

Healthy Assessment of Generator Stator Cores using EL-CID (ELeCtromagnetic Core Imperfection Detector)

金秉來* · 金熙東†
(Byeong-Rae Kim · Hee-Dong Kim)

Abstract - The ELeCtromagnetic Core Imperfection Detector (EL-CID) test was performed on a small generator in the laboratory and a gas turbine generator in the field to assess the fault condition of generator stator core. Artificial defects with six different sizes were introduced in the small generator. The scan results on six defects show a very large increase in the magnitude of fault current compared to that obtained with a healthy core. After the stator core heats up, a thermal imaging camera was used to detect hot spot on the inner surface of the core for comparison. Several faults were found during inspection of the gas turbine generator with the EL-CID. It has been shown that the existence of a fault can be determined by monitoring the magnitude of fault current.

Key Words : Generator, EL-CID, Stator Core, Artificial Defect, Fault Current

1. 서 론

최근에는 복합화력발전소 발전기에 의한 고장발생이 증가하는 추세에 있으며, 그 동안 큰 비중을 차지하지 않았던 고정자 철심의 손상 및 결함현상 등이 자주 나타나고 있다. 발전기는 고정자 권선과 회전자 권선에 비해 고정자 철심의 과열이나 손상이 발생할 때 사전에 감지 혹은 보호할 수 있는 장치가 없기 때문에 운전중 철심의 건전성과 결함에 의한 진전 상태를 점검하기가 어렵다. 특히, 발전기 고정자 철심에서 결함이 발생하면 순환하는 고장전류로 인해 전기적인 손실이 생성되고 국부적인 과열로 진전될 경우 고정자 권선이 손상됨에 따라 접지사고로 이어지는 큰 고장을 유발하게 된다[1]. 따라서 고가이면서 발전소의 핵심 설비중에 하나인 발전기 고정자 철심의 건전성 여부를 진단하여 결함 정도를 판정하는 일은 발전설비 운영에 있어서 신뢰성 확보와 경제적인 정비계획을 수립하는데 중요한 부분을 차지하게 되었다.

또한, 대형발전기 불시 고장으로 인해 갑자기 정지하게 되면, 장기간의 정비작업이 소요됨에 따라 전력수급에도 불안요소가 발생하고 경제적인 손실부담으로 작용하게 된다. 발전기 고정자 철심이 심각한 손상으로 진전하기 전에 건전성 진단을 실시하여 비정상 상태에서 운전이 이루어지지 않도록 사전에 정비하는 기술이 필요하게 되었다[1-4]. 그리고 발전기 고정자 권선과 회전자 권선의 절연상태를 사전에 평가하기 위해 운전중과 정지중 진단기술이 활발하게 발표되

고 있다[5-8].

본 논문에서는 발전기 고정자 철심의 건전성을 평가하기 위해서 인위적 결함을 갖는 소형발전기 고정자 철심과 실제 운전중 사고에 의해 손상된 가스터빈 발전기 고정자 철심에서 EL-CID(ELeCtromagnetic Core Imperfection Detector) 시험을 수행하고 그 결과를 분석하였다.

2. 발전기 고정자 철심의 구조

그림 1에 나타낸 바와 같이 발전기 고정자 철심은 주 자속의 통로가 되며, 고정자 권선을 지지하는 역할을 한다. 운전중에 발생하는 고정자 철심 내부의 와전류손과 히스테리시스손을 줄이기 위해 얇은 규소강판(두께 : 0.35~0.5 mm, 규소 함유량 : 2~4 %)을 부채꼴로 만들어 슬롯(slot)을 파고 찍어낸 후 절연 바니시(varnish)를 칠해 건조시킨다.

발전기는 철심 수십만 장을 고정자 틀 내부에 부착되어 있는 키바(key bar)에 적층하며, 50~60[mm] 적층시 마다 10~13[mm]의 간격편을 삽입시켜 통풍 홈을 만들어 냉각매체가 지나갈 수 있도록 한다. 고정자 철심 단부는 누설자속에 의한 표류 부하손을 줄이기 위해 적층상태에서 에폭시 수지로 접착하는 기술, 비자성 내측 간격편 채택 및 철심단부 조임판(압판)의 도전성 차폐판 처리 등 손실을 경감하는 구조로 되어 있다. 또한 축방향 누설자속을 감소시키기 위해 고정자 철심단부를 계단식으로 가공하여 공극을 크게 유지하고 주 자계에 의한 자속밀도를 감소시키며, 더불어 수소 통풍로의 저항을 줄일 수 있다.

