

동기발전기 수명연장을 위한 시험 및 평가방법의 비교 연구

황 충 구* · 오 성 보**

The Comparison of Evaluation Method and Measure Test in Synchronous Generator

Choong-Goo Hwang* and Seong-Bo Oh**

ABSTRACT

The Generator, which have used in twenty years or hundred thousand hours, falls its performance, faith and life cycle owing to complex factor that mechanical, electrical, heat, surrounding factors and start-stop stress. Especially, Stator Slot Discharge, Endwinding Discharge, DSS(Daily Start Stop) and WSS(Weekly Start Stop) have a harmful effect on the life of generator. This study and test make a experiment on EL-CID, Wedge compressed state check, PI test, AC Current test, Tan δ test, and PD test in BUKCHEJU Thermal Power Plant No.1 Generator, which have used in seventeen years. We can use the above methods to improve life cycle and efficient management of Generator.

Key Words : Synchronous generator, AC-DC leakage current test, partial discharge, generator insulation

1. 서 론

발전기는 20년내지 10만 시간이 경과되면서 기계적, 전기적, 열적, 환경적 요인과 기동, 정지 스트레스 등 복합적인 요소에 의해 성능과 신뢰성이 저하되고 수명 소비율이 증가된다. 특히, 고정자의 슬롯방

전과 권선 단말방전, 회전자 접지 및 일일기동정지(Daily Start and Stop : DSS), 주말기동정지(Weekly Start and Stop : WSS)는 발전기 수명에 직접적인 영향을 미치고 있다. 일본의 경우 수력동기발전기 사고중 고정자 권선 50%, 여자기 15%, 회전자 7% 등으로 조사되고 있으며, 고정자의 사고 원인은 절연열화가 44.9%로 높게 나타나고 있다. 네덜란드에서는 1982년부터 1997년까지 15년동안 687대의 발전기에서 사고가 발생하였으며 이중 35%가 발전기 운전중 고정자 권선 열화로 인한 사고로 판명되었다. 미국 EPRI에서도 조사한 결과 37%가 고정자

* 제주대학교 산업대학원
Graduate School of Industry, Cheju Nat'l Univ.
** 제주대학교 전기공학과, 산업기술연구소
Dept. of Electrical Eng., Res. Insti. Ind. Tech.,
Cheju Nat'l Univ.

권선에서 절연 파괴가 발생하여 발전기 수명에 영향을 끼친 것으로 보고되었다. 발전기 고장은 돌발적으로 발생하며 위험이 크고 단시간내에 복구가 곤란할 뿐만 아니라 상대적으로 복구비용도 많이 든다. 선진국에서도 발전기의 고장예방 및 수명진단을 통하여 신뢰성을 향상시키고, 수명을 연장시키기 위한 관심이 대단히 높다¹⁾.

본 연구에서는 북제주 화력 1호기 발전기의 코어 건전성 측정을 위한 EL-CID시험, 코어 내부 Hole 내시경 카메라 촬영점검, Wedge조임 상태를 점검하기 위한 다음과 떨림 감지시험, 직류 전류에 의한 PI 시험, 교류누설전류(ΔI%) 시험, 유전역률 시험(tan δ), 부분 고압방전 시험 및 발전기 단부권선 진동성 검사등 발전기 수명 평가와 신뢰도 향상을 위한 측정 방법을 통하여 발전기 수명연장을 위한 시험 및 평가 방법을 비교하므로써 보다 효율적인 발전기 수명관리를 제안하고자 한다.

II. 진단 시험

북제주화력 1호기 발전기에 적용한 진단방법은 아래와 같으며 이 방법들은 고정자 권선 절연, 철심, Wedge, 권선단말 및 회전자 권선에 적용하여 시험하였다¹⁻³⁾.

2.1. 고정자 코어 건전성 시험(EL-CID)

EL-CID(Electromagnetic Core Imperfection Detector)시험은 코어내 원주 자속을 발생시키기 위해 여자권선을 이용하여 정격자속의 약 4%를 발생시켜 이 자속에 의해 발생하는 코어 표면 양단의 자위차를 탐지코일을 이용하여 철심 손상위치를 찾아내는 방법으로써 Fig. 1과 같다. EL-CID 시험을 위한 발전기 여자 전압 계산으로는 ADWEL방식을 적용하였으며 식(1)과 같다.

