

Inspection of the Diagnosis Report for Life Assessment of Engine Generator

이 영 준[†] · 주 영 호^{*}
(Young-Jun Lee · Young-Ho Ju)

Abstract - This paper presents evaluating procedure for engine generator operated over 13 years which are usually installed at the island and therefore, isolated to the main distribution line. To decide continual operation of the generator, their diagnosis results should guarantee safety running. So the determination of criteria for continual usage or replacement is essential for economical and reliable maintenance. We present all the courses of evaluating the condition which includes the processes from acquiring basic data to comprehensive determination of generators. All the test was applied to serial number 3 generator in Jodo Engine Power Plant.

Key Words : Engine Generator, Insulation Test, Surge, Visual Inspection

1. 서 론

도서 섬지역의 전력공급의 중추적 역할을 담당하고 있는 내연발전기는 사용년수가 경과함에 따라 고정자권선의 절연 내력이 감소하게 되고, 이로인해 절연내력이 운전전압보다 떨어지게 되면 절연과파가 발생한다. 또한 회전자권선의 경우에도 경년열화가 심하게 되면 구성품 열화로 인하여 안정운전을 저해하는 요소로 작용한다. 고정자 및 회전자 권선 등 발전기 구성품의 열화로 인해 발생하는 불시정지 및 고장발생은 정전사고로 이어져 섬 지역의 안정적 전력공급 방해는 물론 지역주민의 민원을 야기시키는 결과를 초래하기 때문에 발전기에 대한 사전 점검을 통해 이상여부를 조기발견하여 예방정비를 시행함으로써 불시고장을 예방하는 것이 무엇보다도 중요하다.^{[1],[2]}

최근 우리나라의 경우도 예방진단에 대한 관심증가로 산업현장 및 발전소 등지에서 정비 기간을 이용하여 설비 예방진단이 널리 시행되고 있으나, 일부 섬지역의 경우 여러 장애요인으로 인해 발전기에 대한 예방진단이 소홀한 것이 사실이다. 현재 국내에서 주로 사용되고 있는 소형발전기 진단 방법으로는 절연저항, 성극지수, 교류전류, 유전정접, 부분방전, 썸지시험 등이 시행되고 있으며, 각 시험결과를 종합적으로 평가하여 발전기 교체 또는 정비여부를 결정하고 있다.

본 논문에서는 도서 섬지역에 설치되어 운전되고 있는 내연발전기의 현재 상태를 파악하고 유지관리에 만전을 기하기 위해 계속사용 가능 또는, 교체여부를 판단하기 위해 조도내연발전소 #3 발전기에 대한 육안점검 및 전기적 정밀 진단시험을 수행하였고, 그 결과를 분석하여 발전기 상태가

안정운전을 위해서는 교체가 바람직하다는 것을 확인한 내용에 대하여 기술하고자 한다.

2. 시험 대상설비 및 시험항목

2.1 시험 대상설비

도서지역의 전력사용 하계피크를 대비한 발전기의 건전성 여부를 판단하기 위해 약 13년간 장기 사용된 조도내연발전소 발전기에 대하여 육안점검 및 전기적 진단시험을 수행하였으며, 시험대상 설비의 사양은 아래의 표 1과 같으며, 그림 1은 시험대상인 조도내연 #3 발전기의 현장 설치 사진이다.

표 1 시험대상 내연발전기 사양

Table 1 Specification of engine generator for test

구 분	사 양	구 분	사 양
용 량	500KW	극 수	10 Pole
전 압	3Φ / 6.6kV	제작사	이천전기
전 류	54.7A	설치사	보국전기
회전수	720 RPM	제작년도	1996



그림 1 시험대상 내연발전기
Fig. 1 Engine generator for test

[†] 교신저자, 정희원 : 한전 전력연구원 책임연구원
E-mail : leeyongj@kepcoco.kr

^{*} 정희원 : 한전 전력연구원 수석연구원
접수일자 : 2009년 11월 27일
최종완료 : 2010년 1월 25일

조도내연발전소의 경우 발전용량 500[kW] 발전기 4대가 설치되어, 평상시 3대가 운전되고 있다. 본 시험에서는 이중 평상시 운전하는데 문제가 많이 발생하였던 #3 발전기에 대하여 종합적인 육안점검 및 전기적 진단시험을 수행하였다.