대용량 발전기에서는 외측 간격편과 철심단부 조임판(압판) 사이에 전기철판을 단락한 상태로 구성되어 있고, 적층시킨 자속분로(shunt)를 설치하여 고정자 철심단부에 축방향 누설 자속량을 저감하여 과열을 방지한다. 고정자 단부

† 교신저자, 正會員 : 韓電 電力研究院 責任研究員 · 工博
E-mail : hdkim@kepeco.co.kr

* 正會員 : 韓電 電力研究院 責任專門員
接受日字 : 2008年 12月 15日
最終完了 : 2008年 12月 24日

누설자속으로 인한 과열을 방지하기 위해 여러 가지 기술이 사용되고 있으며, 그 중에서 누설자속에 대해 자기저항을 크게 하는 방법, 와전류에 의해 전기저항을 높게 하는 방법 및 고정자 단부 측에 더 많은 냉각매체가 통과하도록 설계하는 방법 등을 많이 고려하고 있다.

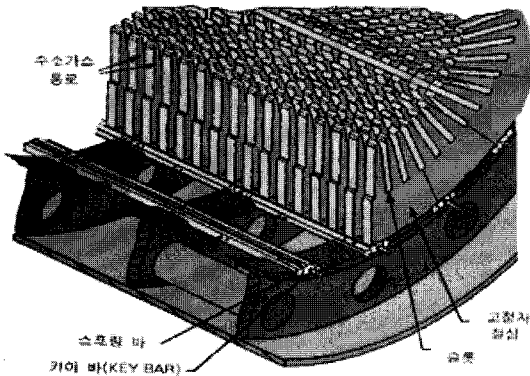


그림 1 발전기 고정자 철심의 구조
Fig. 1 Structure of generator stator core

3. 시험방법

그림 2에 나타낸 바와 같이 저 자속 철심시험법인 EL-CID를 사용하여 발전기 고정자 철심의 건전성을 평가하였다. 정상상태에서 주자속의 4[%] 정도만 인가시켜 시험을 실시하고, 센싱 헤드(sensing head)를 철심 표면 위로 움직이면서 결합영역에서 유도되어 흐르는 전류를 자기적으로 감지하는 방법이다.

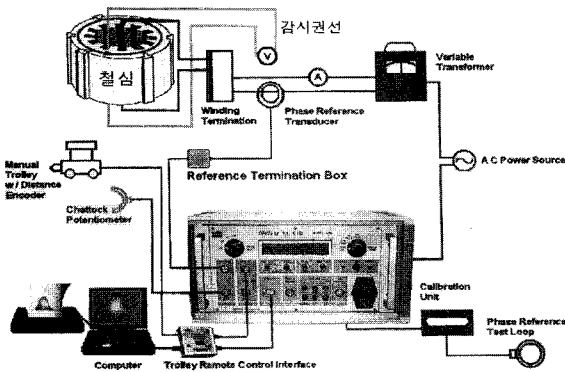


그림 2 EL-CID 시험의 구성도
Fig. 2 Configuration of EL-CID test

대용량 발전기 고정자 철심을 시험할 때에는 여자권선의 용도에 맞게 넓은 도체 면적을 가진 케이블이 감겨져야 한다. 또한 철심의 실제 자속을 측정할 수 있도록 감지코일(search coil)을 설치하는 것이 바람직하며, 철심을 감은 여자권선의 위치는 유용한 데이터를 얻는데 중요한 역할을 한다. 특히 권선이 철심 안쪽에 바로 감겨지는 것 보다 여자권선 내경 중심축을 따라 늘어지도록 하는 것이 중요하며, 손상된 영역을 분석하는데 기준으로 설정하기 위해 철심에 변

호를 부여하는 것이 필수적이다. 이렇게 함으로써 다음번 시험결과와 쉽게 비교할 수 있는 장점이 있다.

시험절차는 먼저 고정자 철심 둘레로 여자용 케이블(Toroidal winding)을 설치하고 감지코일과 센서장치(Chattock 전위계) 등을 연결한 다음 감지코일 전압을 결정하여야 한다. 장비설치가 모두 완료되면, 주 자속의 4[%]가 되도록 시험전압을 인가하고 철심을 따라 감지코일이 움직(scan)하면서 철심 절연상태를 측정하면 된다. 이때 측정 전류는 mA(milliampere)로 기록되며, 기준값(제조사 권고 : 100 mA)을 넘는 철심영역은 절연물질로 표시하고 신호의 극성을 점검하여야 한다. 특히 고정자 권선이 들어가 있는 경우 손상이 육안으로 식별되지 않기 때문에 신호의 극성에 따라 손상영역을 알아내기 위해 극성 판별은 중요하며 이때 시험자의 경험과 기술수준이 요구된다.

