 되돌아 오는 펄스파형의 형태가 다르게 나타나는 것으로 두개의 파형이 서로 일치하지 않고, 이는 오실로스코프 파형으로 쉽게 알 수 있다.[3]

발전기 회전자 권선의 턴단락은 발전기 진동상승 등을 유발하여 안정운전에 악영향을 끼치고, 심한 경우 운전중 불시고장을 일으키기도 한다.[1] 이러한 회전자 권선의 턴단락 발생여부를 진단하는 방법으로 기존에 많이 사용하던 분담전압시험이 주로 시행되어 왔으나, 정확한 데이터 측정을 위해서는 회전자 권선의 이탈을 방지하는 retaining-ring을 제거해야만 가능한 경우가 있다. 또한, 시험의 신뢰도가 다소 떨어지는 고전적인 방법이어서 최근에는 rotor reflectometer와 digital oscilloscope를 이용한 Recurrent Surge Oscillograph(RSO) 진단기법이 활용되고 있다. 이 시험방법은 회전자 retaining-ring을 제거하지 않고도 회전자 슬립링을 통해 저전압 펄스신호를 인가하는 것 만으로도 회전자 권선의 단락 발생여부 등을 확인하는 매우 용이한 방법이며, 시험의 신뢰성도 매우 높다.



<그림 2> 회전자 권선 RSO 시험 결선도

본 논문에서는 이러한 RSO 진단기법을 이용하여 발전기 회전자 권선에 대한 현장시험을 수행하고, 결과분석 등을 통해 RSO 진단기법의 신뢰성을 확인하고자 한다.

2. 본 론

2.1 회전자 권선 RSO 진단기법

발전기 슬립링에서 보면 정상상태의 회전자 권선은 전기적으로 대칭이다. 만일, 동일 파형의 펄스가 슬립링 양쪽에서 인가되었다면 펄스가 권선을 통과하는 시간과 펄스의 반사파가 슬립링으로 되돌아 오는 시간은 같다. 만일, 권선에 단락이나 접지고장이 존재한다면 고장부분의 임피던스는 작으며 펄스에너지의 일부가 슬립링으로 돌아오며 입력펄스의 파형은 고장지점의 거리에 따라 변형된다. 고장지점이 정 중앙에서 일어나지 않았다면 각각의 슬립링에서 측정된 펄스 파형은 그 형태가 다르게 나타나며, 이러한 원리를 이용하여 회전자 권선의 단락 현상을 찾아낼 수 있으며, 두 파형의 형태가 달라지는 시간은 고장지점을 알아내는 자료로 활용된다.[2]

그림 1은 발전기 회전자 권선의 건전성 진단을 위해 회전자에 전압을 공급하는 통로인 슬립링 양단에 저전압 펄스를 인가하는 rotor reflectometer 장비이며, 오실로스코프와 조합하여 사용한다. Rotor reflectometer는 영국 Convex Design사에서 개발한 제

2.2 시험방법

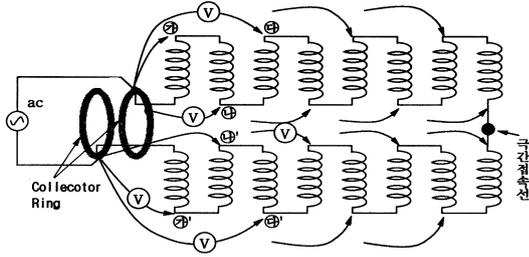
발전기 계획예방정비공사를 위해 정지중인 태안화력 #5 터빈 발전기에 대하여 회전자 권선에 대한 분담전압 측정을 시행하고, 일부 권선에서 단락이 존재하는 것으로 판명되어, RSO 시험을 위해 영국 Convex Design사의 rotor reflectometer(type : TDR 100, 펄스크기 : DC 12V)를 이용하여 턴단락 존재여부를 재차 시험하였으며, 시험결과를 직접 확인하기 위해 턴단락이 존재하는 권선의 턴 절연지에 대해 육안점검을 시행하였다.

시험 대상설비인 태안화력 #5 터빈발전기는 정격용량 612MVA, 전압 22kV, 전류 16,061A, 회전수 3,600rpm, B중 절연, 수소 냉각방식을 취하고 있으며, 제작사는 국내업체인 oo중공업이다. 회전자 권선은 N, S 2극이며, 각 극은 8개의 권선으로 이루어져 있으며, 각 권선의 슬롯은 5층의 개별권선이 적층되어 있고, 각 개별권선 사이에는 절연지가 삽입되어 있다.

2.2.1 분담전압 측정

분담전압시험은 회전자 권선의 양단에 저전압의 교류 또는 직류 전압을 인가하여 각 권선별 전압을 측정하여 회전자 권선의 턴간 단락 및 단락 권선의 위치를 찾아내는 시험이다. 그림 3은

회전자 권선에 분담전압 측정을 위한 회로도이며, 각 극별 권선의 분담전압값을 측정하여 상호 비교함으로써 단락 여부를 확인한다.



<그림 3> 분담전압 측정 회로도

분담전압 측정에 있어서 회전자 권선은 분담기로 생각될 수 있고, 권선이 정상적인 경우 인가한 교류 또는 직류전압은 턴간에 약간의 오차는 있지만 거의 균일하게 분포되고, 전압편차가 권선간 $\pm 5\%$, 극간 $\pm 2\%$ 이내이면 양호하다고 판정한다. 만일 턴간 단락이 존재할 경우에는 전압편차는 커지게 되는 것이다.

