

동기발전기 계자권선의 층간단락 감지센서 개발

조지원*, 이병하*, 이영준*
*인천대학교, **전력연구원

Development of Shorted-Turn Sensor for Synchronous Generator's Field Winding

Ji-Won Cho*, Byung-Ha Lee*, Young-Jun Lee**
*University of Incheon, **Korea Electric Power Research Institute

Abstract - The shorted-turn sensor for synchronous 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 synchronous generator's field winding.

1. 서 론

최근 복합화력 발전소의 증가와 더불어 발전기 계자에 의한 고장발생이 증가하는 추세에 있다. 특히 단락 및 접지에 의한 고장발생이 두드러지게 증가하고 있는데 이는 일일기동정지 및 빈번한 출력 증감발 등 운전여건이 매우 열악한 것도 큰 원인으로 작용하고 있다. 발전기 운전중 계자에 의한 고장발생은 발전기의 불시정지를 수반하며 장기간 정비를 요하는 큰 고장으로 파급될 우려가 있다. 현재 선진국에서는 발전기 정상 운전중 계자권선의 층간단락을 감지하는 센서를 개발하여 현장에 적용, 정상 운전중 계자권선의 이상상태를 사전 감지하여 발전기 불시정지 예방 및 계획적인 정비계획 수립을 통한 안정운전에 많은 노력을 기울이고 있다. 그러나 현재 국내의 계자권선에 대한 진단방법은 발전기 정지중이나 가능한 절연저항, 성극지수, 분담전압 시험 등을 시행하고 있으나 정확한 단락의 위치를 판별해 내기가 쉽지 않다.^[1] 최근 복합화력 발전기에 대한 계자권선의 층간단락에 의한 고장발생이 점차 증가하면서 발전기 정상 운전중 단락상황을 조기 감지할 수 있는데 관심을 기울이고 있다.^[2]

발전기 정상 운전중 계자권선의 층간단락 현상을 감지하기 위해서는 발전기 고정자 wedge에 계자권선의 누설자속을 감지할 수 있는 센서가 설치되어야 하는데 현재 국내에서는 개발된 실적이 없어 필요시 전량 외국업체에서 구입하여 사용하고 있다. 그러나 가격이 고가일 뿐만 아니라 구입하는데 많은 시일이 소요되어 필요한 적기에

진단시험을 수행하지 못하고 있는 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 이러한 문제점을 해소하기 위해 그 동안 단락감지 센서를 자체 개발하기 위하여 수행한 연구결과를 소개하고, 실제 현장 발전기에 대한 진단시험을 통해 얻어진 결과를 기존의 외국제품에서 얻어진 결과와 상호 비교하여 개발중인 센서의 신뢰성을 입증한 결과에 대하여 논 하고자 한다.

2. 단락감지 센서

2.1 감지이론

발전기 계자권선의 단락을 감지하는 센서는 발전기의 고정자 상부 wedge에 설치되어 정상 운전중 계자권선 각 슬롯에서 발생하는 누설자속의 변화에 상응하는 전압파형을 유기하며, 그 개략도는 그림 1과 같고 유기되는 전압파형 값은 식 (1)과 (2)와 같다.

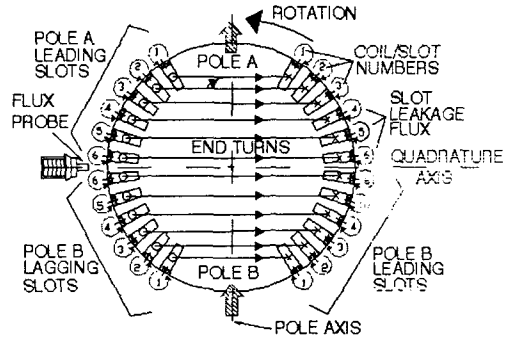


그림 1. 센서 전압유기 개략도

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

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

여기서 e : 센서 유기전압 [V]
N : 센서 코일 턴수 [Turn]
 $\partial B/\partial t$: 자속밀도의 시간변화
dS : 코일의 단면적
 $d\phi/dt$: 자속의 시간변화

유기되는 전압파형은 계자권선 각 슬롯의 누설 자속 분포를 나타내며, 단락된 권선이 존재하는 슬롯은 전압파형의 크기가 감소하여 나타나 파형 분석을 통해 흥간단락이 발생한 계자 개별권선의 위치 및 발생 수 등을 알 수 있다.^{[3][4]}