2.2 시험항목

조도내연발전소 발전기 건전성 평가를 위해 수행한 시험항목은 전체적인 발전기 구성품의 외관 육안점검과 전기적 진단시험 등을 수행하여 발전기의 현재 상태를 종합적으로 평가하였다.

고정자권선에 대한 전기적 시험항목으로는 절연저항, 성극지수, 교류전류, 유전정접 및 부분방전시험 등 정밀 절연진단 시험을 수행하였으며, 고정자권선 동도체의 턴간 단락여부를 확인하기 위한 써지시험을 수행하였다. 또한, 회전자에 대해서는 정밀 육안점검을 통해 구성품의 열화여부를 확인하였다.

표 2는 발전기 및 고압전동기의 국제 시험기준 및 항목을 나타낸 것이다.

표 2 시험항목
Table 2 Test item

시험종류	Standards
절연저항	IEEE Std 43/NEMA MG1
성극지수	IEEE Std 43/NEMA MG1
교류전류 유전정접	IEEE Std 286/BS Std 4999, Part 144/ASTM Std D 150
부분방전	IEEE Std 1434/IEC 270/ASTM Std D 1868

2.3 시험장비 현황

표 3은 급변 내연발전기 종합진단시험 수행을 위해 사용한 시험장비 현황이다.

표 3 시험장비 현황
Table 3 List of test Instruments

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
AWA-III	Haefely Trench (스위스)	써지시험

3. 시험결과 및 고찰

3.1 절연저항시험

절연저항 시험은 절연물의 흡습이나 오손상태를 파악할 수 있으며, 운전 개시전이나 운전중에 필요한 절연저항을 가지고 있는가의 여부, 운전에 따른 절연저항 저하의 정도를

점검하고 절연열화 시험시 사용되는 고전압을 인가해도 충분한가를 점검하기 위해서 실시하는 시험이다.

본 시험에서는 고정자권선을 3상 일괄로 하여 권선과 대지간에 DC 5[kV] megger로 전압을 인가하여 1분 후의 절연저항 값을 측정된 결과, 70[MΩ]이 측정되어 양호 기준치인 100[MΩ] 이하로 나타나 고정자 권선 절연물이 흡습 또는 오손상태인 것을 확인하였다.

3.2 성극지수(직류전류)시험

직류전류 시험은 절연물에 직류전압을 인가하였을 때 전류-시간 특성으로 부터 절연물의 흡습, 도전성 불순물의 흡입, 생성, 오손과 결함 등 절연물의 상태를 판정하는 시험이다.

본 시험에서는 고정자권선을 3상 일괄로하여 전원 단자와 대지간에 DC 5[kV]를 인가하여 성극지수를 측정하였고, 그 결과 절연저항 시험결과와 같이 양호 기준치인 1.5이하인 1.4를 나타내어 고정자권선 절연물의 건조상태가 불량함을 확인 하였다.

3.3 교류전류시험

교류전류 시험은 절연물에 교류전압을 인가하였을 경우에 흐르는 전류와 전압과의 관계, 즉 I-V 특성으로 부터 절연상태를 평가하기 위한 시험이다. 교류전압을 절연물에 인가하면 전압상승에 비례하여 충전전류가 증가하며, 이때 절연층내에 결함이 존재하여 부분방전 현상이 발생하게 되면 미소공극을 단락시켜 충전전류가 급격히 증가하고 이와같은 전류 급증전압 및 전류 급증율로 부터 절연물의 흡습, 열화의 정도를 알 수 있다.