$$V_T = \frac{V_{PP}}{2\sqrt{3} \times K \times t_p} \times 0.04 \quad (1)$$

$$= \frac{6600}{2\sqrt{3} \times 0.92 \times 11} \times 0.04 = 7.5[V]$$

여기서

V_T : 4%시험 여자전압

V_{PP} : 정격 선간 전압

t_p : 한 상당 직렬 권수

K : 분포권, 단절권 계수

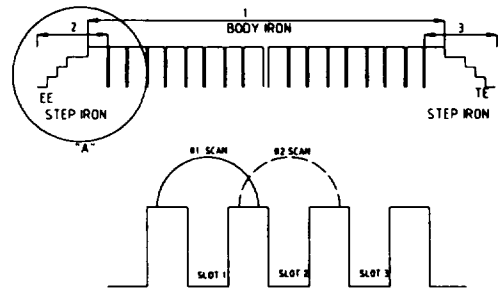


Fig. 1 The EL-CID test in stator core

2.2. 고정자 Wedge 조임성 검사

고정자 Wedge는 숙련된 전문가의 타력강도와 청각에 의한 주관적인 판단이 되어 왔으나, 본 시험에서는 보다 진보된 방법으로 로봇트에 의한 일정크기의 힘으로 타력을 가하고 이의 압력반응을 기계적 장치에 의해 객관적으로 실시하였으며, 동일 Wedge에 3회씩 시험을 실시하였다.

2.3. 직류 누설전류 시험 (P.I Test)

직류전류시험은 절연물에 직류전압을 인가하여 누설전류-시간의 특성으로부터 절연물의 흡습, 오손 및 결함 상태를 판정하는 시험이다. 절연물의 표면이 오손되거나 흡습되면 누설전류가 증가하고 전류-시간의 특성곡선으로부터 감쇠율이 낮아지게 된다. 이 감쇠율을 성극지수(Polarization Index : P.I)로 나타낼수 있으며 식(2)와 같다.

$$P.I = \frac{I_1}{I_{10}} \quad (2)$$

여기서

I_1 : 전류인가 1분후 누설전류

I_{10} : 전류인가 10분후 누설전류

고정자의 경우 DC1000V, 회전자의 경우 DC 500V
을 인가하여 시험하였다

2.4. 부분방전시험(Partial Discharge : P.D)

고정자의 절연열화에 따라 절연층에 미소공극, 균열 그리고 박리현상이 생기면서 부분방전 펄스 전류가 발생한다. 이 부분방전을 검출하여 1000pC에 해당되는 방전개시전압을 측정하고 정격 상전압의 1.25배를 가하여 방전되는 전하량을 측정하여 절연열화 상태를 판정하는 시험이다.

2.5. 교류누설전류시험

절연물에 교류전압을 증가시키면서 누설전류의 증가량과 그 비율을 측정하여 절연물의 열화, 흡습 및 부분방전 발생상황 등을 진단한다. R.S상은 국부적인 열화가 상당히 진전되어 있어 정격 시험전압 까지 인가하지 못하고 상전압에 해당되는 3.8kV까지 인가하여 시험하였다.

2.6. 유전역률 시험 (Tan δ Test)

유전체 성분을 포함한 R,S상 절연물에 3.8kV의 전압과 T상에는 6.6kV의 전압을 인가하고 이에 따른 누설전류, 유전분극 및 유전체손을 측정하였으며 회로도는 Fig. 2와 같다.

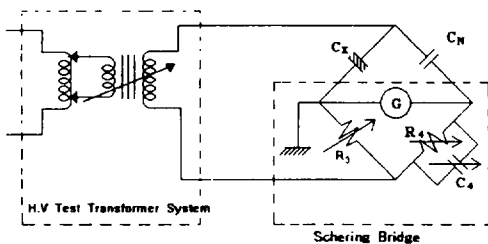


Fig. 2 Tan δ test circuit

2.7. End Baskets 진동성 검사

고정자 End Baskets에 대하여 Impact test를 실시하여 Baskets의 공진시험 및 모델을 분석하는 시험으로서 6시방향, 12시방향, 3시방향, 그리고 9시방향으로 각각 Impact 반응을 측정하였다.

III. 시험결과 및 고찰

고정자 철심 건정성 시험을 위해 모든철심을 EE

Table 1 The chart of strike sound measurement

웨이 슬롯	1		2		3		4		5	
	EE	C TE	EE	C TE	EE	C TE	EE	C TE	EE	C TE
1~2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12~19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
32										
33										
34										
35										
36										
37										
38										
39										
40										
41										
42										
43										
44										
45										
46										
47										
48~49										
50										
51										
52										
53~64										
65										
66										

