

## 발전기 회전자 턴단락 센서 국산화 개발에 관한 연구

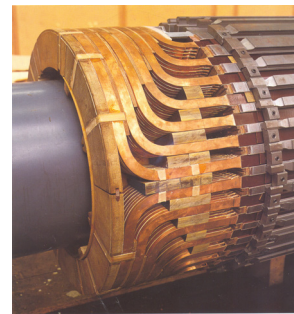
이영준  
한국전력공사 전력연구원

### Development of Shorted-Turn Sensor for Generator Rotor Windings

Young-Jun Lee  
Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - As a fundamental investigation to develop a sensor which is able to detect shorted turn phenomenon of generator rotor, we have experimented with self-made sensor using flux generator and high-resolution oscilloscope. We have recorded sensor-induced voltage according to the different condition, such as variations of turn, diameter and length of sensor. Based on the acquired data, we analyzed and simulated under similar circumstances of actual spot to maximize reliability. We have a plan to invest more resources to supply power plants with the developed sensor for ourselves.

발전기 운전이 심각한 영향을 미칠 수 있다. 그림 1은 회전자 권선의 구조를 나타낸 사진이다.



<그림 1> 발전기 회전자 권선

## 1. 서 론

발전기 회전자는 여러개의 슬롯에 동선(銅線)이 삽입되어 있으며, 각 슬롯내에는 여러층의 동선이 상하로 절연테이프에 의해 분리되어 적층되어 있다. 회전자 권선의 층간단락은 한 슬롯내의 동선사이의 접촉으로 발생하며, 발전기의 정상적인 안전운전에 영향을 미친다. 적은수의 층간단락은 발전기가 정격부하를 내는데 크게 영향을 미치지 않으나, 많은수의 층간단락이 존재한다면 발전기가 정격부하를 발생하는데 애로가 발생하며, 발전기 출력을 제한하여 운전해야 하는 경우도 있다. 회전자 권선에 층간단락이 존재하는 상태로 운전중인 발전기에서 나타날 수 있는 현상으로는 계자전류 변화에 따른 열적 불평형으로 인한 회전자 몸체의 휘어짐 현상, 불평형 자력에 의한 고정자 및 회전자의 진동상승, 일정부하를 발생하기 위해서는 더 많은 계자용량 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, 주기적인 진단을 통해 설비 신뢰성을 확보하여야 한다.

발전기 회전자에 대한 진단기법은 전 세계적으로 정지중 진단기법인 절연저항시험, 분담전압측정, RSO시험 등이 널리 활용되고 있으나, 진단을 위해서는 반드시 발전기를 정지해야만 하는 문제점을 안고 있으며, 그 진단결과에 대한 신뢰성도 높은편은 아니다. 이러한 문제점을 해소하고자 근래에 들어 발전기 정상 운전중 회전자 권선의 건전성을 진단하는 방법에 대한 연구개발이 매우 활발히 진행되고 있다.[1]~[3] 최근 발전기 정상 운전중 회전자 권선의 건전성을 진단하는 방법으로 발전기 고정자 웬지에 영구적으로 설치하는 층간단락 센서와 여기서 발생하는 신호를 수집, 분석하는 진단시스템을 활용한 진단기법이 국내 및 선진국에서 널리 활용되고 있다.

본 논문에서는 회전자 누설자속을 감지하여 회전자 권선의 턴간 단락 현상을 찾아낼 수 있는 센서에 대한 국산화 개발을 위해 진행중인 연구과제의 일환으로 턴단락 센서를 설계, 제작하여 여러가지 모의 실험실 시험을 수행하고 그 결과에 대하여 고찰한 내용을 수록하였다.

## 2. 발전기 회전자 및 턴간단락 현상

발전기 회전자는 대형 회전 전자속으로 자속을 발생하는 역할을 하며, 여자전류를 계자권선까지 흐르게 하는 통로 역할을 한다. 이러한 회전자는 기계적으로 정밀하게 제작하여, 고속의 원심력에 견디며, 진동이 발생하지 않도록 정밀하게 제작된다. 회전자 내부에 설치된 회전자권선은 발전기 용량에 따라 다르나 각 슬롯내에는 7~18개의 개별동선이 적층되어 있으며, 이들 동도체 사이에는 턴간 절연이 되어있다. 턴절연지는 통상 galss/epoxy 복합재료, glass/polyster 복합재료, nomex 등이 사용되며, 고속으로 회전하는 원심력에 견딜 수 있도록 최대한 얇고 가벼운 재료로 두께 약 0.3~0.5[mm]의 절연재료를 사용한다.

