

동기발전기 회전자 계자접속부의 예각변형 방지구조에 관한 연구

조지원, 조창주
한국전력공사, 서인천복합화력발전처

Study on The Preventive Structure of Field Lead Connector's V-Notch on Synchron

Ji-Won Cho, Chang-Joo Cho
Seoinchon Combined Cycle Power Plant, KEPCO

Abstract - The preventive structure of field lead connector's V-notch on synchronous generator has been developed. The preventive structure of field lead, installed in the generator, prevent from V-notch of field lead connector in rotor on daily start and stop (on-line). This development of study was performed at the Seoinchon combined cycle power plant on gas turbine generator. This preventive structure of field lead will be prevent from V-notch of field lead on synchronous generator's field.

1. 서 론

전력계통의 수요증가와 더불어 신규로 건설된 복합화력은 주로 계통의 중간부하와 첨두 부하를 담당함으로써 일일 기동 정지 및 빈번한 출력 증, 감발을 수행하게 되어 기저 부하와 중간 부하를 담당하는 원자력이나 기력 발전방식의 발전기보다 가혹한 운전환경으로 많은 스트레스를 받아 발전기의 불시정지 등 문제점이 존재하고 있다.

특히 발전기의 회전자는 내부고장시 장기간 정지하여 복구해야 하는 복잡하고 손상 정도가 큰 구조적 특성을 갖고 있으며 이러한 장애를 유발하는 설비 구성은 계자자속을 발생시키는 계자 권선, 계자 권선에 직류 전원을 공급, 제어하는 자동전압 제어장치(AVR), 이로부터 계자 권선 까지 연결되는 슬립 링과 계자접속부(Field Lead)로 구성되어 있다. 이러한 구성 중에서 손상을 일으켜 발전 정지, 파급사고 된 사례가 있는 계자접속부에 대하여 기술하고자 한다.

회전자의 계자접속부의 손상은 운전중의 감시장치로 인지가 불가능하고 보호장치로는 계자 상실, 계자 접지의 경보 장치가 있으나 예방기능이 아닌 손상 결과로 감지되고 있다. 발전기 회전자의 Retaining Ring 점검주기가 약 10년으로 이 기간 내에 손상 정도가 경미할 경우에는 조기발견이 불가능함에 따라 계자 접속 부위가 변형되면서 균열상태로 진행, 이 부분이 이탈하여 코일단 층간단락 또는 계자 접지로 진행되고, 심한 경우에는 계자접속부 전체가 절단, 계자 상실되어 경보장치가 동작하여야 인지할 수 있다.

경보장치가 동작했을 때는 불시 또는 파급정지로 발전기의 장기간 정지가 불가피하며 점검 및 복구 시에는 본 설비 및 주변기기를 분해, 조립해야하는 비용이 수만 되어 막대한 복구 공사비가 소요되고 있다.

2. 본 론

2.1 계자접속부의 예각 변형 및 점검방법

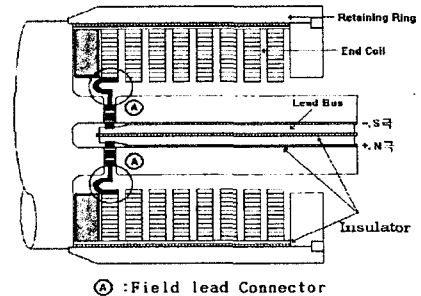
계자접속부의 구조적 특성은 회전자 본체(단조강)와 코일단을 연결함으로써 회전 시 발생하는 진동, 스트레

스, 일일 기동 정지의 운전조건(daily start and stop)의 영향을 심하게 받는 부위로 이를 완화시키기 위하여 유연한 연동선(박판 평각동선)을 사용하고 있으나, 이를 견디지 못하고 손상되고 있다.

