

발전기 회전자 층간단락 진단시스템 국산화 개발

이영준, 주영호
한전 전력연구원

Development of Shorted-Turn Diagnosis System for Generator Rotor

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

Abstract - On-line diagnosis system has been developed and is now applied the detection of shorted-turn in the field winding of large generator. This system consists of data aquisition system and display PC. The data aquisition system detects voltage waveform from flux probe sensor installed in the stator slot. The display PC shows the shorted-turn situation of generator rotor winding.

1. 서 론

최근 발전기의 고장방지를 위한 예방진단에 관심을 기울이면서 기존의 정지중 진단기법의 단점을 보완하고자 운전중 진단기법에 관한 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 발전기 회전자 권선의 층간단락 현상은 정상운전중 고속회전시에 발생하는 원심력이 작용할때 나타나는 경우가 많은데 기존의 정지중에 시행하던 분담전압 시험으로는 정확히 층간단락이 발생한 슬롯 위치 및 발생 수 등을 판별하는데에는 어려움이 있다. 또한 시험을 위해서는 발전기를 반드시 정지시켜야 하는 단점을 갖고 있다.⁽¹⁾ 발전기 회전자 권선의 층간단락 현상은 일일기동 정지 및 빈번한 출력 증감발 등 운전조건이 열악한 복합 화력 발전기에서 자주 나타나는 경향이 있으며,⁽²⁾ 층간 단락 발생시에는 진동상승, 온도상승, 출력제한, 심한 경우 불시정지로 이어지는 매우 중요한 사안이다.⁽³⁾ 종래에 이러한 현상을 진단하기 위해서는 외국 발전기 제작 업체에 의뢰하여 시행을 하였는데 그 진단비용이 1회 당 5만달러의 경비가 소요되어 막대한 외화낭비는 물론 진단 필요시 적기에 시행을 하지 못하는 경우가 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해소하고자 회전자 층간단락 진단시스템을 국산화 개발하여 현장에 적용함으로써 발전기 안정운전을 도모하고 값비싼 외화낭비를 줄이기 위해 지난 2년간의 연구개발 노력 끝에 국산화 개발에 성공한 발전기 회전자 층간단락 진단시스템에 대한 전반적인 내용을 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 층간단락 감지용 센서

발전기 회전자 권선의 층간단락을 감지하는 센서는 발전기의 고정자 상부 웨지에 설치되어 정상운전중 회전자 권선 각 슬롯에서 발생하는 누설자속의 변화에 상응하는 전압파형을 유기하며, 전압파형은 회전자 권선 각 슬롯의 누설자속 분포를 나타내며, 단락된 권선이 존재하는 슬롯은 전압파형의 크기가 감소하여 나타나 파형분석을 통해 층간단락이 발생한 슬롯의 위치 및 발생 수 등을 알 수 있다.^(4,5) 그림 1은 발전기 고정자 웨지에 설치된 층간단락 감지 센서이며, 센서 내부에는 0.12(mm) 정도의 얇은 코일이 감겨져 있다.

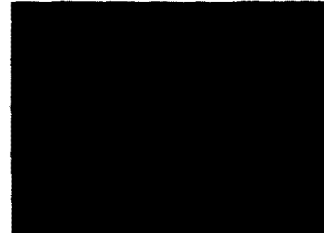


그림 1. 층간단락 감지용 센서

2.2 층간단락 진단시스템

본 연구에서 개발한 발전기 회전자 층간단락 진단시스템의 전체적인 구성은 그림 2와 같으며, 발전기 내부에 설치된 센서로부터 발생하는 출력신호를 수집, 처리하는 데이터 수집시스템과 사용자에게 층간단락 진단결과를 알기 쉽게 화면으로 나타내주는 디스플레이 PC로 구성되었다.

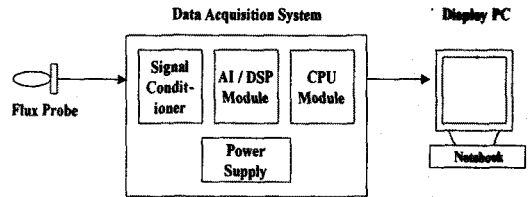


그림 2. 진단시스템 전체 구성도

2.2.1 데이터 수집시스템

데이터 수집시스템은 센서 출력신호를 증폭, 처리해주는 시그널 컨디셔너(signal conditioner), 그리고 DSP 모듈(digital signal processor module), CPU 모듈, 전원장치(power supply) 등으로 구성되어 있으며, 모든 모듈은 표준 VMEbus로 이루어져 있다. 층간 단락 감지 센서에서 출력되는 전압파형 신호는 signal conditioner를 통해 필요한 신호만이 증폭되어 DSP와 CPU 모듈로 보내져서 단락진단 알고리즘 계산을 통한 층간단락 발생여부 등 여러가지 데이터를 디스플레이 컴퓨터로 보내어 진다.