여자용 시험전압은 발전기 정격에 따라 계산되며, 아래 식 (1)과 (2)는 2병렬 권선 구조의 72개 슬롯(slot)을 갖고 있는 발전기(정격전압 13.8 kV)를 시험할 때 감지코일 전압(V_T)의 계산 예를 나타내었다.

$$V_T = 0.04 \times \frac{V_{P-P}}{2\sqrt{3} K t_p} \tag{1}$$

$$= 0.04 \times \frac{13800}{2\sqrt{3} \times 0.92 \times 12}$$

$$t_p = \frac{Slot수 \times Slot당 권선수}{상수 \times 병렬 회로수 \times 상당 권선수} = \frac{72 \times 2}{3 \times 2 \times 2} = 12 \tag{2}$$

여기서 V_{P-P} : 발전기 단자전압(선간전압)

t_p : 상간 직렬권선 회로수(턴수)

K : 권선 분포 및 단절계수의 합산치
(발전기의 경우 0.92 적용)

고정자 철심길이 : 3.25[m]

실제 운전중인 대용량 발전기 고정자 철심에서 인위적 결함을 만들기가 어렵기 때문에 소형발전기 고정자 철심을 모의시험 대상으로 선택하여 실험실에서 EL-CID를 시험하였다. 발전기 고정자 철심의 표면 또는 내면에 결함이 있을 경우에는 고장전류 파형이 검출된다. 헤드 탐지기(head detector)에 의해 검출된 축방향 전류의 크기로 발전기 고정자 철심의 건전성 여부를 판별한다. 또한 장비 제작사는 축방향 전류의 크기가 100[mA] 이하일 때 고정자 철심상태가 양호한 것으로 판정하고 있다[1]. 따라서 소형발전기 고정자 철심의 인위적 결함 크기에 따라 측정된 고장전류 파형은 실제 운전중인 대용량 발전기 고정자 철심의 건전성 평가에 직접적으로 활용이 가능하다.

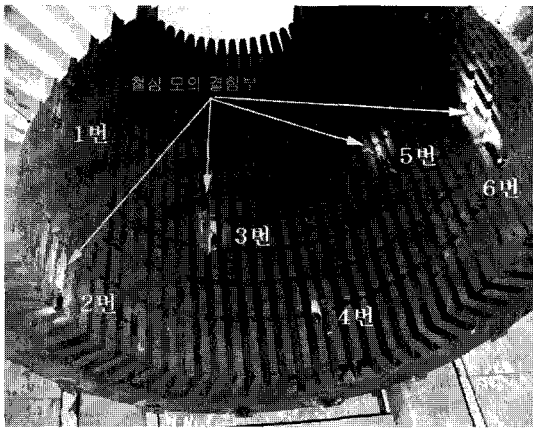
4. 시험결과 및 분석

4.1 인위적 결함을 갖는 소형발전기 고정자 철심

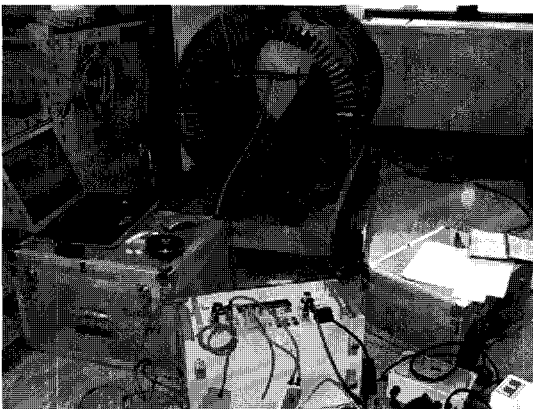
그림 3(a), (b)에 나타낸 바와 같이 소형발전기 고정자 철심표면에서 다양한 크기로 인위적 결함을 모의하였다. 인위적 결함은 철심 적층부에 6개소를 선정하여 10~100[mm] 크

기로 용접을 실시하고 적층간 단락이 이루어지도록 구성되어 있다. 고정자 철심에 인위적 결함을 만들고 저 자속 철심 시험을 위해 설치한 여자권선에 전류를 흘려 자속을 발생시켜서 철심을 여자시킨 뒤에 각각의 결함영역에서 고장전류를 측정하였다. 6개소의 인위적 결함의 크기에 따라 고장전류의 패턴(pattern)을 그림 4에 나타내었다.

