

발전소 고압전동기 열화 요인 분석

김경열^{1,a}, 김희동¹, 김병래¹, 공태식¹, 김병한¹, 이상길¹, 이종현¹, 최홍석²

¹ 한국전력공사 전력연구원

² 한국남동발전

A Survey of Deterioration Causes of High Voltage Motors in Power Plants

Kyeong Yeol Kim^{1,a}, Hee Dong Kim¹, Byeong Rae Kim¹, Tae-Sik Kong¹, Byong Han Kim¹, Sang Kil Lee¹, Jong Hweon Lee¹, and Hongsuck Choi²

¹ Engineering Center of KEPCO Research Institute, Daejeon 305-760, Korea

² Power Generation Management Team of KOSEP, Seoul 135-791, Korea

(Received July 14, 2011; Revised August 29, 2011; Accepted September 9, 2011)

Abstract: When the high voltage motor fails in power plants, there will be an occurrence where the generator's output would be reduced or the generators would trip. Despite of these effects, the causes of deterioration of the high voltage motor is very seldom investigated. In this paper, the collected data which tested in the field over 10 years have been treated statistically, and analyzed to correlate the insulation deterioration of high voltage motor and installation environment, number of start/stop, and service life. Moreover, the proper period of insulation test is developed to map out maintenance strategy and reduce maintenance costs.

Keywords: Motor, Stator winding, Service life, Number of start, Environment, Correlation analysis

1. 서론

고압전동기는 발전소 여러 공정에 폭넓게 사용되고 있으며, 불시고장으로 인한 파급으로 발전기 출력감발 및 정지에 따른 경제적 손실과 사회적 비난 등에 대한 우려로 국내 발전회사는 전동기 고장을 줄이기 위한 다각도의 노력을 하고 있다. 외국의 경우 IEEE 전력계통 신뢰성 소위원회 (power system reliability subcommittee) 주관으로 전압, 마력, 외함 형태, 환경 등 전동기 신뢰성에 영향을 미치는 인자들의 상관성을 광범위하게 조사하였다 [1-8]. 그러나 국내발전소의 경우 전동기 고장 원인조사가 대부분 수행되지 않거나, 고장에 대한 전동기

이력관리 부재로 인해 IEEE와 동일한 조사 수행은 할 수 없었다.

그러나 본 논문에서는 고압전동기에 대한 절연열화 평가기술이 1999년도 국내 발전소에 처음 도입된 이래 약 11년 동안 고압전동기에 대한 절연진단 시험을 수행한 시험 데이터를 활용하였다. 이들 시험데이터에 대한 통계적 분석을 수행하여 고압전동기의 운영, 설계, 제작 및 유지정비 측면에서 고려되어야 할 사항들을 제시하였다.

2. 실험 방법

2.1 시험 및 평가방법

a. Corresponding author: k2yeol@kepco.co.kr

2.1.1 고압전동기 절연진단 시험방법

정지 중에 고압전동기 고정자 권선의 교류전류, 유전 정접 및 부분방전 시험을 위해 슈어링브리지 (schering bridge), 커플링 캐패시터 (coupling capacitor) 및 부분 방전 측정기 (partial discharge detector, PDD, tettex instruments TE 571)를 사용하였다. 슈어링브리지는 전 원장치 (HV supply, type 5283), 브리지 (bridge, type 2818) 및 공진 인덕터 (resonating inductor, type 5285) 로 구성되어 있다. 그림 1과 그림 2는 그룹권선이 설치된 고압전동기에서 교류전류, 유전정접 및 부분방전 시험을 위해 절연진단 장비와 회로도를 나타내었다. 고압전동기 고정자 권선에 슈어링브리지 (tettex instruments)를 연결하여 교류전압을 인가하였으며, 커플링 캐패시터 (tettex instruments, 4,000 pF)는 권선에서 유입되는 신호를 커플링 유닛 (coupling unit, tettex instruments AKV 572)에 보내어 증폭한 후 부분방전 측정기에서 방전크기 및 패턴을 분석하였다. 부분방전 측정기의 주파수 대역폭은 40~400 kHz 이다.

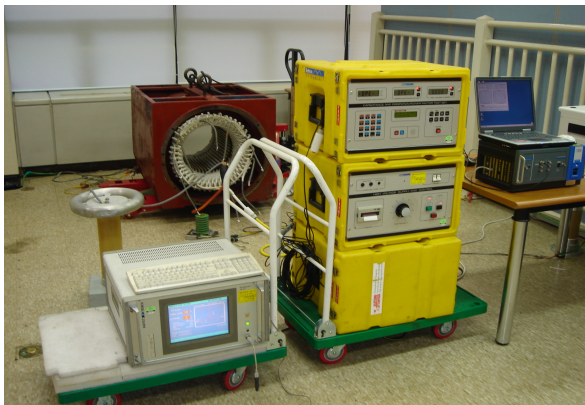


Fig. 1. The equipments of nondestructive test in 6.6 kV motor stator windings.

