

발전기 고정자 권선 절연재료의 초기특성

이영준, 김희동
전력연구원

Initial Characteristics of Generator Stator Insulations

Young-Jun Lee, Hee-Dong Kim
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - This paper describes the initial characteristics of turbine generators at the Taeon thermal power plant #4 and Wolsong nuclear power plant #2. The turbine generators had been in service for two years. The insulation diagnostic tests included measurements of insulation resistance, polarization index, ac current, dissipation factor($\tan \delta$) and partial discharges(PD). The values of ac current and $\tan \delta$ were measured by Schering bridge. PD measurements were conducted using digital PD detector. The variation of $\tan \delta$ and PD was confirmed in two generator stator insulations.

1. 서 론

대형 터빈 발전기는 발전소의 중요 전기설비로서 발전기의 안정운전을 위해서는 철저한 예방정비를 필요로 한다. 특히 발전기 고정자 권선의 전기적 절연진단을 통해 절연열화의 상태를 파악하고, 그 결과추이를 주기적으로 관리하여 발전기의 안정운전은 물론 계획적이고 효율적인 정비계획 수립에 단전을 기하여야 한다. 이미 선진 각국에서도 이러한 절연진단을 발전기의 중요 점검항목으로 선정하여 주기적인 절연진단을 통해 추이를 관리해오고 있는 실정이다.⁽¹⁾⁽²⁾ 이러한 발전기 고정자 권선에 대한 정기중 절연진단 방법으로는 절연저항, 성극지수, 유전정접($\tan \delta$), 교류전류, 부분방전 시험 등을 종합적으로 시행하여 권선의 열화정도를 신뢰성 있게 평가하고 있다.⁽³⁾

통상 발전기 고정자 권선의 절연재료는 마이카/에폭시 복합재료가 많이 사용되고 있으며, 처음 발전기가 제작되었을 경우 마이카와 에폭시가 완전하게 경화되지 않기 때문에 결합력이 떨어져 내부에 많은 미세 보이드 등이 존재하여 $\tan \delta$ 나 부분방전량이 높게 나타나는 경향이 있다. 이것이 어느정도 운전시간의 경과에 따라 안정기에 접어들면 고정자 권선에서 발생하는 주열열에 의해 에폭시가 경화됨에 따라 절연재 내부의 미세 보이드 등이 감소하여 $\tan \delta$ 나 부분방전량이 오히려 감소한다는 연구결과가 발표되었다.⁽⁴⁾⁽⁵⁾

본 논문에서는 신규로 건설되어 운전중인 태안화력 4호기 및 월성원자력 2호기 발전기에 대한 절연진단 시험을 통해 얻어진 결과를 바탕으로 초기치(최초 절연진단)와 금번에 시행한 결과치를 상호 비교하여 발전기 고정자 권선의 초기 절연특성을 고찰 하였다.

2. 절연진단시험

2.1 발전기 사양

절연진단을 위해 사용된 발전기는 태안화력 4호기 및 월성원자력 2호기 발전기로서 상세 사양은 표 1과 같다.

표 1. 시험대상 발전기 사양

구 분	태안 4호기	월성 2호기
정격용량	560 MVA	800 MVA
정격전압	22 kV	26 kV
정격전류	14,697 A	17,765 A
역률	0.9	0.85
극수	2	4
절연재료/계급	마이카/에폭시, F	마이카/에폭시, F
상업운전	1996	1996
제작사	GE (美)	GE (美)

2.2 진단시험 항목

발전기 고정자 권선의 모선 및 증성점을 분리한 후 고정자 권선을 각 상별로 정밀절연진단을 수행 하였다. 시험항목은 절연저항(Megger), 성극지수(P.I), 유전정접($\tan \delta$), 교류전류(AC Current), 부분방전(Partial Discharge)시험 등 비파괴 시험을 시행 하였다.

2.3 시험장비

금번 발전기 절연진단 시험에 사용한 시험장비는 표 2와 같다.

표 2. 시험장비 현황

장비명	제작사	용도
Insulation Tester	Yokogawa (일본)	절연저항 시험
Automatic Insulation Tester	AVO International (영국)	성극지수 시험
Schering Bridge	Tettex(스위스)	교류전류, 유전정접, 부분방전 시험
PD Detector	Haefely Trench (스위스)	부분방전 시험

3. 시험결과 및 분석

3.1 절연저항 시험

고정자 권선을 각 상별로 분리하여 1,000[V] Megger로 발전기 단자와 대지간에 전압을 인가하여 1분 후의 절연저항을 측정된 결과 두 발전기 모두 양호 하였다.