2.2 센서 구성품 분석연구

센서의 구성품 분석 연구를 위해 서인천복합 화력발전소 가스터빈 발전기에 설치되어 있는 단락감지 센서를 계획예방정비공사 기간 중 분해하여 정밀 분석하였다. 센서는 크게 발전기 wedge에 설치되는 코일형태의 flux probe와 센서 리드선 단말부에 설치되는 surge protector로 구성되었다. flux probe는 발전기 정상 운전중에 slot내 계자권선의 누설자속을 감지하여 이에 상응하는 전압파형을 유기, 발생시키는 센서이며, surge protector는 발전기 단자함에 설치하여 운전중 불시고장에 의한 flux probe에 이상전압, 또는 유도전압 발생시 이를 차단하여 flux probe의 손상 방지는 물론, 점검 및 진단시에 안전사고를 방지하기 위한 보호역할을 하는 소자이다. 표 1과 2는 단락감지 센서 구성품을 분석 연구하여 나타낸 기술규격이다.

표 1. Flux probe specification

구 분	Specification
Probe coil	Probe크기 : 29 x 6.5(mm) 권수 : 0.12(mm) x 190 (turns)
Lead wire	HIV wire 600(V) 이하
Insulation	Epoxy절연, F종
Position	상부 Stator wedge 표면

표 2. Surge protector specification

구 분	Specification
최대 허용전압	AC 35V/DC 45(V) 동작개시전압 : AC 50~62(V)
Surge 에너지 내량	10.000[A]. 응답속도 : 0.1[μs]

2.3 센서 제작

기존에 설치되어 있는 제품을 분해하여 분석한 결과를 토대로 절연재질, 코일 등을 앞에서 서술한 감지이론과 분석된 기술규격을 기초하여 발전기의 공극을 측정하여 29mm 크기로 자체 제작한 센서를 서인천복합화력발전소 가스터빈 발전기에 설치하였다. 그리고 발전기 내부에서 외부로 인출하는 전선은 고정자 코일을 지지하는 상부의 wedge에 홈을 파서 설치하고 F종 절연 수지로 처리하였다. 그러나 surge protector는 국내의 유사한 제품을 설치하여 적용하려고 하였으나 신뢰도, 안전도 검증 어려움으로 인하여 기존의 것을 설치하였다. 그림 2는 새로이 연구 개발하여 제작한 flux probe이며, 그림 3은 surge protector를 나타내었다.

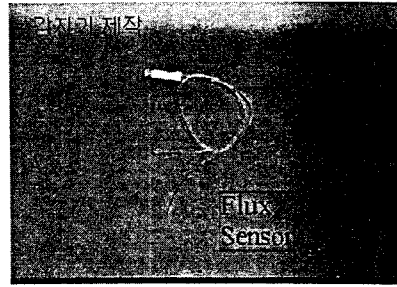


그림 2. 개발 제작한 Probe

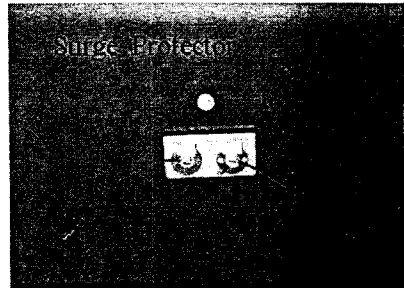


그림 3. Surge protector

3. 현장 적용시험

3.1 센서 현장설치

이번에 제작된 센서는 발전기 정비기간중 자체 기술력으로 발전기의 고정자 wedge 상부에 견고하게 설치하였다. 그림 4는 발전기 고정자 wedge에 설치된 flux probe를 나타내고 있다.

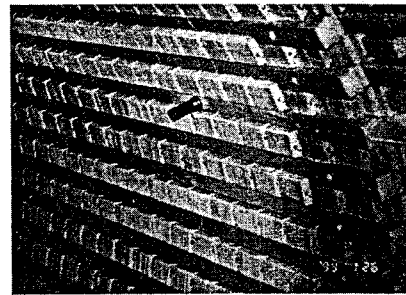


그림 4. 고정자 wedge에 설치된 Probe

Flux probe의 리드선 인출은 발전기 내의 기밀이 손상되지 않도록 시공되어야하고, 외부의 terminal box에서 단말 처리를 해야 하므로 고도의 시공 기술이 필요하다.