또한, 6개소의 인위적 결함에 대해 저 자속을 이용한 EL-CID 시험결과를 검증 및 재확인하기 위해서 그림 5에 나타낸 바와 같이 열화상 측정이 필요하였다. 고정자 철심 표면에 결함을 인위적으로 발생시킨 지점에서 열화상 카메라를 사용하여 과열발생을 확인하기 위해 정격 인가전압의 4[%]인 저 자속 상태에서는 철심의 결함여부를 발견하는데 어려움이 있었다. 따라서 인위적 결함영역을 열화상 카메라로 확인하기 위해서는 철심정격의 약 25[%]까지 시험자속을 올려서 측정할 결과 결함 2번 지점의 경우 온도상승이 주변보다 약 12[°C]까지 차이가 나고 있음을 확인하였다. 만약에 100[%]의 정격전압까지 자속을 인가하였다면 2번 지점의 결함에서는 약 200[°C]까지 온도가 상승될 것으로 추정할 수 있었다. 이러한 경우 철심슬롯에 고정자 권선이 설치되어 있으면, 급격한 온도상승으로 인해 절연물에 열화가 발생하여 최종적으로 절연파괴가 발생할 수 있다[1].

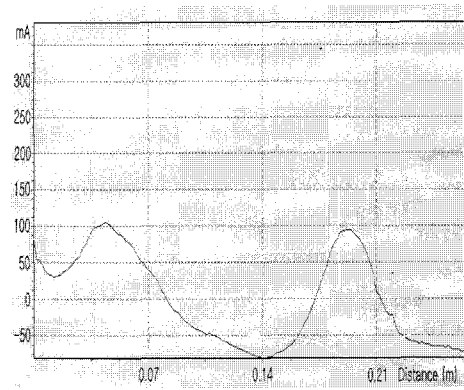


(a) 모의결함 철심

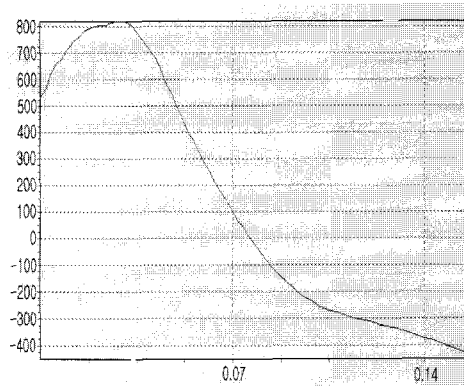


(b) 모의결함 철심에서 특성시험

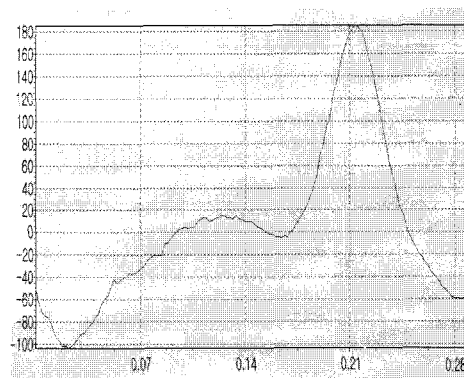
그림 3 발전기 고정자 권선의 인위적 결함
Fig. 3 Artificial defects of generator stator core



