

발전기 회전자 권선의 건전성 평가

이영준, 주영호
한전 전력연구원

Assessment of Insulation Condition for Generator Rotor Windings

Young-Jun Lee, Young-Ho Ju
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - A shorted-turn test was performed at the Pyungtaek combined cycle power plant on gas turbine generators. The test was conducted using a permanent flux probe and on-line shorted-turn diagnosis system. The permanent flux probe installed in the generator air gap senses the field winding slot leakage flux and produces a voltage proportional to the rate of change signature unique to each field winding. We have also applied a voltage waveform analysis technique that can identify the pole location, slot number and number of shorted-turn with each slot.

그림 2는 flux probe로부터 발생하는 신호를 분석하는 진단시스템으로 전력연구원에서 2000년에 국산화 개발 완료하여 현재 여러 발전소에서 많이 활용되고 있다. 이 진단시스템은 사용자의 편의를 위해 범용의 PC 환경에서 사용할 수 있는 하드웨어와 소프트웨어로 구성되어 있다. 진단을 위한 프로그램은 발전기 회전자 권선의 층간 단락 발생위치, 발생수 등의 정확한 정보를 제공하며, 다양한 그래프와 도표로 사용자가 운용하는데 편리하도록 그래픽을 구성하였다. 그림 3은 발전기 정상 운전중 회전자 권선의 건전성을 진단하는 층간 단락 진단시험의 개략도를 나타낸 것이다.

1. 서 론

발전기 회전자는 여러개의 슬롯에 동선이 삽입되어 있으며, 각 슬롯내에는 여러층의 동선이 상하로 절연재에 의해 분리되어 적층되어 있다. 회전자 권선의 층간단락은 한 슬롯내의 동선사이의 접촉으로 발생하며, 발전기 정상운전에 악영향을 미친다. 적은수의 층간 단락은 발전기가 정격부하를 내는데 영향을 미치지 않으나, 많은수의 층간 단락이 존재할 경우 부하를 제한하여 운전해야 하는 경우가 발생되기도 하고 큰 고장을 일으키기도 한다. 층간 단락이 존재하는 상태로 운전되는 발전기에서 나타날 수 있는 현상으로는 계자전류변화(열적 불평형)에 따른 회전자 휘어짐 현상, 불평형 자력에 의한 고정자 및 회전자의 진동, 일정부하에서 더 많은 계자전류 필요, 계자전류 증가에 따른 발전기 운전온도 상승 등이 있으며, 심한 경우 불시고장으로 장기간 정비를 요하는 경우도 발생한다. 이러한 심각한 상황에 도달하기 이전에 회전자 권선의 건전성을 진단하는 일은 매우 중요하며, 최근 발전기 고정자 웬지에 센서를 설치하여 발전기 정상운전중 회전자 권선의 층간 단락 발생여부를 진단하는 방법으로 flux probe test를 시행하고 있으며, 실제 여러대의 현장 발전기에 대한 진단시험 결과, 그 신뢰성이 매우 높아 국내에서도 이에 대한 연구 및 진단시험이 활발히 진행되고 있다.[1]-[3]

본 논문에서는 flux probe 센서와 진단시스템을 이용하여 3대의 현장 발전기에 대한 층간 단락 진단시험을 시행하고 그 결과에 대한 분석 및 고찰을 통해 flux probe 시험이 발전기 회전자 권선의 층간 단락 진단에 유용하고 신뢰성이 매우 높다는 것을 확인하고자 한다.

2. 본 론

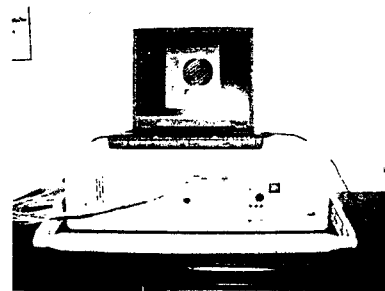
2.1 Flux Probe 시험

발전기 정상 운전중 회전자 권선의 층간 단락 진단기법으로는 층간 단락 감지용 센서인 flux probe 시험이 있다. 이 방법은 발전기 고정자 웬지에 영구적으로 설치된 flux probe 센서를 통해 회전자 각 권선 슬롯의 누설자속을 감지하여 이를 전압파형으로 나타내주며, 층간 단락이 발생한 권선 슬롯의 경우 슬롯내에 층간 단락으로 인해 권선 수가 감소되므로 센서에 유기되는 전압파형이 작게 나타나며, 이 전압파형을 N, S극 상호 비교함으로써 회전자 권선의 층간 단락 발생여부 및 발생위치 등을 쉽게 알 수 있는 진단기법이다.[4]

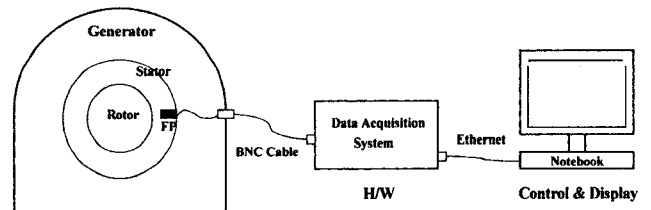
그림 1은 발전기 고정자 웬지에 영구적으로 설치된 flux probe 센서이며, 그림 2는 센서로부터 취득한 전압파형을 분석하는 진단시스템, 그리고 그림 3은 발전기 정상 운전중 회전자 권선의 건전성을 진단하는 층간 단락 진단시험 개략도이다.