2.2.2 디스플레이용 컴퓨터

디스플레이용 컴퓨터는 현장시험의 편리성을 고려해 운반하기 편리한 노트북 컴퓨터를 이용하여 발전기 회전자에서 층간단락이 발생한 권선의 위치와 발생수 등의 정보를 제공한다. 디스플레이 화면은 사용자가 직관적으로 인지하기 쉽도록 다양한 그래프와 도표로 표시해주며, 그림 3은 본 연구에서 개발한 층간단락 진단시스템의 실물이다.

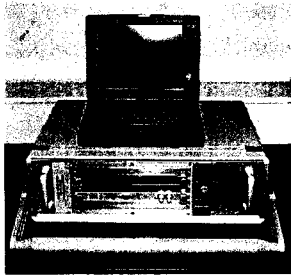


그림 3. 중간단락 진단시스템

2.3 진단용 소프트웨어

발전기 회전자 권선의 중간단락을 진단하는 소프트웨어는 IBM PC 호환기종의 Windows 95 혹은 98에서 누구나 손쉽게 사용할 수 있도록 하였다. 그림 4는 진단용 소프트웨어의 구성도이다.

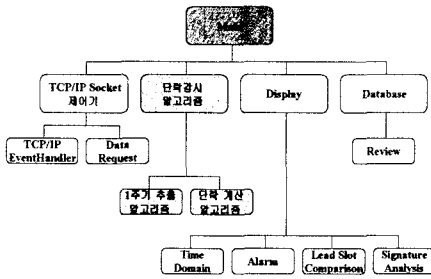
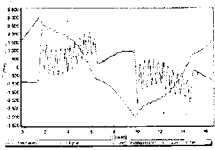
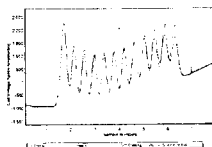


그림 4. 소프트웨어 구성도

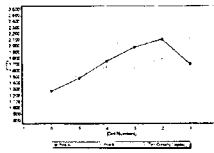
Main은 시스템을 초기화하고 TCP/IP socket 제어를 설치한다. TCP/IP socket 제어기는 Ethernet으로 전송되는 데이터를 수집, 가공, 처리하며 필요한 만큼의 정보가 모이면 단락감시 알고리즘을 호출하도록 되어 있다. 단락감시 알고리즘은 하드웨어 모듈로부터 전송된 데이터를 이용하여 회전자 권선의 단락발생을 산출하며, 디스플레이는 단락감시 알고리즘의 결과를 사용자가 쉽게 인식할 수 있도록 Time domain, Lead slot comparison, Signature analysis 등의 다양한 화면으로 나타낸다. 그림 5는 여러 가지 디스플레이 화면을 나타냈으며, 그림 5(a)는 단락감시 센서로부터 얻어진 각 극별 전압파형을 보여주고 있다. 그림 5(b)는 각 극별로 전압파형을 겹쳐서 나타내어 사용자가 각 극별 전압값의 편차를 쉽게 알아볼 수 있도록 한 것이며, 그림 5(c)는 각 극별, 권선별로 전압값의 피크치를 비교한 화면으로서 단락이 발생한 경우 각 극별, 권선별로 편차가 심하게 발생한다. 그림 5(d)는 알람설정치 이상의 단락이 발생한 경우 알람이 발생되도록 하여 사용자가 경각심을 갖도록 하였다. 이러한 진단시험 결과들은 자동 저장되어 데이터베이스화하여 사용자가 필요시 기 시행된 시험 데이터를 볼 수 있고, 또한 추이관리가 가능하도록 하였다.



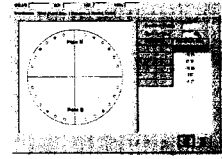
(a) 전압파형



(b) 각극별 전압값 비교



(c) 전압값 비교그래프



(d) 알람화면

그림 5. 디스플레이 화면

2.4 진단시스템 신뢰성 확인을 위한 현장시험

본 연구에서 국산화 개발한 중간단락 진단시스템의 신뢰성을 확인하기 위해 국내 최대의 복합화력인 서인천복합화력 발전소 가스터빈발전기 5대에 대하여 현장시험을 수행하였다.