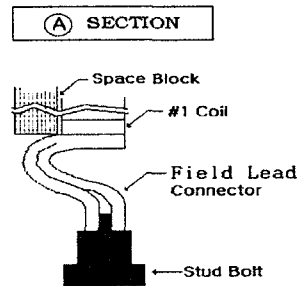
계자접속부의 손상진행 과정은 일일 기동정지(DSS)에 의한 스트레스로 일정기간(운전 및 기동횟수) 경과 후 이완 및 변형, 균열, 부분이탈, 탈락, 절단으로 진행되면서 부분적 이탈, 탈락으로 코일 단의 층간단락 또는 계자 접지를 일으키고, 절단은 계자 상실을 유발하여 장기 정지해야 하는 파급정지로 확대되는 경우가 있다

2.1.1 예각변형의 발생원인

그림2-1은 회전자의 집전 환 축 단면도이고, 그림2-2는 계자접속부의 확대도 이다.



① : Field lead Connector
pic.2-1 회전자의 집전 환 축 단면도



pic.2-2 계자접속부의 확대도

그림2-3은 계자접속부가 기동 시에 원심력에 의하여 원주 방향으로 코일이 이동하고, 계자 전류 및 전압이 공급되면서 계통에 병입되어 운전중인 경우에는 계자 권선의 운전전류에 의한 온도상승(I²R)에 의하여 양 축방향(Collector, Turbine)으로 팽창되며, 정지 시에는 반대로 수축하는 반복적인 현상이 발생된다. 이러한 반복적인 현상을 완화하기 위하여 계자접속부는 유연한 재질로 사용하고 있으나, 기동, 운전, 정지의 반복 및 일정기간

과 후 예각 변형(V-Notch)의 현상이 발생하여 변형된 부위가 저주파 피로에 의하여 균열이 생성, 가속화되어 마침내는 손상, 절단된다. 특히 반복하여 가동 시 원주방향으로 원심력에 의한 예각변형은 가속화되어 손상의 주원인이 된다. 계자접속부에 대한 원심력을 계산하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

계자접속부가 받는 원심력 : F

$$F = mrw$$

$$w = 2\pi N/60$$

w : 각속도

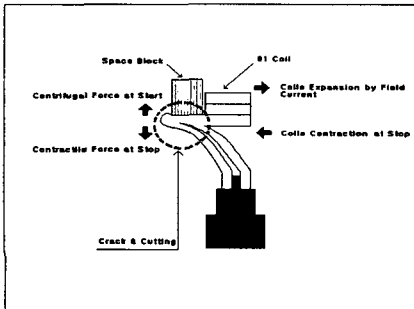
N : 회전수 (3,600 rpm)

m : 질량 (계자접속부의 변형부위 질량을 0.1kg으로 가정하였을 경우)

r : 계자접속부의 반경 (0.306 m),

∴ 계자접속부의 원심력은 443.8 kg 작용한다.

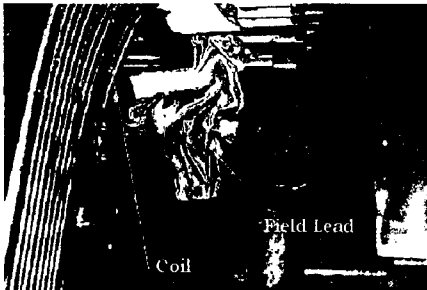
이러한 원심력은 가동될 때마다 작용하여 손상을 가속화한다.



pic.2-3 계자접속부의 손상 과정

2.1.2 발전기 내부의 내시경(Borescope) 점검 활용

최초로 내시경(Borescope)을 활용하게 된 동기는 '97.10 제4호기 가스터빈발전기의 회전자 채 권선 기간에 Retaining Ring을 분해하여 코일 단(Collector 측)의 계자접속부(Field Lead)를 점검한 결과, 그림 2-4와 같이 N, S극이 완전히 절단된 상태를 확인하고 이에 대한 영향 및 점검방법을 면밀히 검토하게 되었다.



pic.2-4 계자접속부의 손상

이와 같이 점검 방법을 모색하고자 발전기 회전자의 절연물 교체공사가 진행 중인 제4호기 가스터빈발전기의 내부구조를 점검한 결과, 발전기 하부에 위치한 고압 붓싱의 모션맨홀을 분해하여 점검자가 출입이 가능함을 착안하여 여타 발전기에 점검 방법을 적용하여 결과를 정리한 내용이다.