〈그림 1〉 Flux probe



〈그림 2〉 층간 단락 진단시스템



〈그림 3〉 층간 단락 진단시험 개략도

2.2 시험 대상설비 및 결과

2.2.1 시험 대상설비

발전기 정상 운전중 회전자 권선의 건전성 여부를 확인하기 위한 진단시험을 수행한 발전기는 평택화력본부 복합 가스터빈 발전기(출력 80MW 112,800KVA, GE사) 3대를 선정하여 시험을 수행하였다. 이들 3대의 발전기는 복합화력 발전기들로 복합화력 운전특성상 일일기동정지 및 빈번한 출력 증감발로 인하여 운전 스트레스를 많이 받는 발전기들로 회전자 권선의 건전성 진단이 매우 필요한 설비들이다.

2.2.2 시험결과

발전기 출력을 0MW에서 전부하 출력인 80MW까지 10MW 단위로 단계별로 상승시키면서 여러 가지 부하대에서 측정된 시험결과, 표 1과 같은 결과를 얻었다. 1호기 가스터빈 발전기는 N극 4번과 7번 권선에 각각 1개씩의 층간 단락 현상이 존재함을 알 수 있었으며, 2호기 및 4호기 가스터빈 발전기는 층간 단락 현상이 한 곳에서도 감지되지 않은 매우 양호한 결과를 나타내었다.

일반적으로 복합화력 발전기들은 운전특성상 첨두부하 담당용이기 때문에 빈번한 기동정지 및 출력 증감발로 인하여 회전자 권선의 운전 스트레스가 상당히 높은편으로 평택복합 발전기 회전자 권선의 경우 각 호기별로 회전자 권선에 대한 대대적인 정비작업을 순차적으로 계획·방정비시기를 이용하여 시행하여 왔으며, 금번 1호기 가스터빈 발전기에 대한 층간 단락 발생 확인으로 차후 정비기간에 금번의 시험결과를 반영할 수 있게 되었다.

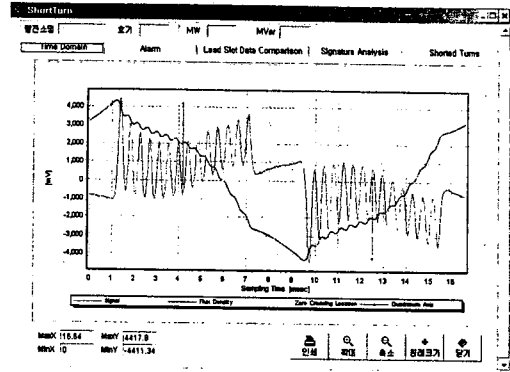
〈표 1〉 발전기 회전자 층간단락 진단시험 결과

[단락 발생 수]

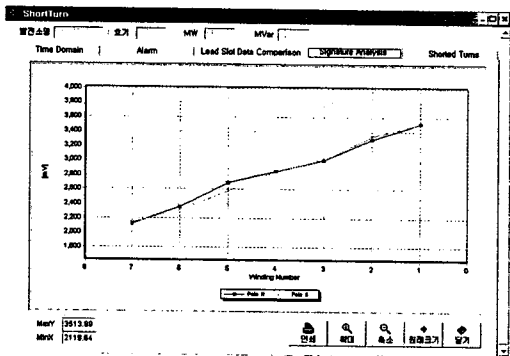
| 권선 No. | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 계 |
|---------|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| #1 Gen. | N극 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| | S극 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| #2 Gen. | N극 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | S극 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| #4 Gen. | N극 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | S극 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

그림 4(a)는 평택복합 #1 가스터빈발전기에 대한 여러 출력대에서 측정된 flux probe 데이터중 출력 70MW에서 측정된 전압파형이고, 그림 4(b)는 전압파형의 값을 비교하기 쉽게 N, S극을 상호 겹쳐서 나타낸 그래프이다. 그림 4(b)에서 나타낸바와 같이 4번과 7번 권선에서 상호 일치하지 않고 측정된 전압파형의 값이 다르게 나타남을 볼 수 있다. 이는 N, S극 어느 한쪽의 권선에 층간단락이 존재하여 측정된 전압파형이 작게 나타나기 때문이다.