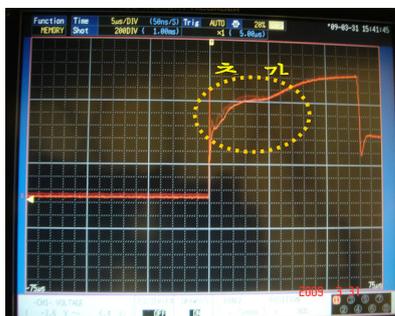
태안화력 #5 발전기 분담전압 측정 결과표는 표 1과 같고, N극 3~4번 코일에서 턴단락 현상이 존재함을 알 수 있었다.

<표 1> 분담전압 측정 결과표

코일번호	1	2	3	4	5	6	7	8	극	
N극 측정치	0.20	1.95	2.20	3.43	3.70	5.94	6.24	8.57	8.87	
S극 측정치	0.17	1.99	2.26	4.41	4.70	7.00	7.30	9.64	9.94	
극간 편차(%)										10.76
코일간	(2-1)/2	(4-3)/2	(6-5)/2	(8-7)/2						
N극 분담전압	0.88	0.62	1.12	1.17						
S극 분담전압	0.91	1.08	1.15	1.17						
코일간 편차(%)	3.30	42.59	2.61	0						
○ 인가전압 : AC 19.0(V), 전류 14.33(A)										
※ 판정기준 : 코일간 5(%), 극간 2(%) 이내면 양호										

2.2.2 RSO 시험

분담전압 측정결과가 회전자 권선에 턴단락이 존재하는 것으로 나타나 RSO 시험을 통해 재 확인을 위한 시험을 시행한 결과, 분담전압과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 그림 4는 RSO 시험시 측정된 오실로스코프 파형으로 N, S극의 파형이 동일하게 중첩되면 정상상태이고, 만약 권선에 턴단락이나 접지가 발생하면 두 파형이 다르게 나타나게 되는데, 태안 #5 발전기 회전자의 경우 그림 4와 같이 두 파형이 다르게 나타나므로서 분담전압 측정결과와 동일하게 회전자 권선에 턴단락이 발생한 것으로 확인되었다.

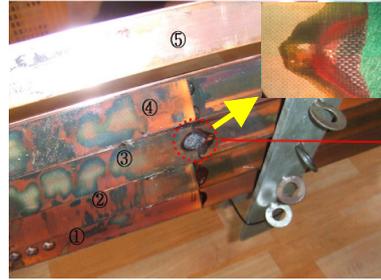


<그림 4> RSO 시험 파형

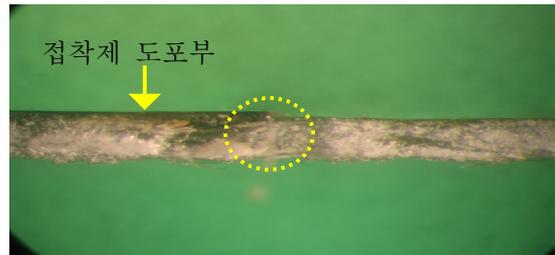
2.2.3 육안점검

턴단락이 확인된 N극 3번 코일에 대해 직접 절연지의 상태를 확인한 결과, TBN. End측 #3 코일의 손상 턴절연지 연결부위에 절연접착제가 사용되었고, 그림 5, 6과 같이 층간 높이의 차이가

발생된 것으로 확인되었다. 이러한 제작상의 높이 차이는 코일의 열팽창, 수축에 따른 마찰, 마모와 운전중 원심력에 의한 누름압력이 집중되어 절연지 손상을 유발시킨 것으로 보여진다.



<그림 5> 절연지 손상부



<그림 6> 손상 절연지 측면절단 확대사진

3. 결 론

발전기 회전자 권선의 건전성 여부를 확인하기 위한 정지중 진단기법인 RSO 시험을 태안화력 #5 터빈발전기에 대해 시행하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

[1] 발전기 회전자 권선의 층간단락 현상은 진동상승, 성능저하, 불시고장 등 발전기 안정운전에 악영향을 미칠 수 있으므로 사전 예방진단 및 점검을 통해 예측정비를 시행하는 것이 매우 중요하다.

[2] 태안화력 #5 터빈발전기 회전자 권선에는 N극 3~4번 권선에 턴단락 현상이 존재함을 알 수 있었으며, 발전기의 안정운전을 위해서는 회전자 권선에 대한 정비를 시행하는 것이 바람직하다.

[3] RSO 진단기법은 발전기 정지중 회전자 권선의 턴단락 발생 여부를 신뢰성있게 진단, 확인할 수 있으며, 실제 현장 발전기 회전자 인출 후 턴단락 발생부위를 육안으로 확인한 결과, 실제로 절연지가 손상되어 턴단락 현상이 존재함을 확인할 수 있었다.

[4] 최근에 회전자 진단기법으로는 운전중 진단기법인 flux probe와 진단시스템을 이용한 on-line 진단이 현장에서 많이 보급되어 활용되고 있으나, on-line 진단을 위한 flux probe 센서가 발전기 내부에 설치되어 있지 않은 경우에는 정지중 진단기법인 RSO 시험방법이 매우 유용하리라 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이영준, 공태식, 김희동, 주영호, “발전기 회전자 on-line 단락 감시시스템 개발” 최종보고서, pp10~12, 2000.
- [2] 전력연구원 “발전기 고장자 및 회전자의 정지중 진단기법” 기술간행물, pp67~68, 1997.
- [3] Convexdesign Limited “A low voltage test unit for detecting winding faults in power plant alternator rotors” internet homepage.