본 시험에서는 고정자 권선을 3상 일괄로 하여 전원 단자와 대지간에 정격전압인 6.6[kV]까지 교류전압을 인가하면서 교류전류의 변화상태를 측정하여 전류증가율(ΔI)를 구하였다. 그 결과, 양호기준치인 8.5[%]이내 인 5.95[%]로 분석되었으나, 시험 인가전압이 높아감에 따라 전류 증가율이 급격히 증가되는 것으로 분석되어 이상적인 교류전류 특성곡선 보다는 열화가 많이 진행된 것으로 분석되었다.

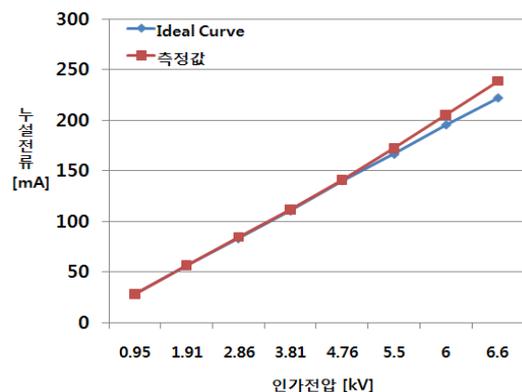


그림 2 교류전류 특성곡선

Fig. 2 AC current characteristic curve

3.4 유전정접시험

유전체 절연물에 교류전압을 인가하면 일반적으로 누설전류, 유전분극, 부분방전 등에 의한 유전손이라는 에너지 손실이 발생하고 이를 나타내는 척도로 tanδ를 사용한다. 이것을 유전정접이라 부르고 이와같이 절연물에 교류전압을 인

가하여 측정되는 $\tan\delta$ 로 부터 흡습, 오손, 미소공극 유무 등의 절연상태 및 열화정도를 파악한다.

본 시험에서는 고정자권선을 3상 일괄로 하여 전원 단자와 대지간에 정격전압인 6.6[kV]에서와 상전압의 25[%]인 0.95[kV]에서의 $\tan\delta$ 값을 각각 측정하여 그 차를 $\Delta\tan\delta$ 로 얻었으며, 1.17[%]가 측정되어 양호기준치인 6.5[%] 이내인 조건은 만족하였으나, 실제 저전압에서부터 $\tan\delta$ 값이 높게 나타나 $\Delta\tan\delta$ 값도 낮게 나타난 것이며, 그림 3에서 보는바와 같이 낮은 전압에서부터 절연특성이 매우 좋지 않음을 알 수 있었다.

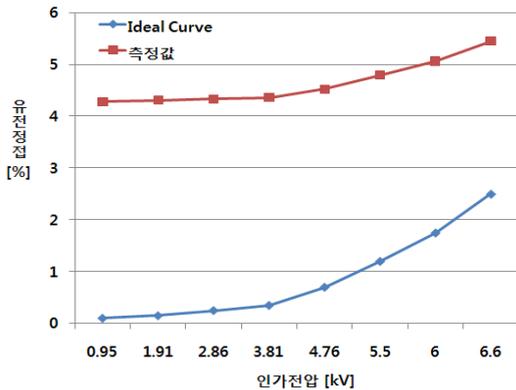


그림 3 유전정점 특성곡선

Fig. 3 $\tan\delta$ characteristic curve

3.5 부분방전시험

고압회전기 고정자권선의 경우 사용시간의 증가로 인해 권선이 열화되어 절연물에 미소공극, 균열, 박리 등이 생기면 이 결함부에서 부분방전 펄스전류가 발생한다. 이 부분방전을 검출하여 전기적인 절연물의 열화상태 뿐만아니라 과열이나 주기적 응력에 의한 권선 단말부에서의 표면방전, 웻지이완, 그리고 슬롯방전 등의 이상상태를 알 수 있다.

본 시험에서는 고정자권선을 3상 일괄로하여 대지간에 정격 상전압을 인가하였을 때 발생하는 부분방전 값을 측정 하였다. 측정된 부분방전 값의 양호 기준치는 정격 상전압에서 10,000[pC]이하이며, 시험결과 11,000[pC]이 측정되어 양호기준치를 벗어나는 과도한 방전현상이 나타남을 알 수 있었다.