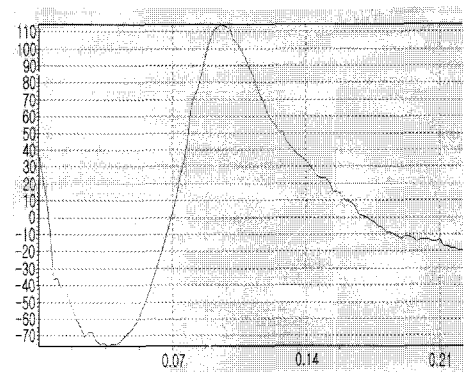
(a) 1번/12 mm



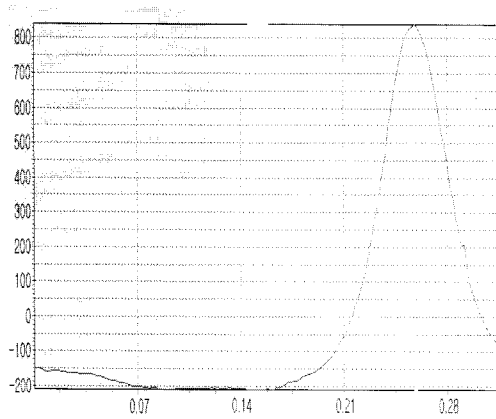
(b) 2번/20 mm



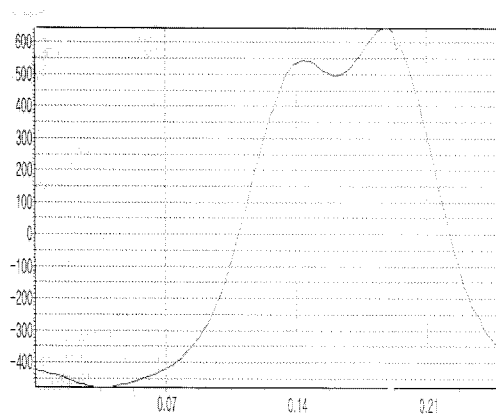
(c) 3번/20 mm



(d) 4번/10 mm



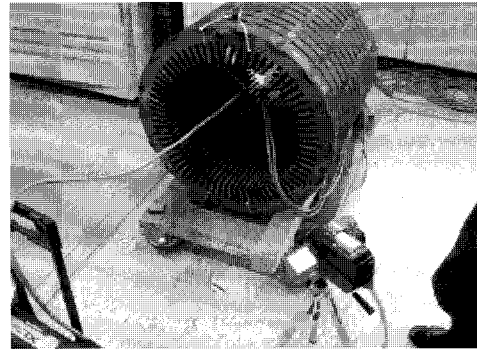
(e) 5번/45 mm



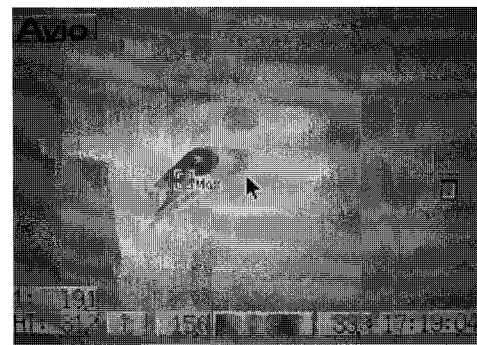
(f) 6번/100 mm

그림 4 인위적 결함을 가진 고정자 철심에서 고장전류의 파형(결함위치/크기)
 Fig. 4 The patterns of fault current for artificial defects(Defect Location/Size)

인위적 결함을 가진 고정자 철심에서 결함정도에 따라 고장전류의 크기를 측정하여 표 1에 나타내었다. 정격 인가전압을 2.6[%], 4[%] 및 8[%]로 증가함에 따라 고장전류가 크게 나타나고 있음을 확인할 수 있었다. 정격 인가전압이 4[%]인 경우에 인위적 결함의 크기가 10[mm], 12[mm]에서 고장전류는 각각 110[mA], 108[mA]로 유사하게 나타났다. 그러나 결함의 크기가 20 [mm]인 경우에 고장전류는 각각 818[mA], 190[mA]로 크게 차이가 발생하였다. 또한, 결함의 크기가 45[mm], 100[mm]인 경우에도 고장전류는 각각 830 [mA], 820[mA]로 유사하게 측정되었으며, 결함의 크기에 따라 고장전류의 크기가 반드시 비례하지는 않았다. 이러한 원인으로 인접한 층에서 여러 개의 철심이 표면뿐만 아니라 적층간의 단락정도가 큰 경우에는 고장전류가 크게 나타나며, 과도한 국부적 과열을 발생시킨다[4]. 그리고 키바와 접촉된 고정자 철심 배면의 도통 상태와 철심 적층간의 단락 정도(절연상태)에 따라 순환하는 와전류가 큰 차이를 발생하는 것으로 판단할 수 있다[1]. 향후에는 표면에서 결함의 크기뿐만 아니라 철심 적층간의 단락정도를 고려하여 시험을 수행할 예정이다.



