

발전기 회전자 권선 층간단락 진단에 관한 연구

이영준, 공태식, 김희동, 주영호
한국전력공사 전력연구원

Shorted-Turn Test for Generator Rotor Windings

Young-Jun Lee, Tae-Sik Kong, Hee-Dong Kim, Young-Ho Ju
KEPRI(Korea Electric Power Research Institute)

Abstract - 발전기 회전자 권선에 종종 발생하는 층간 단락 현상을 찾아내는 진단기법에는 크게 두가지가 있으며, 정지중 진단기법인 분담전압 시험과 운전중 진단기법인 flux probe 시험이다. 본 논문에서는 서인천복합화력발전소 #2 스팀터빈 발전기에 대하여 분담전압 및 flux probe 시험을 시행하여 회전자 권선의 건전성을 확인하고, 그 결과를 상호 비교, 분석하여 정지중 및 운전중 진단기법의 신뢰성을 평가하였다.

1. 서 론

최근 일일기동정지를 수행하고 있는 복합화력 발전기들에서 회전자 권선에 의한 고장이 종종 발생되고 있다. 이는 빈번한 기동정지로 인한 열적 스트레스에 의한 것으로 주로 침두부하를 담당하고 있는 복합화력 발전기에서 두드러지게 나타나고 있다. 회전자 권선의 고장 유형으로는 주로 층간단락, 권선간 단락, 접지 등이 발생되는데 이 중에서 고장발생의 초기과정이라고 할 수 있는 층간단락 현상을 사전에 감지하여 대책을 수립하는 것이 무엇보다도 중요하다.^[1]

회전자 권선에 층간단락이 발생하면 N, S극의 권선 수가 달라지는 것이기 때문에 자속의 불평형 및 비대칭적인 발달로 인해 진동이 급격히 상승하는 경우도 있다. 이러한 층간단락 발생시 나타나는 현상으로는 진동상승, 출력제한, 성능저하 및 심한 경우 불시고장을 일으키기도 한다.^{[2][3]} 이러한 층간단락 현상을 사전에 감지하기 위한 진단기법으로는 크게 정지중(off-line) 진단기법과 운전중(on-line) 진단기법의 두가지 방법이 있다. 정지중 진단기법은 발전기를 정지하고 회전자를 인출한 상태에서 각 회전자 권선에 저전압을 인가하여 각 권선의 분담전압을 측정하여 권선간, 극간의 분담전압 값을 상호 비교하여 층간단락 발생 여부를 진단하는 방법이다. 이 방법은 발전기를 반드시 정지해야 하는 단점이 있으나 현재까지 국내에서 주로 사용하고 있는 진단기법이다. 이에반해 운전중 진단기법은 발전기내 고장자 웻지에 설치된 층간단락 감지기를 통해 발생하는 신호를 진단시스템에서 받아들여 분석을 통해 층간단락의 발생여부 및 발생위치 등을 판별해내는 방법이다. 이 방법은 발전기 정상운전중 시험이 가능하다는 큰 장점이 있지만 시험을 위해서는 사전에 발전기내에 센서를 설치해야 하는 번거로움이 있으나, 시험의 신뢰성이 매우 양호하여 국내에서도 점차적으로 센서의 보급, 설치가 확대되고 있다.^[4]

본 논문에서는 회전자 권선에 층간단락이 발생된 것으로 판단되는 서인천복합화력발전소 #2 스팀터빈 발전기에 대하여 회전자 권선에 대한 정지중 및 운전중 층간단

락 진단기법을 이용하여 시험을 수행하고 그 결과를 상호 비교, 분석하여 보고자 한다.

2. 발전기 회전자 층간단락 진단기법

2.1 정지중 진단기법(off-line test)

발전기 정지중 회전자 권선의 층간단락 진단기법으로는 분담전압 측정시험(field balance test)이 있다. 분담전압시험은 회전자 권선의 양단에 저전압의 교류 또는 직류를 인가하여 각 권선별 전압을 측정함으로써 회전자 권선의 코일간 층간단락 및 단락권선의 위치를 찾아내기 위한 시험이다. 그림 1은 회전자 권선에 분담전압 측정을 위한 회로도이며, 각 극별 권선의 분담전압값을 상호 비교함으로써 단락여부를 확인한다.