평택복합 #1 가스터빈발전기 회전자에 존재하는 2개의 층간단락 발생 수는 전체 회전자 권선의 0.84%에 해당되는 단락 발생율로 정상운전에는 문제가 없을 것으로 판단된다. 북미대학에서 운전중인 수많은 발전기들에 대한 시험을 통해 일반적으로 층간단락 발생율이 전체 회전자 권선의 5% 이내이면 발전기 정상운전에 문제가 없는 것으로 판단하고 있다.[4]

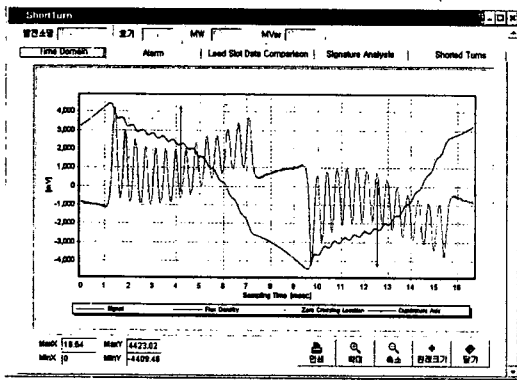


(a) Flux probe 전압파형

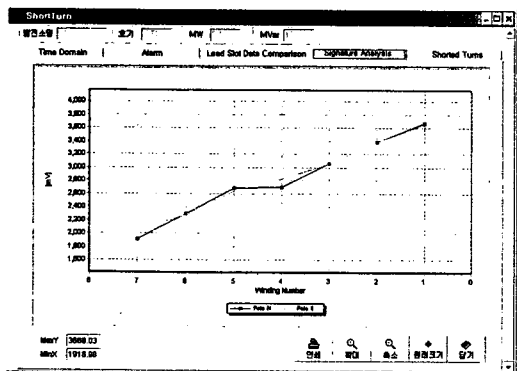


(b) N, S극 전압파형 비교 그래프

〈그림 5〉 Flux probe 시험데이터(#4 Gen.)



(a) Flux probe 전압파형



(b) N, S극 전압파형 비교 그래프

〈그림 4〉 Flux probe 시험데이터(#1 Gen.)

그림 5(a), (b)는 금번에 회전자 층간단락 시험을 통해 양호하게 분석된 평택복합 #3, #4 가스터빈발전기중 에 대한 flux probe 데이터로서, 출력 70MW에4호기에서 측정된 전압파형 및 N, S극을 상호 비교한 그래프이다. 이 발전기는 N, S극 7개의 각 권선의 flux probe 전압파형 및 비교 그래프가 상호 일치함으로써 어느 한개의 권선에서도 층간단락이 존재하지 않는 매우 양호한 상태임을 확인할 수 있었다.

금번 3대의 가스터빈 발전기에 대한 운전중 진단기법인 flux probe 시험을 통해 회전자 권선의 층간단락이 발생한 위치 및 발생 수 등을 정확히 분석이 가능하여 신뢰성이 매우 높은 진단기법임을 확인하는 계기가 되었다.

3. 결 론

발전기 정상운전중 평택복합 가스터빈 발전기 3대에 대한 flux probe 진단시험을 시행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

[1] 평택복합 #1 가스터빈발전기는 N극 4번과 7번 권선에 각각 한 개씩 총 2개의 권선에 층간단락이 존재함을 알 수 있었으며, 이는 총 발전기 회전자 권선의 0.84%에 해당하는 단락 발생율로 정상 운전에는 문제가 없을 것으로 판단되나, 추이관리를 위해 주기적인 진단이 필요하다.

[2] 평택복합 #2, #4 발전기 2대의 회전자 권선에는 단 하나의 단락도 발생하지 않은 매우 건전한 상태임을 확인할 수 있었다.

[3] 발전기 정상 운전중 진단방법인 flux probe 시험은 회전자 권선의 층간단락이 발생한 위치 및 발생 수 등을 정확히 알 수 있어 기존의 정지중 진단기법에 비하여 시험의 신뢰성이 매우 높다는 것을 확인할 수 있었다.

[4] Flux probe와 진단시스템을 이용한 발전기 회전자 권선에 대한 운전중 진단기법은 발전기의 정지없이 사전 진단이 가능하다는 큰 장점을 가지고 있어, 향후 국내 발전기에 대한 확대적용으로 안정 운전 및 불시고장 예방에 크게 기여하리라 판단된다.

〔참 고 문 헌〕

[1] E. Wosnagg, "Turbogenerator Field Winding Shorted Turn Detection by AC Flux Measurement", IEEE Trans. on Energy Conversion. Vol.9, No2, 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, No4, 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] Generatortech. Inc. "The need for a shorted-turn detection system" Internet Homepage.