3.6 써지시험

동도체간 소선절연물이 열화에 의해 손상되어 발생하는 결함인 턴간 단락의 특성을 알아보기 위한 방법으로 써지펄스시험을 시행하였다. 권선에 써지펄스를 인가하게 되면 시험기의 캐패시턴스 성분과 권선의 인덕턴스 성분간에 공진현상이 발생하게 된다. 권선의 턴수가 단락현상에 의해 변하게 되면 인덕턴스 값도 변하게 되어 공진주파수 및 공진파형도 달라지게 된다. 이러한 특성을 감지하여 턴간 단락이 발생한 권선을 찾아 낼 수가 있다.^[3]

일반적으로 권선 내부에 턴간단락이 존재하는 경우 턴간 내부 순환전류가 흘러 도체에 열이 발생되고 이것이 더욱 진전될 경우 과열에 의해 절연물이 손상되어 절연과피에 까지 이르게 된다.

이번 써지펄스시험에 사용한 시험장비로는 써지시험기인 AWA-III(Baker사, 미국)를 사용하였으며, 고정자권선에 인가한 시험 펄스전압은 NEMA High Potential Standard

MG1 12.03에 따라 정격전압인 6.6[kV]의 2배에 1[kV]를 더한 값인 14.2[kV]이고, 상승시간(rising time)은 IEEE Guide에 따라 0.1[μ s]를 갖는 펄스전압을 인가하여 시험하였으며,^[4] 그림 4는 써지펄스 시험장면이다.



그림 4 써지펄스 시험

Fig. 4 Surge pulse test

그림 5는 시험대상 발전기 권선에 써지펄스를 인가하여 발생한 공진파형을 측정된 화면이다. 통상 공진 주파수 파형은 5[%]이내의 편차이면 양호한 것으로 판단하고 있으나, 이 발전기의 경우 A상, B상의 공진파는 서로 일치하였으나, C상의 경우 A, B상과 18[%]의 편차를 나타내었으며, 공진파형이 왼쪽으로 이동하였다. 따라서 C상 권선에 단락이 존재함을 알 수 있었으며, X축이 시간축이므로 공진주파수가 증가하였음을 알 수 있었다. 따라서 이 발전기 C상 권선 내부에서 턴간 단락이 존재하고 있음을 알 수 있었다.

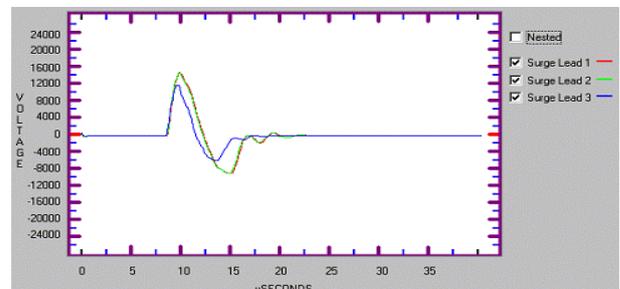


그림 5 써지펄스 파형

Fig. 5 Surge pulse waveform

3.7 육안점검

전체적인 전기적 진단시험결과가 불량하게 분석되어 발전기 내부상태를 알아보기 위해 발전기에서 회전자를 인출한 후 정밀하게 육안점검을 시행하였다.

그림 6은 발전기 고정자 권선을 나타낸 것으로서 절연물과 웻지 등이 상당부분 손상되었음을 알 수 있었고, 고정자 권선 표면이 장기 운전으로 인해 외부 이물질 등이 유입되어 오염상태가 심각하였으며, 또한, 회전자에 대한 육안점검에서도 회전자권선 절연물 등이 장기사용으로 인해 부스러지고, 열화된 상태임을 확인하였으며, 손가락으로 절연물을 만질 경우 계속적으로 부스러지는 현상이 나타나 회전자 절연물의 상태가 매우 좋지않음을 확인하였다. 그림 7은 회전자 권선 절연물의 열화 및 손상상태를 나타내주고 있다.