2.4.1 시험방법

시험에 사용된 장비는 센서로부터의 신호 측정을 위해 디지털 오실로스코프와 새롭게 국산화 개발된 진단시스템을 이용하여 동시에 데이터를 측정, 비교분석을 하였다. 오실로스코프를 이용한 회전자 중간단락 시험은 선진국에서도 진단시스템이 개발되기 이전에 사용되던 방법으로 시험의 신뢰성은 이미 검증이 된 시험방법이다.

2.4.2 시험결과

발전기 정상 운전중 회전자 권선의 중간단락 발생여부를 정확하게 판정하기 위해 각 호기별(총 5대)로 무부하에서 전부하에 이르기까지 다양한 부하대에서 디지털 오실로스코프와 개발된 진단시스템으로 측정한 전압파형을 측정, 상호 비교한 결과 시험결과가 일치하였으며, 전압파형을 분석하여 중간단락 발생여부를 확인한 결과도 양쪽 모두 일치하여 이번엔 연구개발된 중간단락 진단시스템의 신뢰성을 확인하는 계기가 되었다. 표 1은 디지털 오실로스코프와 진단시스템으로 분석한 시험결과를 나타낸 것이다.

표 1. 중간단락 시험결과

호기	측정 방법	중간단락 발생 Turn 수						중간단락 발생률 [%]						
		Winding Number												
		1	2	3	4	5	6		계					
#9	오실로스코프	0	0	1	0	0	2	1	0	0	0	0	4	2.7%
	진단시스템	0	0	1	0	0	2	1	0	0	0	0	4	2.7%
#10	오실로스코프	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	3	2.0%
	진단시스템	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	3	2.0%
#11	오실로스코프	3	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	8	5.5%
	진단시스템	3	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	8	5.5%
#12	오실로스코프	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	진단시스템	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
#14	오실로스코프	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	진단시스템	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2.5 진단시스템의 특징

본 연구개발에서 국산화 개발 성공한 발전기 회전자 중간단락 진단시스템의 특징으로는 발전기 정상운전중 회전자 권선의 건전성을 진단할 수 있기 때문에 기존에 회전자 권선을 진단하기 위해 발전기를 정지시켜야 하는

문제점을 해소하게 되었으며, 진단시험을 시행하는 현장에서 시험과 동시에 결과판정이 가능하게 되어 신속 정확하게 그 결과를 알 수 있게 되었다. 또한 데이터베이스를 통한 발전기별 층간단락 추이 관리가 가능하고, 시험의 편리성을 고려해 고정형이 아닌 이동가능한 portable type으로 제작되었다.

3. 결 론

본 논문에서는 발전기 정상운전중 회전자 권선의 층간단락 여부를 판별할 수 있는 진단시스템을 국산화 개발하였으며, 현장 가스터빈 발전기 5대에 대한 실제 진단시험을 시행하였으며 그 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) 새로이 국산화 개발된 발전기 회전자 층간단락 진단시스템을 이용한 발전기 운전중 층간단락 시험은 층간단락이 발생한 권선의 위치, 발생 수 등을 신속, 정확하게 판별할 수 있었다.

(2) 실제 발전기에서 디지털 오실로스코프와 새로운 진단시스템을 이용하여 회전자 권선의 층간단락 진단시험을 시행한 결과 모두 일치함에 따라 국산화 개발한 진단시스템의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

(3) 새로운 진단시스템은 사용이 편리하여 향후 발전기 회전자 권선의 건전성 진단에 널리 활용하여 회전자 권선의 이상상태를 사전 진단함으로써 효율적인 정비계획 수립에 많은 도움이 될 것이며, 진단을 위한 값비싼 의화 소요경비도 절감 가능하게 되었다.

[참고문헌]

- [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" TR.98GS06.S2000.208, 한전 전력연구원, 2000.
- [3] 김희동, 이영준, 박종정, 주영호, "발전기 회전자 권선의 운전중 층간단락 탐지", 대한전기학회 논문지, Vol. 48C, No.3, pp. 192~199, 1999.
- [4] M.P. Jenkins, "on-line Monitoring of Rotor Shorted Turns", IEE Conference Publication No. 401, pp. 55~60, 1994
- [5] D.R. Albright, Interturn Short-Circuit Detection, Generatortech. Inc., pp.1~8, 1993.