(a) 열화상 측정시험



(b) 결함을 갖는 철심에서 온도 분포

그림 5 인위적 결함을 가진 고정자 철심에서 온도측정
 Fig. 5 Temperature measurement of stator core with artificial defects

표 1 인위적 결함을 가진 고정자 철심에서 고장전류의 크기

Table 1 The magnitude of fault current in stator core with artificial defects

결함번호	1	2	3	4	5	6	정격철심 인가자속 [%]
결함크기 [mm]	12	20	20	10	45	100	
고장전류 크기 [mA]	70	800	180	70	650	600	2.6
	108	818	190	110	830	820	4.0
	190	1450	350	200	1350	1400	8.0

※ $V_T(4\% \text{ 전압}) = 0.226fd = 0.226 \times 60 \times 0.7 \times 0.05 = 0.4746[V]$
 f : 주파수[Hz], l : 철심길이[m], d : 철심폭[m]

4.2 가스터빈 발전기 고정자 철심의 건전성 평가

계획예방정비기간 동안에 가스터빈 발전기(150 MW, 18 kV) 회전자를 인출하고 내부를 점검한 결과 그림 6(a), (b)에 나타난 바와 같이 일부분의 단부철심(steped core-end region)의 과단순상과 철심 중심부에서 이탈된 통풍구 간격편(vent finger bar)이 내부로 유입되면서 다른 철심들을 손

상시켰다. 가스터빈 발전기는 60개의 슬롯과 2병렬 권선으로 구성되어 있다. 앞에서 언급한 식 (1), (2)에 의해 감시전압 V_T 를 계산하면 22.5[V]가 됨으로 이 전압을 인가하여 EL-CID를 시험하였다. 따라서 고정자 철심 손상부에서 고장전류를 측정함으로써 결함정도를 확인하여 정비대책을 마련할 필요가 있다.



(a) 철심단부 파단



(b) 철심중간 표면손상

그림 6 발전기 고정자 철심의 손상위치
Fig. 6 Fault locations of generator stator core

가스터빈 발전기 고정자 철심 손상부에서 고장전류 파형을 측정하여 그림 7에 나타내었다. 그림 7에 나타낸 바와 같이 고장전류 파형을 근거로 크기가 60[mA] 이상으로 측정된 슬롯번호와 손상발생 위치를 표 2에 나타내었다. #23 슬롯에서 고장전류 크기가 110[mA]로 가장 높게 나타났으며, 대부분의 손상부에서 65~98[mA]를 나타내었다. 그림 8은 #23 슬롯에 대한 고장전류의 상세파형을 나타내었으며, 고정자 철심 손상정도가 가장 심하게 분석되었다. 실제적으로 철심단부에서 멀리 떨어진 손상부(3.3m)에서 높은 고장전류 파형이 나타나 측정의 신뢰성을 확인할 수 있었다[3]. 그러나 그림 6(a)에 나타낸 바와 같이 단부철심에서 손상정도가 제일 크게 나타났으나 고장전류는 50[mA]로 낮게 분석되었다. 따라서 EL-CID의 단점은 단부철심에서 신호 스캐닝(scanning)과 해석이 어렵다는 것을 확인할 수 있었다[1].

가스터빈 발전기 고정자 철심에서 결함이 검출된 지점을 찾기 위해서 철심 상부를 센서(sensor)의 양쪽 끝에서 각각 한번씩 스캔(scan) 하도록 하였다. 결함이 존재하면 동일 지점에서 검출파형의 변화가 크게 나타났으며, 건전한 슬롯과

결함이 발생한 슬롯에서 고장전류의 변화를 비교하여 그림 9에 나타내었다. 이러한 결과들은 이미 발표된 문헌들과 일치하였다[1, 3]. 따라서 발전기 고정자 철심의 고장 원인은 주로 외부에서 이물질 유입, 국부적 과열에 의해 생성된 철심절연의 손상 및 고정자 권선의 절연과피 등으로 분류할 수 있다.