그림 6 고정자 권선 오염 및 손상상태
Fig. 6 The status of pollution and damage of stator winding



그림 7 회전자 권선 절연물 손상상태
Fig. 7 The damage status of rotor winding insulation

3.8 시험결과 종합

육안점검 및 전기적 진단시험의 종합적인 결과는 표 4에 나타내었으며, 각 시험항목별 인가전압, 양호기준치, 그리고 실제 시험결과 등을 나타내었다.

표 4 시험결과
Table 4 Test results

시험항목	인가전압	양호기준	시험결과
절연저항	DC 5kV	100[MΩ]이상	70[MΩ]
성극지수	DC 5kV	1.5이상	1.40
교류전류	AC 6.6kV	8.5[%]미만	5.95[%]
유전정접	AC 6.6kV	6.5[%]미만	1.17[%]
부분방전	AC 6.6kV	10,000[pC]미만	11,000[pC]
써지	DC 14.2kV	5[%]이내	18[%]
육안점검	-	-	열화

4. 결 론

본 논문에서는 약 13년간 장기 사용된 도서 내연발전기에 대한 육안점검 및 전기적 정밀진단을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

[1] 고정자권선에 대한 전기적 시험결과, 절연저항 및 성극지수 시험결과가 불량하여 고정자 권선 절연물이 흡습 및 오손상태 임을 알 수 있었으며, 유전정접 시험에서도 저전압에서 부터 tanδ 초기값이 약 5[%]로 높게 나타나고 있으며 (양호설비의 경우 0~1[%] 내외), 부분방전 시험결과도 11,000[pC]이 측정되었다. 또한, 써지시험에서도 C상에서 내

부 턴간 단락이 존재하는 것으로 분석되었다.

[2] 전기적 시험이 불량하게 나타나 내연발전기 내부상태를 알아보기 위해 발전기에서 회전자를 분해하여 육안점검을 시행한 결과에서도 고정자권선의 경우 절연물 표면이 상당히 오염된 상태였으며, 회전자의 경우 절연재의 노후화 및 열화로 인해 부스러짐 현상이 심하였으며, 이러한 절연재 부스러기, 외부 이물질 등이 다량 존재할 경우 정상운전중 고정자권선, 철심 및 웬지 등에 손상을 줄 우려가 매우 높고 절연내력 약화 및 절연과괴의 가능성이 매우 높은 것으로 분석되었다.

[3] 따라서 급변에 육안점검 및 전기적 정밀진단 수행을 통해 조도내연발전소 #3 발전기의 경우 고정자권선 절연물이 열화가 상당히 진행된 상태이며, 발전기 구성품이 전반적으로 열화된 상태로 판정되어 안정적인 전력공급을 위해서는 발전기 교체가 바람직하다고 사료된다.

참 고 문 헌

[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] 공태식, "고압전동기 고정자권선 절연물의 결함위치에 따른 부분방전 및 써지실험 특성", 충남대학교 전기공학과 석사학위 논문, pp25-26, 2004.
 [4] IEEE Power Engineering Society, "IEEE Guide for Testing Turn-to-Turn Insulation on Form-Wound Stator Coil for Alternating-Current Rotating Electric Machines", IEEE Std 522, pp8, 1992.

저 자 소 개



이 영 준 (李 泳 俊)
 1963년 2월 8일생. 1985년 홍익대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한전 전력연구원 책임연구원
 Tel : 042-865-7572
 Fax : 042-865-7599
 E-mail : leeyongj@kepeco.co.kr



주 영 호 (朱 榮 鎬)
 1956년 5월 1일생. 1981년 인하대 전기공학과 졸업. 2000년 대전산업대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한전 전력연구원 수석연구원
 Tel : 042-865-7570
 Fax : 042-865-7599
 E-mail : juyh@kepeco.co.kr