

## 발전기 회전자권선 단락센서의 이중화구조 실험결과 분석

이영준, 주영호  
한국전력공사 전력연구원

### Analytic Results for the Double Short Turn Sensor Structure of Rotor Winding in Generators

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

**Abstract** - Due to the severe operation environment, the accidents in the rotor winding increase lately. To prevent the rotor's damage from short turn phenomena, research staffs in Korea Electric Power Research Institute develop sensors to detect short turn efficiently.

In this paper, we present the double-structured short turn sensor which evaluates the healthiness of rotor winding.

#### 1. 서 론

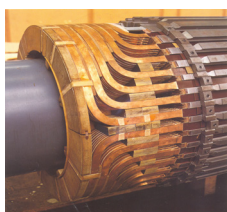
발전기 회전자는 여러개의 슬롯에 동선(銅線)이 삽입되어 있으며, 각 슬롯내에는 여러층의 동선이 상하로 절연테이프에 의해 분리되어 적층되어 있다. 회전자 권선의 층간단락은 한 슬롯내의 동선사이의 접촉으로 발생하며, 발전기의 정상적인 운전운전에 영향을 미친다. 적은수의 층간단락은 발전기가 정격부하를 내는데 크게 영향을 미치지 않으나, 많은수의 층간단락이 존재한다면 발전기가 정격부하를 발생하는데 문제가 발생하며, 발전기 출력을 제한하여 운전해야 하는 경우도 있다. 회전자 권선에 층간단락이 존재하는 상태로 운전중인 발전기에서 나타날 수 있는 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.[1]~[3]

최근에 이러한 문제점을 해소하고자 발전기 정상 운전중 회전자 권선의 건전성을 진단하는 방법에 대한 연구개발이 매우 활발히 진행되고 있다. 발전기 정상 운전중 회전자 권선의 건전성을 진단하는 방법으로 발전기 고정자 웻지에 영구적으로 설치하는 층간단락 센서와 여기서 발생하는 신호를 수집, 분석하는 진단시스템을 활용한 진단방법이 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 이중화로 설계, 제작하여 여러가지 실험실 시험을 수행하고 그 결과에 대하여 고찰한 내용을 수록하였다.

#### 2. 발전기 회전자 및 턴단락 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.



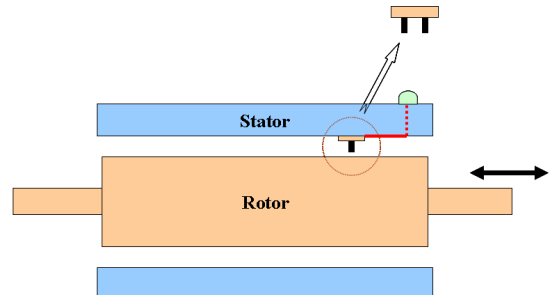
<그림 1> 발전기 회전자권선

회전자 턴단락 현상이란 이러한 동도체 사이의 턴간 절연물이 손상되거나, 운전중 원심력에 의해 한쪽으로 밀리거나 하는 문제가 발생하여, 상, 하의 동도체가 서로 접촉되는 현상을 말하며, 이러한 턴단락 발생시에는 열적불평형에 의한 진동발생이 가장 먼저 나타나고, 심한경우 발전기 안정운전에 심각한 영향을 미칠 수 있다.

#### 3. 턴단락 센서 이중화구조 제작 및 실험

##### 3.1 이중화 구조의 필요성

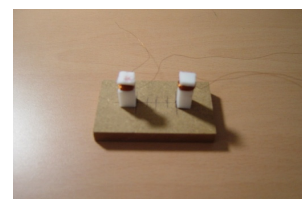
발전기 회전자는 원형으로 제작되어 필요에 따라 고정자권선 내부에서 정비를 위해 인출, 입해야 하는 경우가 발생한다. 이때 대형 고중량의 회전자 인출, 입시 고정자 웻지에 설치되어 있는 회전자권선 턴단락 센서 tip에 충격이 가해져 손상되는 경우가 극히 일부이지만 발생하는 경우가 있어, 하나의 센서 tip이 손상되어도 나머지 하나가 동일한 기능을 수행하도록 하는 것이 이중화 구조로 제작하는 가장 큰 이유이다. 그림 2는 이중화 구조 제작의 필요성을 나타내는 회전자 인출, 입 개략도를 나타낸 것이다.



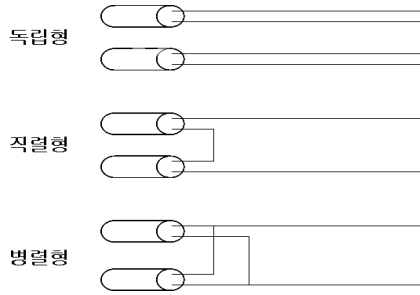
<그림 2> 회전자 인출, 입 개략도

##### 3.2 턴단락 센서 이중화 구조 제작

이러한 회전자 권선의 턴간 단락현상을 정상운전중에 찾아낼 수 있는 센서의 국산화 개발을 위한 기초단계로 모의실험을 위해 턴단락 센서를 이중화로 자체 설계, 제작하였다. 모의 실험실 시험을 위해 제작한 턴단락 센서는 테프론 튜브의 원형 중심봉에 직경 6Φ로 제작 하였으며, 자속발생기를 통한 전압 유기를 위해 중심봉에 감는 에나멜 코일은 직경 0.12mm의 동선을 사용하여 230회를 수작업으로 각각 감았다. 각각의 센서 tip간의 거리는 발전기 내에 실제로 설치하는 것을 고려하여 20mm의 간격을 두었다. 그림 3은 원형 테프론 중심봉에 코일을 감아 이중화 구조로 제작한 모의 센서이며, 이중화 센서는 코일을 감는 방법에 따라 독립형, 직렬형, 그리고 병렬형 등 총 세가지 종류로 제작하였으며, 그림 4와 같다.