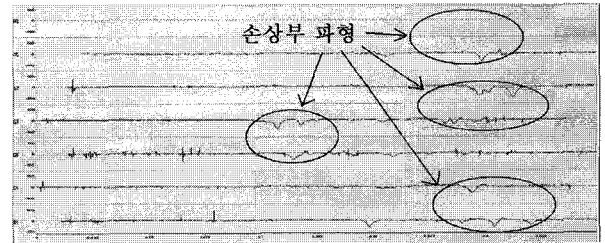


그림 7 고정자 철심 손상부 측정파형
Fig. 7 Typical fault signatures for stator core faults

표 2 가스터빈 발전기 고정자 철심결함에서 고장전류의 크기

Table 2 The magnitude of fault current in faulted stator core of gas turbine generator

순번	슬롯번호	고장전류[mA]	손상위치[m]	비고
1	4	84	3.2	○ 측정 : 여자기측 기준 ○ 길이 : 4.25[m] ○ 슬롯수 : 60 ○ 분석대상 : 60[mA] 이상
2	23	110	3.3	
3	24	70	3.3	
4	49	67	3.4	
5	52	95	3.3, 3.5	
6	53	75	1.9	
7	58	65	3.4	

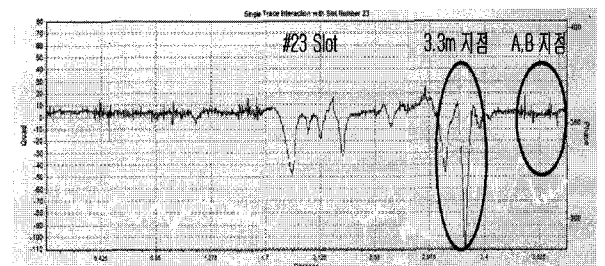


그림 8 상세 측정파형(#23 slot)
Fig. 8 Scan results for faulted slot(No. 23 slot)

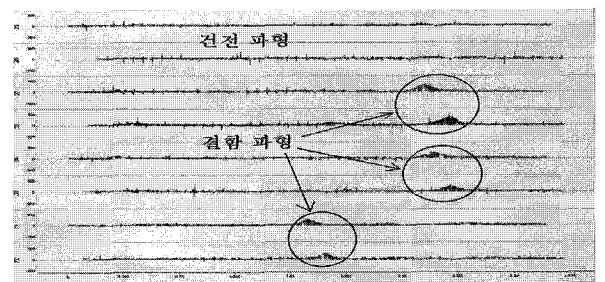


그림 9 건전한 슬롯과 결함슬롯에서 검출 파형의 비교
Fig. 9 Scan results comparison on health and faulty slots

10대 이상의 가스터빈 발전기 고정자 철심에서 EL-CID를 사용하여 측정된 고장전류의 크기가 표 2와 유사하게 분석됨에 따라 표 3과 같은 판정기준을 만들어 운영하게 되었다. 시험장비 공급자가 권고한 철심관리 기준인 100[mA]를 다소 초과하더라도 철심성능 저하로 인한 영향은 크지 않은 것으로 판단되었다. 또한, 발전기 고정자 권선의 웨지(wedge) 상태, 제작사의 절연방법 및 함침방식 등에 따라 측정값이 다소 차이를 보이고 있으므로 상태판정에 있어 일률적인 관리기준 적용 대신에 발전기 종류와 제작사별로 특성을 분석하여 종합적으로 판단할 필요가 있다[2, 9].

따라서 국내 가스터빈 발전기 고정자 철심의 건전성 평가, 발전기의 운전특성, 정비주기 및 관리상태 등을 종합적으로 검토한 결과 공급자의 권고치(100 mA 미만)가 다소 엄격하게 기준을 제시하고 있으므로 설비관리 측면에서 어려움이 있었다. 실제로 공급자의 권고 기준값을 다소 초과하더라도 설비운영에 영향을 미치지까지는 상당한 기간이 소요되기 때문에 요주의(100~200 mA) 항목을 추가하여 트렌드(trend)를 관리할 필요성이 있다. 그리고 고장전류의 크기가 200[mA]를 초과한 결함영역에 대해서는 절연물질로 해당부위를 표시하고, 검출파형의 전류극성을 확인함으로써 결함 혹은 손상 의심 지점을 추정하여 세밀하게 점검을 시행한다. 또한, 필요시에는 고정자 철심절연의 루프시험(loop test) 실시와 정밀점검, 온도상승 시험, 발전기 구조물 점검, 고정자 단말권선(endwinding)에서 고유진동 주파수 분석, 고정자 권선의 부분방전 및 절연역률 등 전기적 및 기계적 특성을 종합적으로 진단하여 건전성을 평가할 필요가 있다.