■ : loose □ : slightly tight □ : very tight

측에서 TE방향으로 66회 스캔하여 철심의 단락상태 이상전류를 측정하였으나 모두 100mA 설정치 이하로 양호하였으며 Fig. 3과 같다. 고정자 Wedge 조임성 검사에서는 전체 Wedge 330개를 매우 단단 284개 (86%) 약간 헐거움 43개 (13%) 헐거움 3개 (1%) 매우 헐거움 0개 (0%)로 Table 1 에서와 같이 나타났으며 전반적인 상태는 양호하다. 직류 누설전류 시험결과는 Fig. 4 에서 보는 바와 같이 고정자의 P.I는 R상 2.78, S상 5.63, T상 4.28으로 양호 상태 판정기준인 1.5이상이 되어 문제가 없으나 회전자 P.I는 1.06으로 불량으로 판정되므로 운전

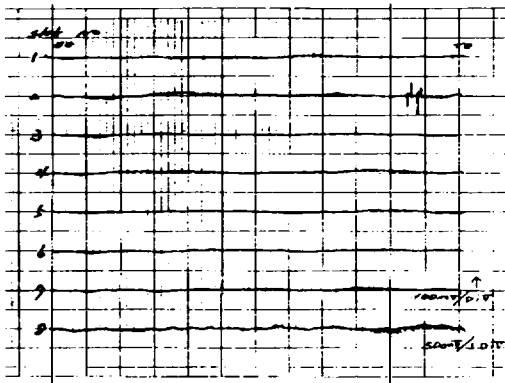
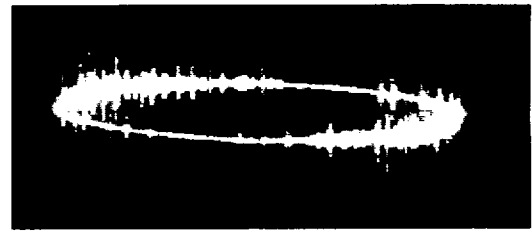
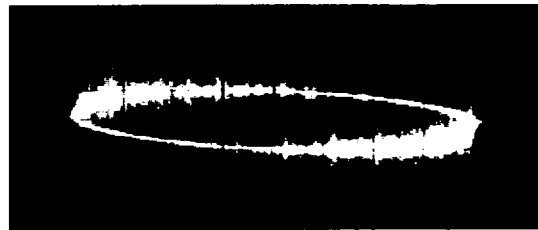