표 3. 절연저항 시험결과

구 분	절연저항값 (M Ω)			
	태안 4호기		월성 2호기	
	'99. 2	'96.10	'99. 5	'96.12
A 상	2000이상	2000이상	2000이상	2000이상
B 상	2000이상	2000이상	27	2000이상
C 상	2000이상	2000이상	2000이상	2000이상

3.2 성극지수 시험

각 상별로 발전기 단자와 대지간에 5,000[V]를 인가하여 1분과 10분 후의 저항값을 측정한 결과 기준치인 1.5이상의 결과가 나타나 절연물의 오손이나 흡습이 없는 양호한 상태로 판정 되었다.

표 4. 성극지수 시험결과

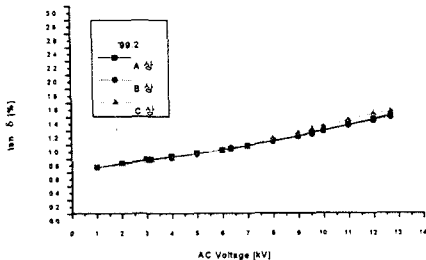
구 분	Polarization Index(P.I)			
	태안 4호기		월성 2호기	
	'99. 2	'96.10	'99. 5	'96.12
A 상	5.56	5.12	7.44	6.45
B 상	4.58	4.53	1.08	6.53
C 상	4.54	3.33	8.64	5.82

3.3 유전정접 시험

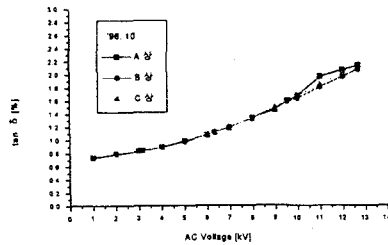
각 상별로 발전기 단자와 대지간에 교류전압을 1~12.7(kV)까지 인가하면서 유전정접을 측정한 결과 기준치인 2.5[%]이하로서 상태가 양호하게 나타났으며, $\Delta \tan \delta$ 값이 태안 4호기의 경우 초기치(최초 절연진단)와 비교하여 많이 감소하였음을 알수 있었고, 월성 2호기의 경우 초기치와 금번 시험의 결과가 거의 유사하였으나 초기치에 비하여 낮은전압에서의 $\tan \delta$ 값이 많이 안정되었음을 알 수 있었다. 그림 1(a),(b)는 태안 4호기, 그림 2(a),(b)는 월성 2호기의 $\tan \delta$ -전압 특성곡선이다.

표 5. 유전정접 시험결과

구 분	$\Delta \tan \delta$ [%]			
	태안 4호기		월성 2호기	
	'99. 2	'96.10	'99. 5	'96.12
A 상	0.63	1.29	1.02	0.87
B 상	0.61	1.23	0.94	0.96
C 상	0.70	1.31	0.98	0.75

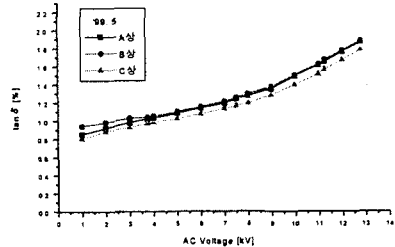


(a) '99.2

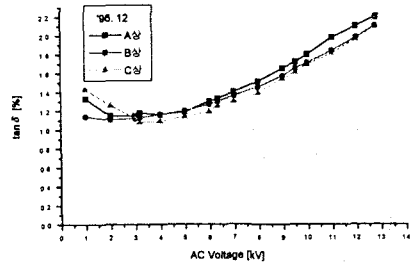


(b) '96.10

그림 1. 태안 4호기의 $\tan \delta$ -전압 특성



(a) '99.5



(b) '96.12

그림 2. 월성 2호기의 $\tan \delta$ -전압 특성

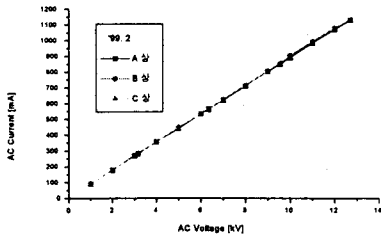
3.4 교류전류 시험

각 상별로 발전기 단자와 대지간에 교류전압을 1~12.7(kV)까지 인가하면서 교류전류 변화상태를 측정하여 ΔI 를 계산한 결과 기준치인 5.0[%] 이하로서 양호하였으며, 초기치와 비교하여 거의 변화가 없었다.