표 3 가스터빈 발전기 고정자 철심의 판정기준

Table 3 Criteria for judging in stator core of gas turbine generator

고장전류 [mA]	관리기준		비고
	개선전	개선후	
100 미만	양호	양호	
100 ~200	-	요주의	추적관리 대상
200 초과	-	점검	철심절연 상태점검 및 온도상승 시험 등이 필요

5. 결 론

발전기 고정자 철심의 건전성을 평가하기 위해서 인위적 결함을 갖는 소형발전기 고정자 철심과 실제 운전중 사고에 의해 손상된 가스터빈 발전기 고정자 철심에서 EL-CID 시험을 수행하고 그 결과를 분석하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) 인위적인 결함 크기가 10~100[mm]일 경우에 고장전류의 크기가 약 108~830[mA]로 나타났으며, 정격 인가전압을 2.6~8[%]로 증가함에 따라 고장전류가 크게 측정되었다. 또한, 결함영역에 대해 열화상 카메라를 사용하여 과열발생을 확인하였으며, 인위적 결함영역에서 검출파형과 고장전류의

크기를 분석함으로써 고정자 철심의 건전성 여부를 입증할 수 있었다.

(2) 가스터빈 발전기 고정자 철심 내부를 육안으로 점검한 결과 여러 군데에서 손상이 발생되었으며, 고장전류의 크기가 110[mA]로 가장 높게 나타난 #23 슬롯에 대해 상세파형을 분석한 결과 운전에 문제가 없는 것으로 평가되었다. 그리고 EL-CID는 철심내부에서는 작은 결함도 감지가 가능하지만 단부철심 영역에서 심각한 결함을 갖고 있어도 신호 스캐닝과 해석이 어렵다는 것을 확인할 수 있었다.

(3) 가스터빈 발전기 고정자 철심에서 측정된 고장전류를 분석한 결과 공급자가 권고한 기준값(100 mA 미만)을 다소 초과하더라도 설비운영에 영향을 미치지까지는 상당한 기간이 소요된다. 따라서 요주의(100~200 mA)로 관리하여 트렌드를 분석하고, 고장전류가 200[mA]를 초과할 경우에는 해당부위를 중심으로 종합적인 진단이 필요하였다.

참 고 문 헌

- [1] Sang Bin Lee, G. B. Kliman, M. R. Shah, N. K. Nair and R. M. Lusted, "An Iron Core Probe Based Inter-Laminar Core Fault Detection Technique for Generator Stator Cores", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 20, No. 2, pp. 344~351, 2005.
- [2] Digital EL-CID Operating Handbook, Adwell International Ltd, pp. 1~8, 2003.
- [3] Sang Bin Lee, G. B. Kliman, M. R. Shah, Dongwook Kim, W. T. Mall, N. K. Nair and R. M. Lusted, "Experimental Study of Inter-Laminar Core Fault Detection Techniques Based on Low Flux Core Excitation", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 21, No. 1, pp. 85~94, 2006.
- [4] D. B. Paley, "Current Low Power Core Testing using EL-CID", IEE Colloquium, pp. 7/1~7/4, 1999.
- [5] 김희동, 주영호, "양수발전소 발전-전동기 운전중 감시 시스템 개발", 대한전기학회 논문지, Vol. 53C, No. 3, pp. 168~174, 2004.
- [6] 김희동, "운전중인 대형 터빈발전기에서 절연상태 평가", 대한전기학회 논문지, Vol. 53C, No. 6, pp. 324~329, 2004.
- [7] 김희동, 김병래, "가스터빈 발전기 회전자 권선의 절연상태 평가", 대한전기학회 논문지, Vol. 57C, No. 10, pp. 1818~1821, 2008.
- [8] V. Warren and G. Stone, "Recent Developments in Diagnostic Testing of Stator Windings", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 14, No. 5, pp. 16~21, 1998.
- [9] G. Klempner, "Experience and Benefit of using EL-CID for Turbine-Generators", EPRI Motor & Generator Predictive Maintenance & Refurbishment Conference, pp. 1~16, 1995.

저 자 소 개



김 병 래 (金 秉 來)

1961년 3월 31일생. 1984년 한양대 전기 공학과 졸업. 현재 한전 전력연구원 책임 전문원

Tel : 042-865-5471

Fax : 042-865-5304

E-mail : kbre@kepcoco.kr



김 희 동 (金 熙 東)

1961년 12월 15일생. 1985년 홍익대 전기 공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2002년 일본 규슈공업대학교 초빙연구원. 2009년 세계인명사전 등재(Marquis Who's Who in the World). 현재 한전 전력연구원 책임연구원

Tel : 042-865-5481

Fax : 042-865-5304

E-mail : hdkim@kepcoco.kr