

## 대용량 발전기 고정자 바의 유전정접 특성

김희동, 공태식, 주영호  
한전 전력연구원

### Characteristics of Dissipation Factor in Large Generator Stator Bars

Hee-Dong Kim, Tae-Sik Kong and Young-Ho Ju  
KEPCO Korea Electric Power Research Institute

**Abstract :** Accelerated aging tests were conducted under laboratory conditions on two generator stator bars. Electrical stress is applied in No. 1 model stator bar. Electrical and thermal stresses are applied in No. 2 model stator bar. As aging times increased from 0 to 11460h, dissipation factor( $\tan\delta$ ) test was performed on No. 1 and No. 2 model stator bars. The  $\Delta \tan\delta$  of No. 1 and No. 2 stator bars increased with increased in aging time.

**Key Words :** accelerated aging, generator, stator bar, aging time, dissipation factor

#### 1. 서론

발전기 고정자 권선은 장기간 운전하는 동안에 열적, 전기적, 기계적 및 환경적 영향으로 인해 절연재료 내부에 보이드(void)가 발생하여 열화가 진행하다가 최종적으로 절연파괴에 도달한다[1, 2]. 운전중인 발전기의 갑작스런 절연파괴 사고는 전력공급의 신뢰성을 저하시키고 단시간에 복구가 곤란하기 때문에 상대적으로 경제적인 손실이 매우 크게 된다. 따라서 미국, 캐나다 및 일본 등에서 발전기 고정자 권선의 절연열화 특성을 분석하기 위해 열적, 전기적 및 기계적 가속열화를 수행하여 건전성 진단과 수명평가에 활용하고 있다[3~5].

본 논문에서는 발전기 고정자 바(22kV, 500MW)를 실험실에서 열적 및 전기적으로 가속열화 시켜 열화시간에 따른 유전정접 특성을 분석하였다. 그리고 장기간 운전된 발전기 고정자 권선에서 유전정접을 측정하여 비교 검토하였다.

#### 2. 고정자 바 제작 및 가속열화 시험조건

발전기 고정자 권선에서 절연열화를 평가하기 위해 실험실적 가속열화 시험에 사용할 목적으로 대용량 발전기 고정자 바(22kV, 500MW)를 제작하였다. 절연등급이 B종이며, 수냉각 방식을 사용하고 있다. 발전기 고정자 바의 가속열화를 위해 전기적 및 열적 열화 시험장치로 분류할 수 있다. No. 1과 No. 2 고정자 바의 전기적 열화는 기본적으로 발전기 운전전압인 상전압(12.7kV)의 2.17배인 27.5kV까지 과전압을 인가하였다. No. 1의 열적 열화 시험장치는 고정자 바에 흘러주는 냉각수 온도를 65℃로 가열하여 순환시켰다. No. 2는 고정자 바의 냉각수 온도는 65℃이며, 4곳에 히터를 설치하여 150℃를 유지하도록 시험장치를 제작하였다.

#### 3. 실험방법

발전기 고정자 바에서 유전정접 시험을 위해 웨링브리지(schering bridge, Tettex Instruments)를 사용하였다. 웨링

브리지는 전원장치(HV supply, Type 5283)와 브리지(bridge, Type 2818)로 구성되었다. 발전기 고정자 바에 웨링브리지를 연결하여 전원장치에서 교류전압을 인가하면서 유전정접을 측정하였다. 장기간 운전된 발전기에서도 고정자 바와 동일한 방법으로 유전정접을 측정하였다.

#### 4. 실험결과 및 검토

발전기 고정자 바 No. 1은 가속열화 시험 전에 냉각수 온도를 65℃로 가열하면서 장시간 동안 흡습시험에 사용되었다. 그림 1과 그림 2는 발전기 고정자 바 No. 1과 No. 2에서 가속열화 시간이 증가함에 따라  $\tan\delta$ -전압 특성을 나타내었다.

