

발전기 계자의 층간단락 감지기 개발

이영준*, 김희동, 주영호
한국전력공사 전력연구원

Development of Shorted-Turn Sensor for Generator Rotor

Young-Jun Lee*, Hee-Dong Kim, Young-Ho Ju
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - The shorted-turn sensor for generator's field winding has been developed. The sensor, installed in the generator air-gap, senses the slot leakage flux of field winding and produces a voltage waveform proportional to the rate of change of the flux. For identification of reliability for sensor, a shorted-turn test was performed at the Seoinchon combined cycle power plant on gas turbine generator. This sensor will be used as a detecting of shorted-turn for generator's field winding.

1. 서 론

발전소 핵심 전기설비중의 하나인 발전기 회전자가 정상운전중 고장 발생시에는 발전정지는 물론 장기간 정비를 요하는 고장을 일으키기도 한다. 발전기 회전자 계자 권선의 건전성을 정상 운전중에 진단할 수 있는 진단시스템은 국내에서는 전력연구원에서 2000년 2월에 국산화 개발 완료하여 현재까지 현장 발전기에 대한 회전자 층간단락 진단시험을 수행중에 있다. 그러나 발전기 정상운전중 회전자 층간단락 진단을 위해서는 발전기 내부에 층간단락 감지기(센서) 설치가 선행되어야 한다. 그러나 국내에서는 현재 이러한 층간단락 감지기를 개발한 사실이 없는 실정이나 북미를 비롯한 선진 외국의 경우에는 이미 70년대 초반부터 이 분야에 관심을 기울여 현재는 대부분의 현장 발전기들에 대하여 층간단락 감지기를 설치 운용하여 발전기 안정운전을 도모하고 있는 실정이다.^{[1][2]} 이러한 층간단락 감지기의 국산제품 미확보로 국내 발전기 회전자 진단시 외국 제품을 고가(\$13,000/개)에 수입해야 하며, 외자 도입기간 등을 고려하면 진단 필요시 적기에 시행하지 못하는 것이 현실이며, 선진국의 기술이전 기피현상 등으로 시급히 국산화 확보해야 할 기술이다.

본 논문에서는 이미 선진국에서 신뢰성이 입증된 발전기 회전자 계자권선을 정상운전중 진단할 수 있는 층간단락 감지기를 국산화 개발하기 위해 수행중인 연구과제의 현황을 소개하고 실제 현장 발전기에 대하여 설치, 시험등을 수행하고 그 결과를 분석한 내용 등에 대하여는 하고자 한다.

2. 층간단락 감지기

2.1 감지이론

발전기 계자권선의 층간단락을 감지하는 센서는 발전기 고정자 웨지에 설치되어 정상운전중 계자권선 각 슬롯에서 발생하는 누설자속의 변화에 상응하는 전압파형을 유기하며, 그 개략도는 그림 1과 같고 유기되는 전압파형 값은 식(1)과 (2)와 같다.

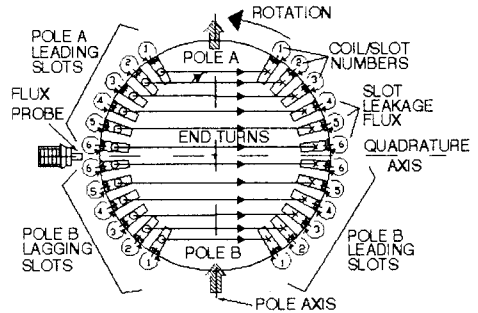


그림 1. 센서 전압유기 개략도

$$e = -N \int_s \frac{\partial B}{\partial t} dS \dots\dots\dots (1)$$

또는
$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (2)$$

- 여기서,
 e : 센서 유기전압 [V]
 N : 회전자 권선 턴수 [turn]
 $\partial B/\partial t$: 자속밀도의 시간변화
 dS : 권선의 단면적
 $d\phi/dt$: 자속의 시간변화

유기되는 전압파형은 계자권선 각 슬롯의 누설자속 분포를 나타내며, 층간단락이 존재하는 슬롯은 전압파형의 크기가 감소되어 나타나 파형분석을 통해 층간단락이 발생한 계자 개별권선의 위치 및 발생 수 등을 쉽게 판별할 수 있다.^{[3][4]}

2.2 국산화 층간단락 감지기 제작

그림 2는 기존의 외자 제품의 장점을 응용하여 국산화 설계, 제작한 층간단락 감지기 이다. 감지기 내부의

코일이 감긴 probe를 고무재질인 rubber로 성형한 튜브 속에 삽입하여 base 지지부분에 실리콘으로 접착, 고정함으로써 발전기 회전자 인출입시의 충격에 의해 probe가 파손되지 않도록 제작 하였다. 몸체 내부는 테프론 튜브에 0.12mm 굵기의 동선을 190회 정도 감았으며, 발전기 외부로 인출하는 신호선은 고급의 은도금 케이블을 사용 하였다.