회전자 턴간 단락 현상이란 이러한 동도체 사이의 턴간절연물에 문제가 발생하여 각각의 동도체가 접촉되는 현상을 말하며, 단락 발생시에는

## 3. 턴단락 센서 개발을 위한 시험

### 3.1 턴단락 센서 제작

이러한 회전자 권선의 턴간 단락현상을 정상운전중에 찾아낼 수 있는 센서의 국산화 개발을 위한 기초단계로 모의실험을 위해 턴단락 센서를 자체 설계, 제작하였다. 모의 실험실 시험을 위해 제작한 턴단락 센서는 테프론 튜브의 원형 중심봉에 직경 6Φ, 8Φ의 두가지 종류로 제작하였으며, 자속발생기를 통한 전압 유기를 위해 중심봉에 감는 에나멜 코일은 직경 0.12mm의 동선을 사용하여 190~270회를 수작업으로 각각 감았다. 그림 2는 원형 테프론 중심봉에 코일을 감아 제작한 모의 센서이다. 이러한 제작된 센서를 이용 전압을 유기하기 위한 자속발생기는 N, S극이 회전하면서 자속이 발생하는 장치를 별도로 제작하였다. 제작된 전압유기 센서는 패러데이의 전자유도법칙에 의해 다음과 같이 전압이 유기된다.

$$e = -N \frac{dt}{d\Phi}$$



<그림 2> 실험용 센서 제작

### 3.2 실험방법 및 결과분석

자체 설계, 제작한 모의 센서, 자속발생기, 그리고 센서에 유기되는 전압측정을 위한 오실로스코프 등이 모의실험에 활용되었다. 실험방법은 센서 중심봉에 감기는 코일의 턴수 변화, 센서와 자속발생기와의 거리변화, 그리고 센서 중심봉 크기 변화에 따른 센서 유기전압을 각각 측정하여 비교, 분석하였다. 그림 3은 실험을 위한 각종 계측기 및 자속발생기로부터 센서에 전압을 유기하는 실험을 하는 사진이다.

자체 제작한 센서를 이용하여 자속발생기로부터 유기되는 전압값은 오실로스코프로 각 상황별로 5회 측정하여 평균값을 취했으며, 순간적인 외부 노이즈에 의한 이상 유기전압값은 계산에서 제외하였다. 표 1은 코

일터수 및 센서 중심봉 크기 변화에 따라 측정된 유기전압값의 크기를 나타낸 것이다.



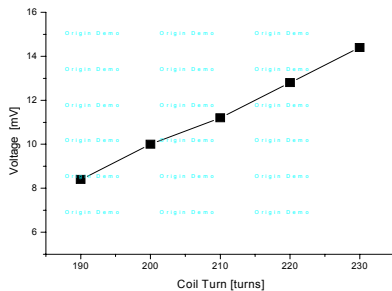
〈그림 3〉 실험실 모의시험 장치

〈표 1〉 센서 유기전압값 비교

턴수 / 이격거리	5mm	10mm	15mm	20mm	센서 단면적
190	8.4 mV	6.0 mV	5.2 mV	2.4 mV	6Φ
200	10.0 mV	8.4mV	6.0 mV	4.0 mV	6Φ
210	11.2 mV	8.4 mV	7.6 mV	5.6 mV	6Φ
220	12.8 mV	9.2 mV	8.4 mV	6.0 mV	6Φ
230	14.4 mV	10.4 mV	9.2 mV	7.2 mV	6Φ
230	14.2 mV	10.4 mV	8.8 mV	7.6 mV	8Φ
240	14.8 mV	12.8 mV	11.6 mV	8.4 mV	8Φ
250	17.6 mV	15.6 mV	13.2 mV	10.8 mV	8Φ
260	18.4 mV	17.6 mV	15.2 mV	12.0 mV	8Φ
270	20.0 mV	18.4 mV	16.0mV	14.8 mV	8Φ