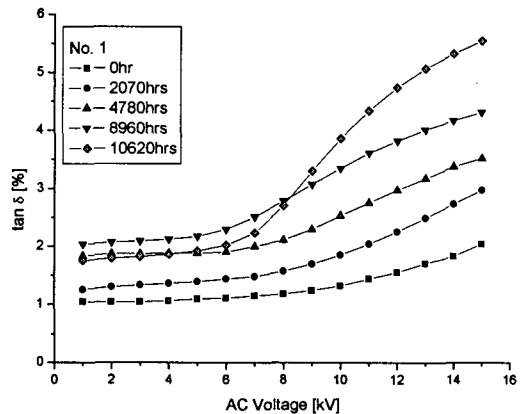


그림 1. 고정자 바 No. 1의 tanδ-전압 특성.

그림 1은 고정자 바 No. 1에서 가속열화 시간이 증가함에 따라 유전정접의 변화는 크게 나타났으며, 초기 데이터에 비해 4780h 동안 가속열화가 진행된 후에 약 2배 정도로 증가하였다. 유전정접의 증가점도 0h에서는 8kV이 상에서 나타났으나 4780h에서는 6kV, 10620h에서는 5kV 정도로 낮게 측정되었다.

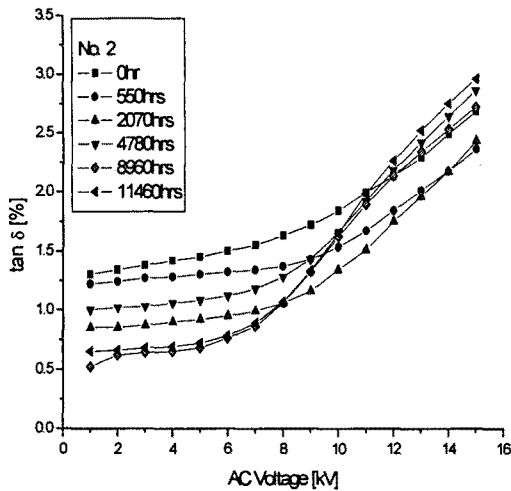


그림 2. 고정자 바 No. 1의 tanδ-전압 특성.

그림 2는 고정자 바 No. 2에서 가속열화 시간이 증가함에 따라 유전정점의 변화를 나타내었다. 유전정점의 증가정도 0h와 550h에서는 8kV, 2070h와 4780h에서는 6kV, 8960h와 11460h에서는 5kV 정도로 낮게 측정되었다. 따라서 가속열화 시간이 증가함에 따라 고정자 바의 절연열화가 진행되고 있음을 확인할 수 있었다. 유전정점이 0h에 비해 550h에서 감소하였으며, 가속열화 시간이 증가함에 따라 인가전압 9kV 이하에서는 감소하고 있다. 유전정점이 급격하게 변화하는 전압도 점차적으로 낮아지고 있다. 이러한 이유는 전압과 열적 스트레스에 의해 절연재료가 경화됨에 따라 미세 보이드 감소와 관련이 있다. 또한, 고정자 바 외부를 150℃로 가열하고 동도체 내부로 65℃의 냉각수가 흘러 절연재료 내부에서 열적 팽형성이 유지됨에 따라 주절연재료의 에폭시 수지 매트릭스(resin matrix)에서 가교(cross-linking) 반응이 발생하여 보이드 수가 감소함에 따라 유전정점이 감소하고 있다[6, 7].

표 1은 그림 1과 그림 2를 근거로 가속열화 시간이 증가함에 따라  $\Delta \tan \delta$ 를 분석하였다. 발전기 고정자 바 내부에서 절연열화가 진행되어  $\Delta \tan \delta$ 가 증가하고 있다.

표 1. 발전기 고정자 바 No. 1과 No. 2의  $\Delta \tan \delta$  비교.