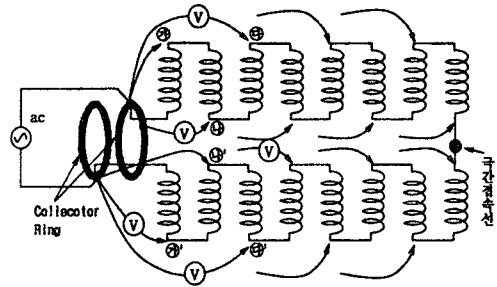


그림 1. 분담전압 측정 회로도

분담전압시험에 있어서 회전자 권선은 분압기로 생각될 수 있고, 권선이 정상일 경우 인가한 교류 또는 직류 전압은 코일간에 약간의 오차는 있지만 거의 균일하게 분포되고, 전압편차가 코일간 $\pm 5\%$, 극간 $\pm 2\%$ 이내이면 양호하다고 판정한다. 만일 코일간에 층간단락이 존재하는 경우에는 전압편차가 커지게 된다.

2.2 운전중 진단기법(on-line test)

발전기 정상 운전중 회전자 권선의 층간단락 진단기법으로는 층간단락 감지센서를 이용한 flux probe test가 있다. 이 방법은 발전기 고장자 웻지에 영구적으로 설치된 flux probe 센서를 통해 회전자 각 권선 슬롯의 누설 자속을 감지하여 이를 전압파형으로 나타내주며, 층간단락이 발생한 권선 슬롯의 경우 슬롯내에 층간단락으로 인해 권선 수가 감소되므로 센서에 유기되는 전압파형이

작게 나타나며,^[5] 이 전압파형을 N, S극 상호 비교함으로써 회전자 권선의 층간단락 발생여부 및 위치 등을 쉽게 알 수 있는 진단기법이다. 그림 2와 3은 전력연구원에서 국산화 개발에 성공한 고정자 웬지에 영구적으로 설치되는 층간단락 감지 센서와 발전기 외부에서 운전중 시험이 가능한 on-line 층간단락 진단시스템을 보여준다.

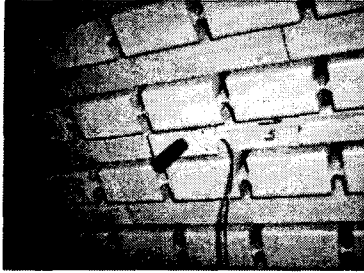


그림 2. 고정자 웬지에 설치된 층간단락 감지센서

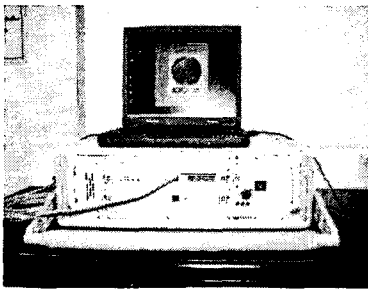


그림 3. On-line 층간단락 진단시스템

3. 시험방법 및 결과분석

3.1 시험방법

금번에 정지중 및 운전중 층간단락 진단시험을 시행한 발전기는 국내 최대의 복합화력발전소인 서인천복합화력발전소 #2 스태터빈 발전기로 그 사양은 표 1과 같다. 본 발전기는 일일기동정지 및 빈번한 출력감발 운전으로 인한 운전 스트레스로 회전자 권선에 다소 문제가 있는 것으로 판단되어 층간단락 진단시험을 수행하게 되었다.