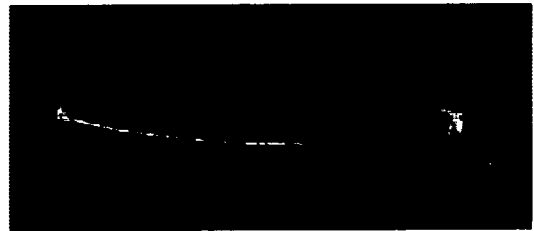
Fig. 3 Stator core EL-CID test



(a) R - phase

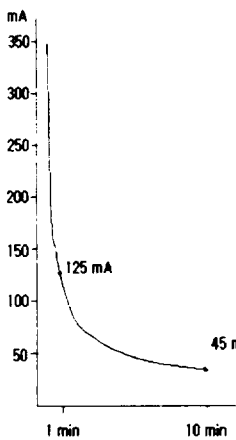


(b) S - phase

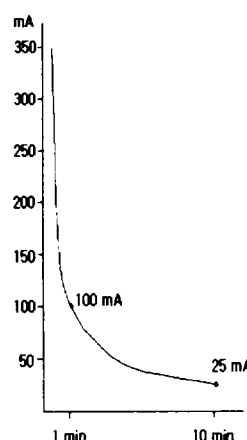


(c) T - phase

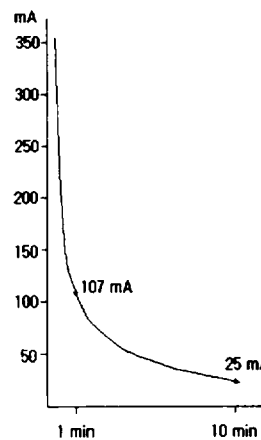
Fig. 5 The test for partial discharge



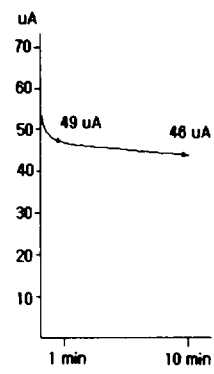
(a) R-phase



(b) S-phase

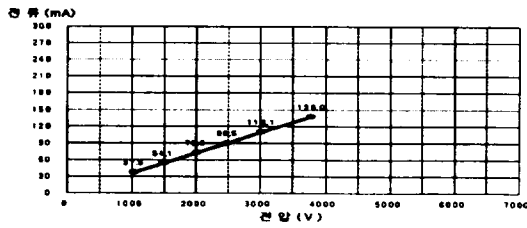


(c) T-phase

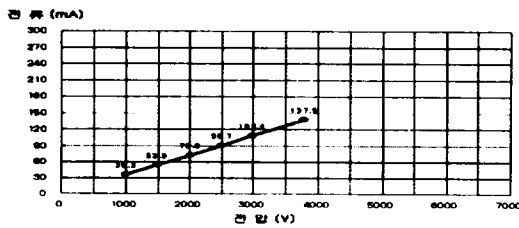


(d) Rotor

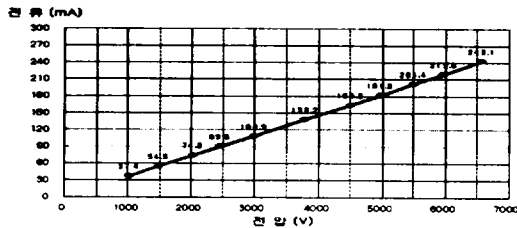
Fig. 4 The test for DC leakage current



(a) R-phase



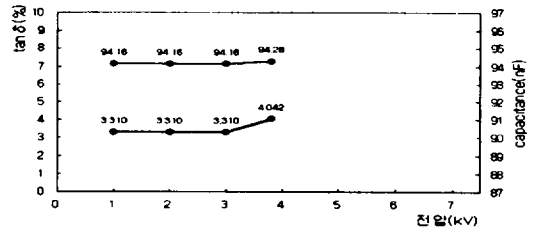
(b) S-phase



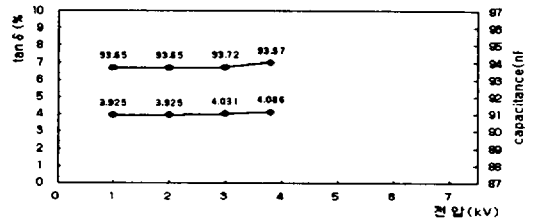
(c) T-phase

Fig. 6 The test for AC leakage current

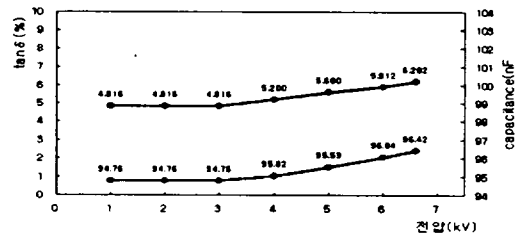
관리 및 정지시 보관방법에 특별한 주의가 필요하다. 부분방전시험에서는 1000pC의 부분방전 개시전압을 측정된 결과 R, S, T상 각각 2.1kv, 1.6kv, 2.7kv로 나타났으며 R, S상은 상전압인 3.8kv를 인가하여 시험한 결과 70,000pC의 방전전하량으로 나타나 불량 기준인 30,000pC을 초과하게 되어 더 이상 시험전압을 증가하지 못하고 중단하였으나 T상은 4.5kv 전압까지 시험한 결과 12,000pC으로 요주의 상태로 판정하였고 결과는 Fig. 5와 같다. 교류누설전류시험 결과는 R, S상은 부분방전 시험에서 알 수 있듯이 국부적이 열화가 상당히 진전되어 있어 시험전압을 정격까지 인가하지 못하고, 상전압에 해당하는 3.8kv