### 3.2.1 센서 코일턴수 변화에 따른 결과

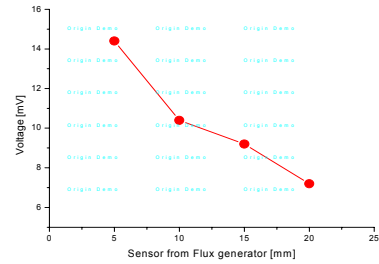
센서 중심봉의 직경 6Φ에 코일턴수를 190~230[turns]으로 각각 감긴 센서로 자속발생기를 통해 유기된 전압을 측정, 비교분석하였다. 그림 4는 센서 코일 턴수 변화에 따른 유기전압값을 비교한 그래프로서, 센서의 코일 턴수가 증가하면 할수록 유기되는 전압이 크게 나타남을 알 수 있었다. 이러한 결과는 센서 중심봉이 8Φ인 센서를 230~270[turns]으로 감은 센서에서도 동일한 측정결과를 나타내었다. 즉, 전압유기를 위해 센서 제작시 코일 턴수를 증가할수록 유기되는 전압값의 크기, 즉, 감도가 향상됨을 알 수 있었으며, 6Φ의 경우에는 코일턴수를 최대 230회 그리고 8Φ의 경우에는 최대 270회를 감을 수 있었다. 그 이상 감을시에는 코일이 중심봉을 벗어나 감기게되어 안정적으로 사용할 수가 없었다.



〈그림 4〉 코일 턴수 변화에 따른 유기전압값 비교

### 3.2.2 자속발생기와 센서 이격거리 변화에 따른 결과

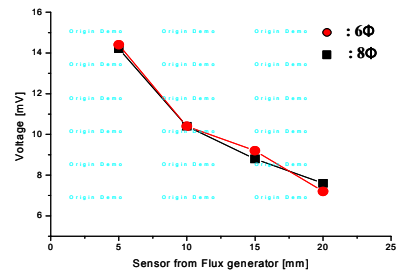
6Φ, 230회 감긴 센서를 이용하여 자속발생기에서 센서까지의 거리를 5, 10, 15, 20[mm]로 변화시키면서 유기되는 전압의 크기를 비교한 결과, 자속발생기에 가까이 설치 될수록 유기되는 전압값이 크게 나타남을 알 수 있었다. 즉, 실제 발전소 현장 발전기에 센서 설치시 발전기의 공극길이를 감안하더라도 가급적 최대한 자속을 발생하는 회전자 표면에 가까이 센서를 설치하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있었다. 그림 5는 자속발생기와 센서와의 거리변화에 따라 유기되는 전압값을 비교한 그래프이다.



〈그림 5〉 이격거리 변화에 따른 유기전압값 비교

### 3.2.3 중심봉 직경 변화에 따른 결과

6Φ 및 8Φ의 센서 중심봉에 각각 230회 감긴 센서를 이용하여 자속발생기로 부터 유기되는 전압의 크기를 비교한 결과, 센서 중심봉의 직경 크기와 상관없이 두 실험결과의 측정된 전압값이 매우 유사함을 알 수 있었다. 이는 센서 중심봉 직경의 크기와 유기되는 전압크기와는 아무런 상관성이 없음을 알 수 있었으며, 오로지 중심봉에 감긴 코일턴수 및 자속발생기로 부터의 이격거리 변화가 유기되는 전압값에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 그림 6은 센서 중심봉 직경변화에 따른 유기전압값을 비교한 그래프로 6Φ나 8Φ 모두 비슷한 결과를 나타냄을 볼 수 있다.



〈그림 6〉 센서 중심봉 직경변화에 따른 유기전압값 비교

## 4. 결 론

발전기 회전자 권선의 턴간단락 현상을 찾아낼 수 있는 on-line 센서의 국산화 개발을 위한 방안으로 자체 설계, 제작한 센서 및 자속발생기를 이용하여 수행한 실험실 시험의 결론은 다음과 같다.

[1] 센서의 코일턴수는 많이 감길수록 감도는 양호하나 센서 직경이 6Φ인 경우 230회, 8Φ의 경우에는 270회가 적당함을 알 수 있었으며, 코일 굵기는 0.12[mm]를 사용하는 것이 최적의 방법임을 알 수 있었다.

[2] 센서 중심봉 직경 크기의 변화와 유기되는 전압과는 상관성이 없었으며, 감겨있는 코일턴수의 변화가 중요 변수임을 알 수 있었다.

[3] 최종적으로 국산화 개발이 완료되어 발전기 내부에 센서 설치시에는 자속을 발생하는 회전자 표면에 최대한 가깝게 설치하는 것이 측정감도 향상에 도움이 됨을 알 수 있었다.

### [참 고 문 헌]

[1] E. Woschnagg., "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.