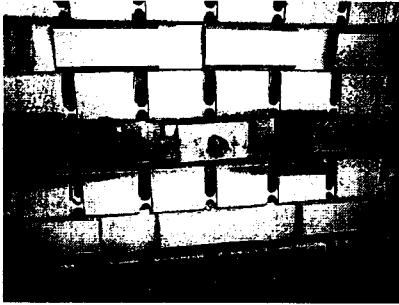


그림 2. 국산화 제작 층간단락 감지기

3. 현장 적용시험

3.1 층간단락 감지기 현장설치

국산화 설계, 제작한 층간단락 감지기의 성능을 시험하기 위해 발전기 정비기간중 회전자를 발전기 외부로 인출한 후 자체 기술력으로 고정자 웻지에 안전하게 설치 완료하였다. 감지기 신호선 인출은 발전기 내의 냉각용 수소가스가 누설되지 않도록 하는 것이 무엇보다 중요한 사항이다.

3.2 시험결과 및 분석

발전기 정비공사 완료후 발전기 정상운전중 국산화 개발, 설치한 층간단락 감지기의 성능을 알아보기 위해 정상운전중 층간단락 진단시스템을 이용하여 정격출력 150MW급 발전기 두 기에 대하여 진단시험을 수행하였다. 하나의 발전기에는 기존의 외자 센서가 설치되어 있고, 또하나의 발전기에는 금번에 국산화 제작한 센서가 설치되었다. 시험결과 전압유기에는 문제가 없었으나, 전압값의 크기가 다소 작게 나타나 층간단락 발생 수 계산시 다소 오차가 발생하였으며, 전반적으로 감지감도가 약하게 나타남을 알 수 있었다.

그림 3과 4는 동일 용량의 발전기 두 기에 대하여 정상운전중 측정한 층간단락 감지기의 전압파형으로 그림 3이 금번에 제작, 설치한 감지기의 전압파형으로 그림 4의 기존 외자 제품에 비해 전압파형의 감도가 낮게 나타남을 쉽게 알 수 있다. 두 그림에서 비교할 수 있듯이 감지기의 기능은 동일하나 원인분석을 해 본 결과 기존 제품의 감지기 길이가 국산화 제품보다 길어 회전자 표면에 더 근접 설치되어 회전자 권선의 자속이 더 많이 검출되어 전압파형이 크게 나타난 것이라 판단 되었다.

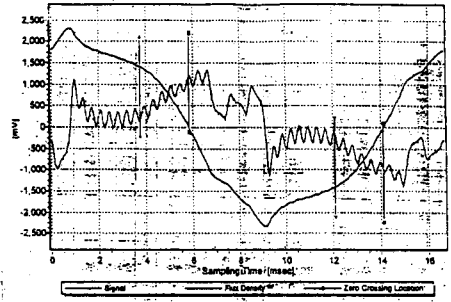


그림 3. 전압파형(국산화 제품)

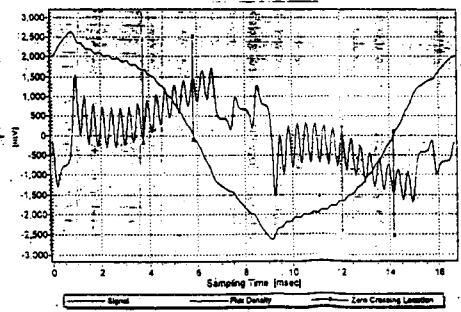


그림 4. 전압파형(기존 외자 제품)

4. 문제점 보완을 위한 실험실 시험

4.1 시험방법

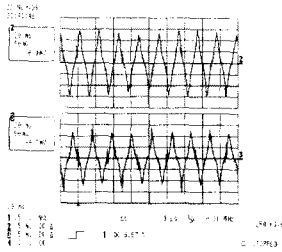
1차 층간단락 감지기 시작품에 대한 현장 시험결과 감지 감도가 다소 미약하여 이에 대한 보완실험을 통해 2차 시작품 제작시 반영하고자 소형 자속발생기와 오실로스코프를 이용하여 두가지 시험을 수행 하였다. 첫 번째는 감지기의 코일 턴수를 증감시켜 유기전압의 크기변화를 측정하였고, 두 번째는 감지기와 자속발생기와 이격거리를 증감시켜 전압파형의 크기가 어떻게 나타나는지를 확인하였다. 그림 5는 소형 자속발생기와 오실로스코프를 이용한 실험실 시험을 수행하는 사진이다.