최근 1~2년 사이에 발생한 발전기 회전자의 계자접속부 손상은 회전자를 인출하여 Retaining Ring을 분해해야만 손상정도 및 점검이 가능하였으나, 위와 같이 회전

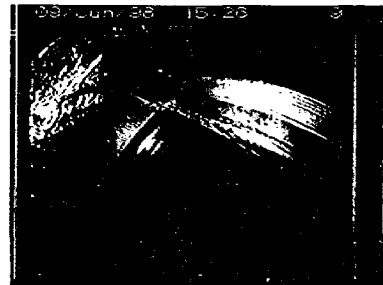
자를 미 인출 상태에서도 내시경(Borescope)으로 회전자 내부 점검을 실시할 수 있어 계획정비 또는 간이점검 시행 시에도 내부상태 점검이 가능하다.

발전기를 분해하여 회전자 인출 후 점검 가능범위는 분담전압, 절연저항, PI, Hi-Pot, 비파괴 시험, 회전자 외관(육안)점검 등을 시행 할 수 있으나, 기기의 분해조립 비용 소요과다, 점검주기 5년(Retaining Ring 분해점검은 10년)으로 변형, 손상의 조기발견이 불가능하여 정비 계획 수립에 어려움이 있다.

회전자 미 인출 상태에서 내시경(Borescope) 점검범위는 계자 내부의 계자접속부, 극간 접속선 및 코일단 절연지 상태점검이 가능하고, 발전기의 분해조립 비용 지출이 없고, 매년 계획정비시 저 비용으로 점검할 수 있어 변형 및 진행상태 확인으로 조기발견, 불시고장 예방 가능 및 정비계획 수립이 용이하며 전기적 시험의 절연 저항, PI 시험 등 일부 시험이 가능하며, 내시경을 이용하여 발전기 회전자의 계자접속부를 점검한 결과, 그림 2-5, 2-6와 같은 손상, 진행 과정을 발견 할 수 있었다.



pic.2-5 계자접속부의 손상



pic.2-6 계자접속부의 예각변형

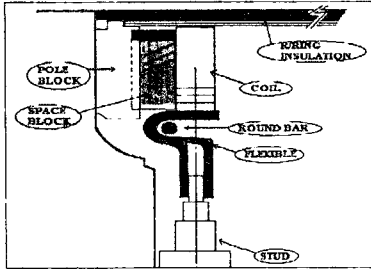
2.2 예각변형의 발생방지 구조

'97.10 제4호기 가스터빈발전기 회전자의 권선 절연물 교체 정비 차 회전자의 내부를 분해한 결과 N, S 극의 계자접속부(Field Lead)가 절단되어 원형복구 하고자 기계적, 열적, 응력에 대한 보완 대책으로 계자접속부(Field Lead)를 절연테이프(Glass Wool Tape)로 감고 절연 바니시로 처리하여 1년간 운전 후 계자접속부(Field Lead)를 내시경을 이용하여 점검한 결과, 계자접속부의 절곡 부분에 대한 근본적인 해결이 미흡하였다. 따라서 이 부분에 대한 구조적 개선을 다음과 같이 시행하였다.

2.2.1 최초 계자접속부의 구조개선

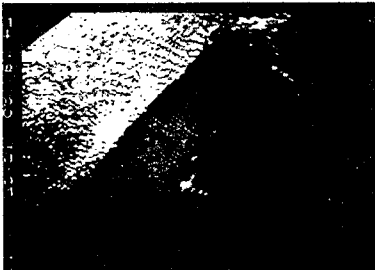
증래의 동기발전기의 회전자가 가지고 있는 계자접속부 구조로부터 발생하는 제반 문제점을 해결하기 위하여 연구한 사항으로, 동기발전기의 회전자가 기동, 운전, 정지 시 발생하는 열적, 기계적 스트레스 등의 반복 사이

클로 인한 변형(절곡)과 균열 및 발전기 회전자 가동 시 원주방향으로 발생하는 원심력에 의한 변형 등을 방지하고자 그림 2-7에서 나타낸 바와 같이 계자의 N, S 극 계자접속부(Field Lead Connector)에 곡률 반경을 유지하기 위하여 계자접속부의 절곡 부위에 절연 환봉이 결합되는 구조로 고안하였다.



pic.2-7 최초 구조개선도

그림 2-8은 상기 지지 블록의 삽입부에 결합되는 계자접속부의 절곡부 내 측으로 절연 환봉을 결합하고 6개월 동안 가동 후 내시경을 이용하여 점검한 내용이다.