2.2 절연열화 판정기준

이 조사에 사용된 데이터는 국내 발전소에서 절연 진단을 수행한 7,234대의 고압전동기 대한 시험결과를 통계적으로 분석하는 방법을 사용하였다. 고압전동기 고정자 권선에 대하여 절연저항, 성극지수, 교류전류, 유전정접 및 부분방전 크기의 절연진단 항목이

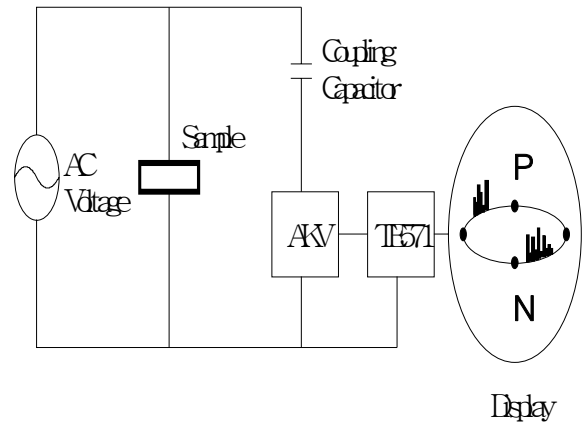


Fig. 2. Test circuit of partial discharge.

Table 1. Criteria for judging the motor stator windings.

	Rating voltage	6.6 kV
Polarization index	DC 5 kV	1.5
AC Current ΔI [%]	E	8.5
DF $\Delta \tan \delta$ [%]	E	6.5
Partial Discharge Magnitude[pC]	$E/\sqrt{3}$	10,000

Table 2. Assessment criteria of insulation condition in motor stator windings.

condition	Assessment criteria
good (A)	values of ac current, $\Delta \tan \delta$ and partial discharge magnitude are good
careful attention (B)	in the case of that two items of ac current and $\Delta \tan \delta$ and partial discharge magnitude exceed assessment criteria
inspection (C)	partial discharge magnitude exceeds 10,000 pC in phase voltage and $\Delta \tan \delta$ decrease in comparison to the initial value in the $\tan \delta$ -voltage characteristics
reinforced insulation (D)	slot partial discharge activity and partial discharge magnitude exceed 10,000 pC
significant insulation deterioration (E)	values of ac current, $\Delta \tan \delta$ and partial discharge magnitude are poor or $\Delta \tan \delta$ increased by more than 20% of its initial value including case of inter-strand short circuit

포함되었다. 절연진단 시험은 고압전동기 정격전압까지 인가하기 때문에 먼저 절연저항과 성극지수를 측정하여 권선의 흡습여부를 확인하였다. 실제로 절연

Table 3. Insulation test data of past year.

Test Results	A	B	C	D	E	Total
'99~'09	6,029	732	239	83	151	7,234
Percent[%]	83.3	10.1	3.3	1.2	2.1	100

저항과 성극지수가 낮게 측정되면 정격전압까지 고전압을 인가할 경우에 절연파괴가 발생할 수 있다. 고정자 권선의 절연열화 판정은 교류전류, 유전정접 및 부분방전 크기 등을 종합적으로 분석하여 표 1과 2와 같은 기준에 의해 평가하였다 [9-12].

표 3에 나타난 바와 같이 총 7,234대의 고압전동기 데이터 중에 양호 6,029대, 요주의 732대, 분해점검 239대, 절연보강 83대 및 권선교체 151대로 분석되었다. 절연보강은 빈번한 기동정지로 인해 고압전동기 고정자 권선 표면이 마모되어 철심 사이에서 틈이 발생하는데, 인가전압이 증가하면 이 틈에서 발생하는 부분방전이 기준값 보다 높게 나타날 경우에 공장으로 반출하여 절연보강 작업을 마치면 레진유입으로 인해 부분방전 크기가 감소하게 되는 경우를 말한다 [10].

3. 결과 및 고찰

표 4는 요주의로 판정된 고압전동기 732대를 국내의 제작사별로 분류하여 나타내었으며, 전반적으로 국내의 제품에 뚜렷한 품질차이는 보이지 않았으나, 특정 회사의 제품은 국내 타사 제품 보다 설계과정 및 제작과정의 공정차이에 의한 품질의 차이를 보였다. 그러나 국내사 제품 중 과도하게 품질저하가 나

Table 4. Insulation feature classified by makers.

makers	domestic A	domestic B	domestic C	foreign
Number of test	3,110	2,315	1,013	796
Number of failures	589	72	45	26
Failure rate(%)	18.93	3.11	4.44	3.26

Table 5. Insulation faulty ratio classified by years.

year	Number of failures	Failure rate(%)	Number of test
'99~'05	102	2.54	4,014
'06~Present	47	1.46	3,220

Table 6. Analysis according to the Installation environment.