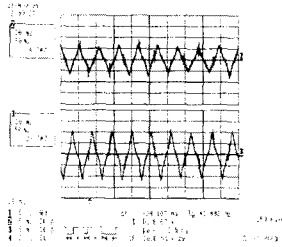
그림 5. 실험실 보완 시험

4.2 시험결과 및 분석

그림 6과 7은 층간단락 감지기의 코일턴수를 170~230회 까지 가변하여 제작한 센서를 가지고 센서와 자속발생기의 이격거리를 1~5mm 까지 변화시키면서 측정한 전압파형들 중에 상호 비교를 위해 추출한 오실로스코프 파형이다. 전압파형에서 공통적으로 볼 수 있듯이 감지기의 코일턴수가 증가 할수록 유기되는 전압값이 커짐을 알 수 있었으며, 또한 자속발생기와 의 이격거리가 가까울수록 유기되는 전압값이 커짐을 알 수 있었다.

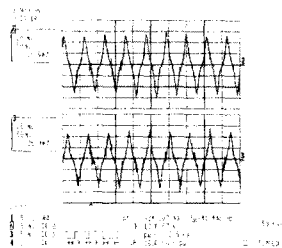


(a) 코일턴수 230회(이격거리 1mm)

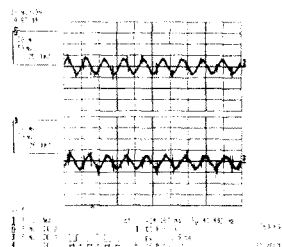


(b) 코일턴수 170회(이격거리 1mm)

그림 6. 코일턴수 변화에 따른 전압파형 비교



(a) 이격거리 1mm(코일턴수 220회)



(b) 이격거리 5mm(코일턴수 220회)

그림 7. 이격거리 변화에 따른 전압파형 비교

실험실 보완시험을 통해 얻어진 결과를 토대로 2차 시차품 제작시에는 감지기의 코일턴수는 현재 190회에서 230회로 증가시키고, 센서의 길이를 조금더 크게 제작하여 최대한 회전자 표면에 가까이 설치 될 수 있도록 하는 것이 감도 향상에 도움이 될 것이라는 판단을 내릴 수 있게 되었다.

5. 결 론

발전기 제작의 층간단락 감지기는 발전기 정상운전중 회전자 권선의 층간단락 현상 및 건전성 진단을 위한 센서로서, 본 논문에서는 이러한 층간단락 감지기를 국산화 개발하여 현장에 적용하기 위해 수행중인 연구과제의 일환으로 시행한 센서 국산화 제작, 현장설치 및 시험 등을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

[1] 국산화 개발, 설치 시험한 층간단락 감지기의 전압 감지 능력은 확인하였으나, 전압값의 크기가 기존 제품에 비해 다소 작게 나타나 층간단락 발생 수 계산시 다소 오차가 발생 하였다.

[2] 문제점 보완을 위한 실험실 시험을 통해 감지기의 코일턴수 변화, 이격거리 변화에 따른 전압파형값을 비교한 결과 코일턴수는 230회, 회전자 표면과 감지기의 이격거리는 최대한 가까이 설치하는 것이 보다 효과적이라는 것을 알 수 있었다.

[3] 위의 실험실 보완시험에서 얻어진 결과를 토대로 2차 시차품 제작이 완료되면 현장 발전기에 대한 시험을 재시행하여 국산화 개발 층간단락 감지기의 성능 및 신뢰성을 확인할 것이며, 많은 현장 발전기에 대한 확대 설치를 통해 설비 안정운전에 기여하도록 할 예정이다.

(참 고 문 헌)

[1] E. Woschnagg, "Turbogenerator Field Winding Shorted Turn Detection by AC Flux Measurement", IEEE Trans. on Energy Conversion. Vol.9, No.2, pp.427-431, June. 1994.

[2] J. penman, H.G Sedding, B.A. Lloyd and W.T. Flank, "Detection and Location of Interturn Shorted Circuits in the Stator Windings of Operating Motors", IEEE Trans. on Energy Conversion. Vol.9, No.4, pp.652-658, June. 1994.

[3] M.P. jenkins, "On-line Monitoring of Rotor Shorted Turns", IEE Conference Publication No.401, pp.55-60, Dec.1994.

[4] 주영호, 이영준, 김희동, "발전기 회전자 On-line 단락 감시 시스템 개발" 최종보고서, pp.50-52, 전력연구원, April. 2000.