표 1. #2 스태터빈 발전기 사양

구분	사양	구분	사양
정격용량	100,700KVA	회전수	3,600rpm
정격전압	13,800V	극수	2
정격전류	4,213A	절연등급	B
계자전압	375V	제작년도	1990
계자전류	807A	제작사	G.E(미국)
역률	0.90	상업운전	1992

시험방법은 발전기 정기 계획예방정비공사(Overhaul) 시 회전자를 인출한 상태에서 정지중 진단기법인 분담전압시험을 수행하였으며, 그 결과가 좋지않게 나타나 정비공사가 끝난 후 발전기 정상운전중 출력을 단계적으로 상승하면서 여러가지 부하대에서 flux probe 시험을 수행하여 그 결과를 비교, 분석하였다.

3.2 시험결과 분석

3.2.1 정지중 시험결과

발전기 정기 계획예방정비공사중 회전자 인출 후 각 권선에 대해 AC 40[V], 2.90[A]의 교류를 인가하면서 분담전압을 측정된 결과는 표 2와 같으며, N, S극 각 극간 편차를 나타내었다. 2번 권선의 경우에는 분담전압을 측정하기가 매우 까다로운 조건이어서 측정을 생략하였다.

표 2. 분담전압 측정결과

[기준 : 극간 2% 이내]

권선No.	1	2	3	4	5	6	7
N극	2.54	-	8.51	11.56	14.98	17.82	19.04
S극	2.54	-	8.46	11.84	14.91	18.52	21.51
편차(V)	0.00	-	0.05	0.28	0.07	0.70	2.47
편차(%)	0.00	-	0.59	-2.39	0.47	-3.85	-12.2

표 2에서 보는바와 같이 4, 6, 7번 권선에서 극간 편차가 기준치인 2%를 넘어 회전자 권선에 층간단락이 존재하는 것으로 분석 되었으며, 값이 "-"로 나타난 것으로보아 N극에서 층간단락이 발생하였다는 것을 알 수 있었다.

3.2.2 운전중 시험결과

발전기 정상운전중 출력을 10MW 단위로 단계별 상승시키면서 여러 부하대에서 측정된 시험결과, 표 3과 같은 결과를 얻었으며, N극 4번 권선에서 2 turn과 7번 권선에서 4 turn의 층간단락이 각각 발생되었음을 알 수 있었으며, 총 회전자 권선 238 turn중 2.52%를 차지하였다. 이는 발전기 제작사 안정운전 제한기준인 10%이하이므로 정상운전에는 아무런 영향이 없는 것으로 판단되었다. 그림 4는 여러 가지 부하대에서 측정된 데이터중 최대출력인 80MW에서 측정된 flux probe 전압파형이며, 그림 5는 이 파형을 N, S극 상호 겹쳐서 나타낸 것으로 4번과 7번 권선에서 편차가 존재함을 쉽게 알 수 있었다. 그림 6은 층간단락 진단시 알람발생 여부를 나타내 주는 화면이다.

표 3. Flux probe 시험결과

[층간단락 발생 코일수]

권선No.	1	2	3	4	5	6	7
N극	0	0	0	2	0	0	4
S극	0	0	0	0	0	0	0
계	0	0	0	2	0	0	4

4. 결 론

서인천복합 #2 스팀터빈 발전기 회전자 권선의 건전성을 평가하기 위해 수행한 정지중 및 운전중 진단시험의 결과를 비교, 분석한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

[1] 서인천복합 #2 스팀터빈 발전기의 회전자 권선은 4번과 7번 권선에 총 6개의 코일에 중간단락이 발생되었으며, 이는 회전자 총 권선의 2.52[%]에 해당되는 발생율로 정상운전에는 문제가 없는 것으로 판단된다. 아울러 6번 권선의 경우에도 중간단락 발생 가능성이 다소 의심되며, 차후 발전기 정비시 세밀한 점검을 통해 확인이 필요하며, 주기적인 중간단락 시험을 통해 추이관리를 할 필요가 있다.

[2] 정지중 진단방법(분담전압시험)의 경우 중간단락이 발생한 권선의 위치는 파악할 수 있었으나, 정확한 발생 수는 알 수 없는 반면 운전중 진단방법(flux probe 시험)의 경우 중간단락의 발생 위치 및 발생 수 등을 정확히 알 수 있었다.