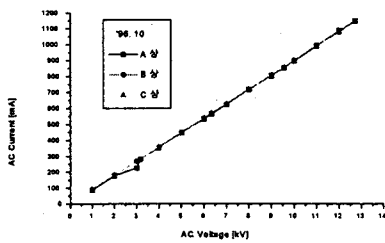
표 6. 교류전류 시험결과

구 분	ΔI [%]			
	태안 4호기		월성 2호기	
	'99. 2	'96.10	'99. 5	'96.12
A 상	0.25	0.26	0.28	0.30
B 상	0.24	0.25	0.18	0.20
C 상	0.25	0.25	0.23	0.25

그림 3(a),(b)는 태안 4호기의 전류-전압 특성곡선이며, 그림 4(a),(b)는 월성 2호기의 전류-전압 특성곡선이다. 그림에서 볼 수 있듯이 두 발전기 모두 전류-전압 특성곡선이 거의 직선으로 나타나 상태가 양호함을 쉽게 알 수 있다.

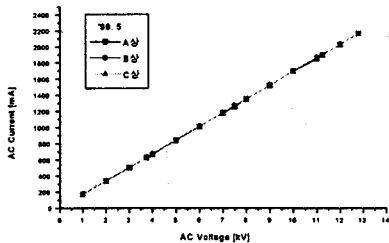


(a) '99.2

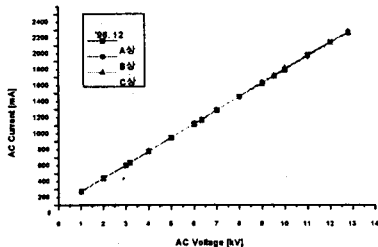


(b) '96.10

그림 3. 태안 4호기의 전류-전압 특성



(a) '99.5



(b) '96.12

그림 4. 월성 2호기의 전류-전압 특성

3.5 부분방전 시험

각 상별로 발전기 단자와 대지간에 교류전압을 상 전압까지 인가하면서 절연물 내부에서 발생하는 최대 부분방전값을 측정한 결과 태안 4호기의 경우 30,000[pC]이상의 값이 측정되어 불량 하였으며, 월성 2호기는 A,C상은 요주의, B상은 양호한 결과를 보였다. 특이한 점은 초기 진단시보다는 부분방전량이 현저히 감소 하였음을 알 수 있었으며, 그림 5는 부분방전값의 변화추이(trend)를 나타내었다.

표 7. 부분방전 시험결과

구 분	최대 부분방전량 Qm [pC]			
	태안 4호기		월성 2호기	
	'99. 2	'96.10	'99. 5	'96.12
A 상	41,000	85,000	20,400	100,000
B 상	58,600	80,000	8,200	100,000
C 상	47,700	85,000	11,000	100,000

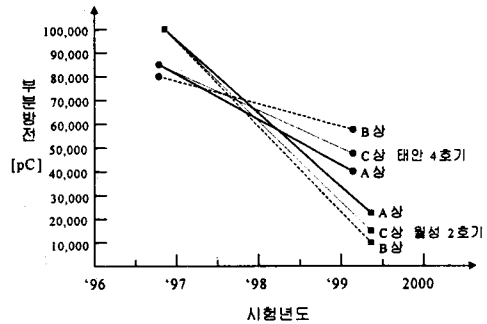


그림 5. 부분방전값의 변화추이

4. 결 론

태안화력 4호기 및 월성원자력 2호기 발전기에 대한 전기적 정밀절연진단 시험을 시행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

[1] 절연진단시험 5개 항목중 부분방전이 불량으로 나타났으나 다른 시험결과가 모두 양호하게 판정됨에 따라 종합적으로 발전기 고정자 권선의 절연상태는 양호한 것으로 분석되었다.

[2] 두 발전기 모두 최초 진단시에 비하여 급변 진단 시 $\tan \delta$ 및 부분방전값이 현저히 낮아졌으며, 이는 운전시간의 경과와 더불어 안정기에 접어들면서 발전기 고정자 권선 절연재료로 사용되는 마이카/에폭시 복합재료가 운전중에 발생한 주유폭에 의해 에폭시가 경화됨에 따라 절연재 내부에 존재하던 미세 보이드 등이 줄어들면서 나타난 현상이라 판단된다.

(참고문헌)

[1] A. Wilson, R.J. Jackson, "Discharge Techniques for Stator Windings", IEE Proceedings, Vol.132, Part B, No 5, pp. 234~244, 1985.

[2] G. C. Stone "Practical Techniques for Measuring PD in Operating Equipment". IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 7, No. 4, pp. 9~19,1991.

[3] 전력연구원 발전연구실, "발전기 권선 및 철심진단 기법", pp79-85, 1996.

[4] Y. J. Kim and J. K. Nelson "Assessment of Deterioration in Epoxy/Mica Machine Insulation". IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. 27, No. 5, pp. 1026~1039, 1992.

[5] 박종정, 김희동, 김희곤, 강도열, 한상옥, "회전기 고정자 권선에서 절연재료의 특성", 한국전자전기재료학회 춘계학술대회 논문집, pp. 326~329, 1997.