<그림 3> 이중화 센서 제작품



〈그림 4〉 세가지 유형의 센서 제작품

#### 4. 실험방법 및 결과분석

##### 4.1 실험방법

자체 설계, 제작한 이중화 모의 센서, 자속발생기, 그리고 센서에 유기되는 전압측정을 위한 오실로스코프 등이 모의실험에 활용되었다. 실험 방법은 세가지 유형으로 제작된 센서를 각각 동일한 조건, 즉, 센서 tip과 자속발생기와의 거리를 5mm로 동일한 조건으로 두고, 각각의 유형에 따라 측정된 전압파형을 비교, 분석하였다. 그림 5는 실험을 위한 각종 계측기 및 자속발생기로부터 센서에 전압을 유기하는 실험을 하는 장면을 나타낸 사진이다.



〈그림 5〉 이중화구조 턴단락 센서 실험장면

##### 4.2 실험결과 분석

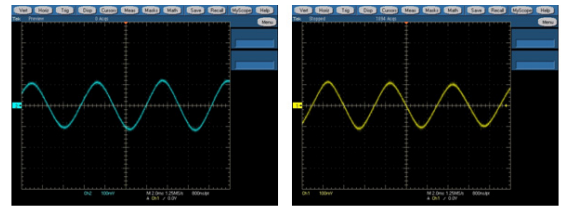
자체 제작한 이중화 턴단락 센서를 이용하여 자속발생기로부터 유기되는 전압값은 오실로스코프로 각 센서 유형별로 5회 측정하여 평균값을 취했으며, 순간적인 외부 노이즈에 의한 이상 유기전압값은 계산에서 제외하였다.

표 1은 세가지 유형으로 제작한 센서를 통해 얻어진 전압파형의 값을 나타낸 것이며, 센서를 각각 독립형, 직렬형, 그리고 병렬형으로 제작한 센서에 유기되는 전압값은 모두 100~120mV로 동일하게 나타나 어떠한 형식으로 제작하던간에 유기되는 전압값의 크기에는 별다른 영향이 없는 것으로 분석되었다.

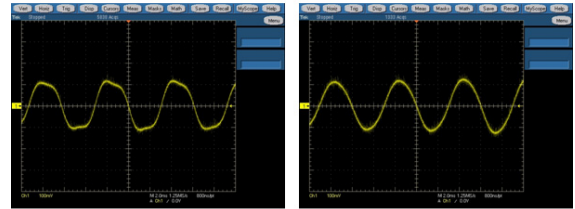
〈표 1〉 이중화 구조 턴단락 센서 실험결과

구분	유기전압 [mV]		비고
	0 [mm]	20 [mm]	
독립형	100 - 120	100 - 120	센서 신호용 인출선 이중화 필요 전압파형 부분적 왜곡현상 발생 (직렬형의 경우 왜곡현상 심함)
직렬형	100 - 120	100 - 120	
병렬형	100 - 120	100 - 120	

그림 6은 세가지 유형으로 제작한 센서를 이용하여 자속발생기에서 발생하는 자속을 전압값으로 유기한 전압파형 그래프이다. 직렬형의 경우 각각의 센서 tip에서 유기하는 전압파형이 매우 깨끗하게 유기되는 반면 직렬형의 경우 전압파형의 피크부분이 심하게 일그러져 나타남으로서 각각의 센서에 감겨진 코일들이 상호 유도작용을 발휘하여 나타낸 현상이라 판단된다. 병렬형의 경우도 전압파형의 피크부분이 심하지는 않지만 다소 왜곡되어 나타남을 알 수 있었다.



개별형



직렬형

병렬형

〈그림 6〉 센서 유기 전압파형

#### 5. 결 론

발전기 회전자 권선의 턴단락 현상을 찾아낼 수 있는 on-line 센서의 국산화 개발을 위한 방안으로 자체 설계, 제작한 이중화 구조 센서 및 자속발생기, 오실로스코프 등을 이용하여 수행한 실험실 시험의 결론은 다음과 같다.

[1] 발전기 회전자 턴단락 센서를 독립형, 직렬형 및 병렬형 등 총 세가지 유형에 따라 자속발생기로부터 발생되는 자속을 유기한 전압파형의 값은 100~120mV로 동일하였다. 따라서 어떠한 형태로 제작하던지 센서 감도에는 큰 영향이 없다는 것을 확인하였다.

[2] 턴단락 센서를 독립형으로 제작한 경우 센서에 유기되는 전압파형이 매우 깨끗한 반면, 직렬형의 경우 전압파형의 피크부분이 많이 왜곡되어 나타났고, 병렬형의 경우에도 미약하나마 파형이 왜곡되는 현상이 나타남을 알 수 있었다.

[3] 따라서 이중화 구조 센서의 가장 이상적인 형태는 독립형으로 제작하는 것이 타당하나, 독립형의 경우 직렬형 및 병렬형과 달리 센서 신호선을 이중화 해야하고 센서를 발전기 내부에 설치하고 신호선을 발전기 외부로 인출하는데 다소 복잡한 단점을 가질 수 있다.

[4] 직렬형의 경우 전압파형이 많이 왜곡되는 것이 확인되었기 때문에 향후에는 직렬형을 제외한 독립형 및 병렬형의 두가지 형태를 중심으로 상호 장, 단점을 보완할 수 있는 방법을 찾기 위해 실험실 시험을 추가적으로 시행하여 최적의 이중화 구조 회전자 턴단락 센서를 개발할 수 있도록 할 계획이다.

#### 〈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.