[3] 발전기 회전자 권선에 대한 중간단락 진단기법에 있어서 운전중 진단방법이 좀더 신뢰성이 있는 것으로 판단되며, 향후 국내에서도 널리 확대보급되어 현장에서 활용된다면 발전기 안정운전 및 불시고장 예방에 기여하리라 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] I.M Culbert, H.Dhirani, G.C. Stone, Handbook to assess the Insulation Condition of Large Rotating Machines, EPRI, EL 5036, Vol. 16, pp. 5 24~5-31, 1989.
- [2] "발전기 회전자 on line 단락 감시시스템 개발"최종보고서, TR.98GS06.S2000.208, 한전 전력연구원, 2000.
- [3] 김희동, 이영준, 박종정, 주영호, "발전기 회전자 권선의 운전중 중간단락 탐지", 대한전기학회 논문지, Vol. 48C, No.3, pp. 192~199, 1999.
- [4] "발전기 계자의 중간단락 감지기 개발" 최종보고서, TR.00GJ03.C2002.214, 한전 전력연구원, 2002.
- [5] M.P. Jenkins, "on line Monitoring of Rotor Shorted Turns", IEE Conference Publication No. 401, pp. 55~60, 1994.

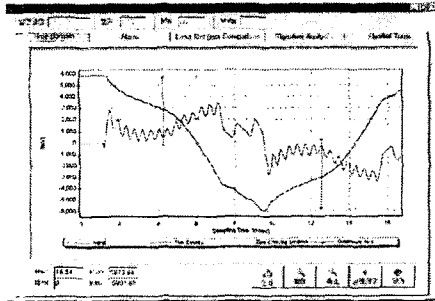


그림 4. Flux probe 전압파형(80MW)

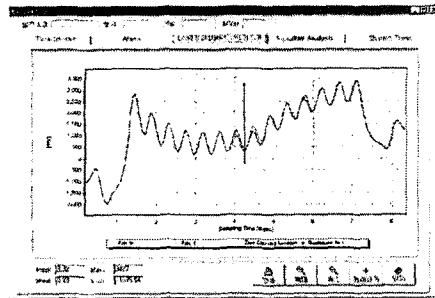


그림 5. N, S극 전압파형 비교

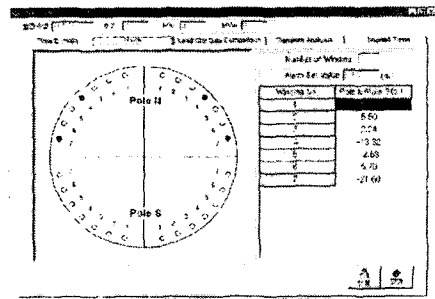


그림 6. 알람표시 화면

3.2.3 시험결과 분석

발전기 정지중 및 운전중 시험결과, 정지중 진단기법인 분담전압 시험에서는 4, 6, 7번의 회전자 권선에 중간단락이 존재하는 것으로 나타났으나, 운전중 진단기법인 flux probe 시험결과에서는 4, 7번 권선에서 중간단락이 존재하는 것으로 나타났다. 분담전압 시험의 경우 중간단락이 어느 권선에서 존재하는지는 알 수 있었으나, 몇 개의 코일에 중간단락이 존재하는지는 알 수 없었으며, 단지 이상유무 판단은 가능하였다. 이에반해 flux probe 시험에서는 어느극, 몇 개의 코일에 중간단락이 발생하였는지를 정확히 판정할 수 있는 장점이 있었다. 정지중 및 운전중 시험결과에서 보듯이 4번과 7번 권선에서의 중간단락 발생은 의심의 여지가 없음을 알 수 있었으나, 6번 권선의 경우에는 두가지 시험의 결과값이 상이하여 차후 발전기 회전자 정비시 직접 회전자를 인출하여 권선을 세부적으로 점검하여 실제 중간단락 발생여부를 확인하는 것이 바람직하다고 판단되었다.