가속열화 시간[h]	$\Delta \tan \delta$ [%]		가속열화 시간[h]
	No. 1	No. 2	
0	1.02	1.34	0
2070	1.67	1.12	550
4780	1.65	1.58	2070
8960	2.25	1.84	4780
10620	3.76	2.10	8960
		2.30	11460

그림 3은 대용량 발전기(500MW, 22kV) 고정자 권선에 상전압인 12.7kV까지 인가하면서 tanδ-전압 특성을 나타내었다. 1996년 10월에 신규 발전기를 설치한 후에 최초로 측정하였으며, 1999년 2월은 동일한 발전기에서

29개월 동안 운전후에 측정하였다. 그리고 2005년 10월은 9년 정도 운전후에 다시 측정하였다. 그림 2에서 나타난 바와 같이 초기에 측정된 유전정점에 비해 29개월 정도 운전후에 더 낮게 측정되었고, 9년 후에는 최저점을 유지하다가 절연열화가 진행되면 다시 유전정점의 증가를 예상할 수 있다. 이러한 현상은 발전기 고정자 권선의 주절연재료 두께가 5.5mm이며, 마이카 테이프를 사용하는 주절연물 내부에서 에폭시가 경화되지 않아 미세한 보이드를 많이 갖고 있기 때문이다[6]. 따라서 신규 발전기가 29개월 동안 운전하게 되면 동도체에서 발생하는 줄열에 의해 주절연재료 내부의 에폭시가 경화됨에 따라 미세한 보이드가 제거되어 유전정점이 감소하게 된다.

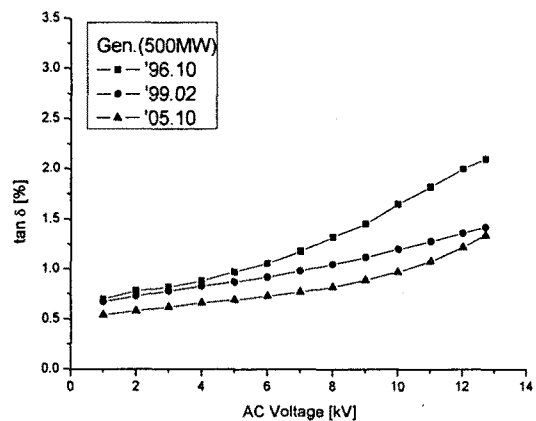


그림 3. 500MW 발전기의 tanδ-전압 특성.

## 5. 결론

발전기 고정자 바 No. 1과 No. 2에서 가속열화 시간이 증가함에 따라  $\Delta \tan \delta$ 가 서서히 증가하고 있으며, 절연열화 진행으로 인해 유전정점의 증가정도 낮은 전압으로 이동하였다. 고정자 바와 실제 운전중인 발전기 고정자 권선에서 가속열화 시간과 운전연수가 증가함에 따라 유전정점이 낮게 나타나는 것은 동도체에서 발생하는 줄열에 의해 주절연재료 내부의 에폭시가 경화됨에 따라 미세한 보이드가 감소하고 있음을 확인할 수 있었다.

## 참고 문헌

- [1] 김희동, 전기전자재료학회논문지 Vol. 15, No. 2, p. 119, 2002.
- [2] 김희동, 전기학회논문지 Vol. 53C, No. 6, p. 324, 2004.
- [3] R. Morin, R. Bartnikas and P. Menard, IEEE Trans. on EC Vol. 15, No. 2, p. 149, 2000.
- [4] Y. J. Kim and J. K. Nelson, IEEE Trans. on EI Vol. 27, No. 5, p. 1026, 1992.
- [5] K. Kimura and Y. Kaneda, IEEE Trans. on DEI Vol. 2, No. 3, p. 426, 1995.
- [6] M. Farahani, H. Borsi, E. Gockenbach and M. Kaufhold, IEEE CEIDP, p. 271, 2004.
- [7] H. Zhu, C. Morton and S. Cherukupalli, IEEE ISEI, p. 384, 2006.