3.2 시험결과 및 분석

발전기 운전중 계자권선의 층간단락 현상을 감지하는 센서의 가장 중요한 핵심은 과연 자체 개발 제작한 제품이 기존의 외국제품과 비교하여 신뢰성을 가지고 있는가의 여부에 있다. 따라서 본 연구에서는 서인천복합화력발전소 가스터빈 발전기에 설치된 센서로부터 전압파형을 오실로스코프로 측정하여 기존 외국제품 센서에서 측정 한 전압파형을 상호 비교하여 보았다. 그림 5는 기존 외국제품 센서로부터 중간부하에서 측정 한 전압파형이며, 그림 6은 이번에 새로이 자체개발 제작한 센서로부터 동일한 중간부하에서 측정 한 전압파형이다.

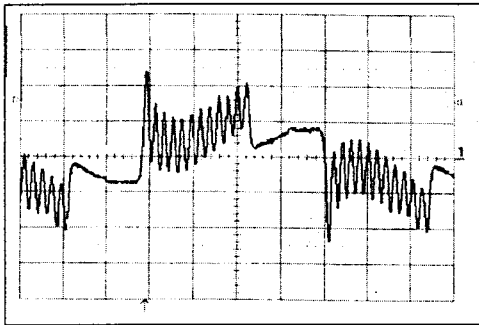


그림 5. 기존 센서로 측정 한 전압파형

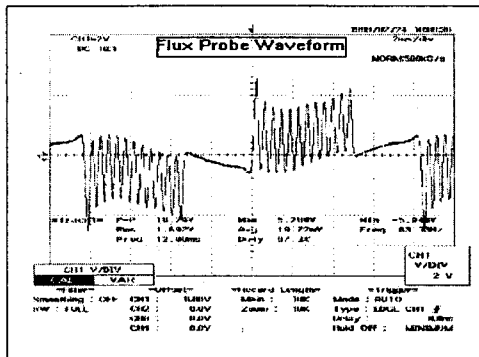


그림 6. 제작 센서로 측정 한 전압파형

그림 5와 6에서 볼 수 있듯이 기존 센서와 개발 제작한 센서로부터 발전기 중간부하에서 측정 한 전압파형을 비교한 결과, 파형 형태 및 전압의 피크값이 거의 동일하여 자체 개발 제작한 센서의 신뢰성이 입증되어, 이를 발전기의 공극 크기, 계자권선의 층수, 기타 여자기의 기술규격을 토대로 향후, 여타 발전기에 대해서도 확대 적용하여 센서를 제작, 설치 운영하면 발전기의 계자권선 예측진단에 상당히 기여 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 논문에서는 동기 발전기 운전중 계자권선의 층간단락 현상을 감지하는 센서의 자체 개발을 위하여 수행한 연구의 일환으로서 센서의 개발 제작 및 현장 적용시험을 수행하였으며, 그 결론은 다음과 같다.

[1] 자체 개발하여 제작한 단락감지 센서의 성능 및 신뢰도가 기존 고가의 외국제품과 비교하여 차이가 없었으며, 향후 기존에 운영 중인 발전기에 설치되는 층간단락 감지센서는 국내 기술로 제작하여 설치, 운영할 수 있음을 확인할 수 있었다.

[2] 국내에서 개발한 제품을 활용할 경우 국외에 지출되는 외화경비 절감은 물론, 저렴한 비용으로 제작, 설치 가능함으로써 국내에 있는 발전기에 대한 계자권선 층간단락 진단기법의 확대적용에 기여할 것으로 기대한다.

[3] 센서의 구성품인 surge protector에 대해서도 기존 제품에 대한 신뢰도를 입증하여 적용할 수 있도록 연구, 검토 수행 중에 있다.

[참고 문헌]

- [1] 전력연구원 발전연구실, "발전기 권선 및 철심 진단기법", pp79-85, Sep, 1996.
- [2] 전력연구원 발전연구실, "발전기 회전차 On-line 단락 감시시스템 개발" Apr. 1999
- [3] "Generator Field Winding Shorted Turn Detector", GET 6987A, Apr. 1992, General Electric, USA.
- [4] "The Need for Shorted-Turn Detection Sys", Generator tech, Inc., Http://www. Generator tech. com, Internet Website.