(a) R-phase



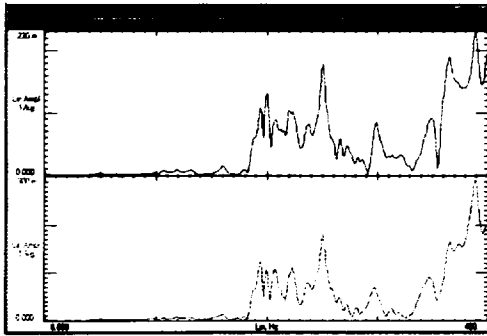
(b) S-phase



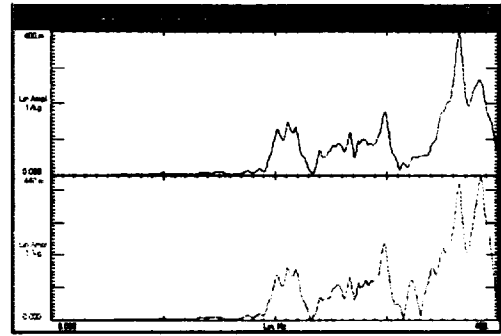
(c) T-phase

Fig. 7 The test of dielectric loss

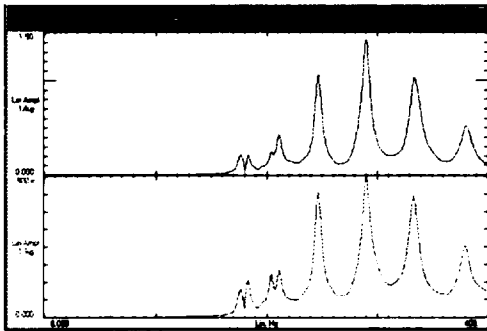
까지 인가하여 시험하였으나 상태판정이 불가능하였지만 T상은 6.6kv까지 인가하여 시험한 결과 양호하였고 그 결과는 Fig. 6과 같다. 유전 역률시험 결과 R, S상 역시 시험전압을 3.8kv까지 인가하지 못하여 상태판정이 불가능 하였으나, T상은 6.6kv까지 인가하여 시험한 결과 1.386%로 Fig. 7 과 같이 양호한 결과를 얻었다. End Baskets 진동성검사는 Fig. 8 에서와 보는 바와 같이 Exciter측 3-9시 방향(a), 6-12시 방향(b), Turbine측 3-9시방향(c), 6-12시방향(d)로 나타나 임팩트 주파수(상)와 응답 주파수(하) 두개의 주파수 응답 그래프가 거의 같다는 것을 알 수 있으며, Exciter측이나 Turbine측 모두 견고히 고정되었으며 진동성 상태가 양호한 것으로 판정된다.



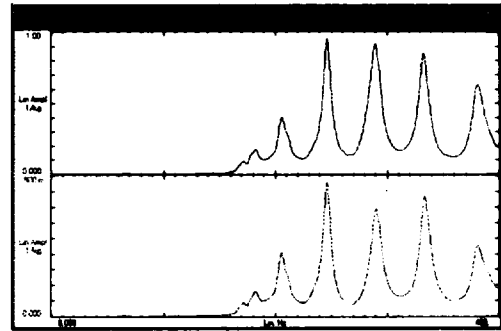
(a) 3-9 Direction Exciter End Side Test



(b) 6-12 Direction Exciter End Side Test



(c) 3-9 Direction Turbine End Side Test



(d) 6-12 Direction Turbine End Side Test

Fig. 8 End Baskets Tests

IV. 결 론

복계주화력 1호기 발전기 수명연장을 위해 고정자철심 건전성 시험, 고정자Wedge 조임성 검사, 직류전류 시험, 부분방전 시험, 교류전류 시험, 유전역률 시험 및 End Baskets 진동성검사 등 7가지 시험방법을 각각 실시하여 비교한 결과, 회전자의 직류시험과 고정자의 부분방전 시험으로 발전기의 이상점을 찾는 데 유효하게 사용되었다. 회전자의 경우 정지시 흡습예방을 위한 효율적인 관리방법이 요구되며, 고정자의 경우 R, S상에서 부분방전이 심하게 나타나 절연상태가 열화된 것으로 판단된다. 방전상태가 계속 진행될 경우 발전기 접지사고등 대형사고가 발생할 가능성이 있으므로 보다 효과적인 관리 및 사고예방을 위해 지속적인 부분방전 트렌드 관리가 필요

하며 수명연장을 위해서는 빠른시간내에 전반적인 절연보강이 필요하다 하겠다.

참고문헌

- 1) 발전교육원, 1998, 전기설비 신기술세미나, 한국전력공사.
- 2) 한국전력 정비기획실, 1997, 기술지원보고서, 한국전력공사.
- 3) 전력연구원, 1997, 발전기 수명평가 진단시스템 개발, 한국전력공사.
- 4) 황돈하, 김용주, 김진봉, 1996, 수력발전기 고정자 권선의 절연수명 평가 기준 설정에 관한 연구, 대한전기학회 하계학술대회 논문집(c).
- 5) 황돈하, 김용주, 김진봉, 1997, 발전기 고정자 권

- 선의 새로운 절연열화 판정기준 설정에 관한 연구, 대한 전기학회하계학술대회 논문집(E).
- 6) 日本電氣學會, 昭和59, 絶縁劣化 試験 方法, 電氣學會 技術報告 2部 182号.
- 7) 池田易行, 深川裕正, 1989. 合成レジン絶縁發電機捲線の絶縁劣化判定法 日本 電力中央研究所 研究報告.
- 8) Yong-Joo Kim, Jin-Bong Kim, Don-Ha Hawang, 1995, Novel Partial Discharge Measurement Technique for Generator Stator Windings, Korea-Japan Joint Conference, pp. 111-115.