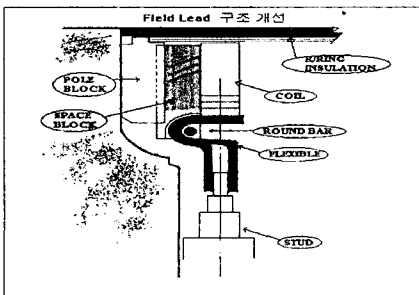


pic.2-8 최초 개선 후 점검사진

그러나, 그림 2-7에서 계자접속부를 지지(space block)하는 블록이 접속부의 절곡 부에 대한 고려 없이 평면으로 설치되어 장기간 운전할 경우에는 원심력과 수축력 등으로 절연 테이프의 이탈, 계자접속부의 변형, 절연 환봉의 이탈이 예상되어 지지 블록도 계자접속부의 형상을 고려하여 개선 시행하였다.

2.2.3 최종 계자접속부의 구조개선

계자접속부의 절곡 부위가 삽입되는 내측 삽입부를 형성하고, 삽입부의 양측에는 절연 환봉이 볼트 체결되는 절연 환봉 삽입 공으로 형성된 지지 블록을 구성하여, 절연환봉 삽입 공을 통해 삽입부에 결합되는 계자접속부의 절곡 부위 내 측으로 절연 환봉을 결합하여 동기발전기 회전자 계자접속부의 예각변형을 방지하도록 구성한 것으로 그림 2-9와 같이 시행하였다.



pic.2-9 최종 구조개선

그림 2-10는 지지 블록의 삽입부에 결합되는 계자접속부의 절곡 부 내 측으로 절연 환봉을 결합하고 8개월 동안 가동 후 내시경을 이용하여 확인한 사항이다.



pic.2-10 최종 개선 후 점검사진

이와 같은 본 계자접속부의 구조개선은 발전기의 가동 및 정지 반복에 의한 계자접속부의 예각변형 발생으로 계자접속부의 균열, 손상을 완벽하게 방지함으로써, 발전기의 불시 고장을 예방하여 원활한 전력공급이 가능토록 하였고, 특히 일일 가동, 정지 운전환경에 있는 복합화력 발전기의 불시 및 과급 정지의 예방효과가 크며, 일일 가동 정지 운전을 담당하는 복합화력의 가스터빈발전기 전 호기에 적용 시 불시 및 과급정지 예방이 가능하여 회전자의 수명을 연장하여 고장으로 인한 복구비, 지장 전력비 등의 비용이 절감되어, 경제적 과급효과가 매우 커서 실사용에 있어서 매우 유용한 획기적인 구조 개선이다.

3. 결 론

서인천복합화력발전소는 가스터빈발전기에 이와 같은 내용으로 '98부터 2호기를 시작으로 16기 중 12기를 구조개선을 시행하였다. 잔여 호기는 2001년 초까지 구조개선을 시행할 예정이다.

구조개선 완료한 발전기는 계자접속부의 예각변형으로 인한 불시정지, 과급사고가 현재까지 발생하지 않았다. 그리고 구조개선에 대한 발전기의 건전성을 확인하기 위하여 내시경을 이용하여 지속적으로 점검하여 이상 유무를 확인할 예정이다.

(참 고 문 헌)

[1] L. T. Renberg, "Detecting Faults in Turbine Generator Rotor Windings", Allis Chalmers Engineering Review, Vol.36, p p 17~21, NOV. 3 1971

[3] M. P. Jenkins, D J Wallis, "Rotor Shorted Turns; Description and Utility Evaluation of A Continuous On Line Monitor" Proceeding of The EPRI Conference On Utility Motor and Generator Predictive Maintenance & Refurbishment, San Francisco, California, 7-9 December 1993

[3] Hitachi LTD, "Modification for Daily Start and Stop Operation ", New Technology for Turbine Generator , p p 16~18, AUG. 20 1996