Environment	Number of test	Number of failures	Failure rate(%)
dust	228	81	35.6
sea water	185	46	24.9
normal	219	10	4.6
moisture air	185	17	9.2

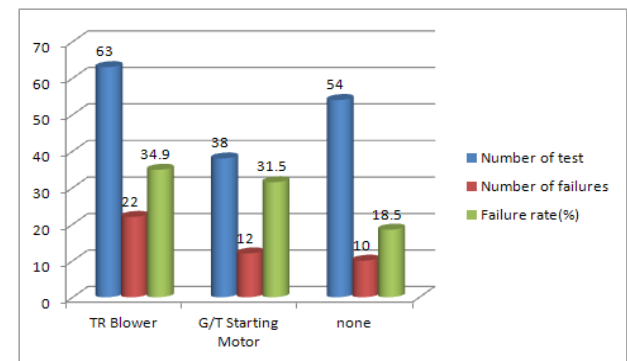


Fig. 3. Analysis according to the number of start/stop.

타나는 현상은 표 5에서 알 수 있듯이 과거 기술 도입 및 정착 단계에서 일시적으로 발생한 현상으로 보인다 [10].

표 5는 년도별 고압전동기 불량률을 나타내었으며, 1999~2005년까지 고압전동기 4,014대 중에 102대가 고정자 권선 절연열화로 판정되었고 2006~현재까지 3,220대 중에 47대가 절연열화로 판정되어 권선교체를 권고하였다. 불량률이 감소한 주요한 이유는 고압전동기 고정자 권선의 제작품질과 절연재료 개선으로 불량률이 1.08% 감소한 것으로 판단된다.

표 6은 고압전동기가 설치된 환경에 따른 불량률을 분석하였다. 일반적인 위치에 설치된 전동기는 평균 4.6%의 불량률을 보이고 있으며, 설치환경이 분진지역

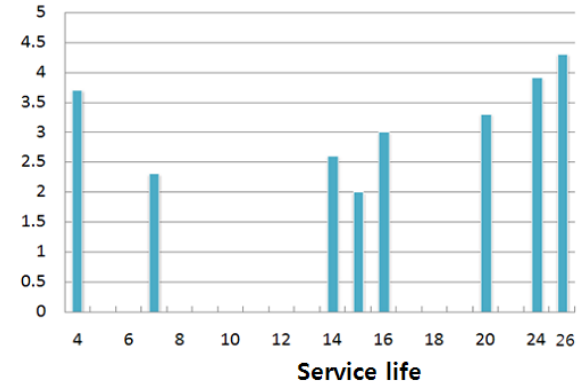
Table 7. Analysis according to the service life.

Service life	0-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30
Number of test	1,294	1,261	1,094	1,150	1,261	1,174
Number of failures	4	15	31	56	35	10
Percent[%]	0.30	1.18	2.83	4.87	2.77	0.85

이거나, 해수에 가까운 지점에 설치된 고압전동기의 절연열화가 4-7배 이상 높게 분석되었다. 일반적인 환경에 설치된 전동기는 외부환경에 노출이 되지 않으므로 상대적으로 낮은 것으로 분석되었다.

그림 3은 전동기 일일 기동정지횟수에 따른 불량률을 분석하여 나타내었다. 화력발전소 설비 중 일일 기동정지 횟수가 최대 3-4회인 TR blower, 복합발전소의 경우 G/T starting motor의 불량률이 각각 34.9%, 31.5%로 다른 전동기의 평균 불량률 18.5%에 비해 2배 정도로 높게 나타났으며, 전동기 기동/정지에 의해 절연재의 스트레스 (stress)가 큰 것으로 판단되었다.

표 7은 고압전동기 권선교체로 판정된 151대를 5년 단위로 묶어 사용년수에 따른 절연열화 특성을 분석하였다. 사용년수가 6년 이상된 전동기부터 서서히 열화가 나타나기 시작하였다. 11~15년부터 증가세가 뚜렷하게 나타났으며, 16~20년 이상이 되면 56대로 급증하였다. 21년 이후 점차 감소되는 현상은 고장 또는 절연열화에 따라 전동기 재권선 작업을 수행함으로써 전동기 절연재를 초기상태로 되돌려 놓았기 때문에 불량률이 작은 것으로 판단되었다. 따라서 사용년수가 11년에서 25년 사이의 불량대수가 80.6%이며, 11~25년 경과된 전동기 절연물 열화가 크게 발생되고 있는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 화력발전소에서 두드러지게 나타나는 현상이며, 원자력발전소는 그림 4에서 나타낸 바와 같이 화력발전소에서 분석한 결과와 비슷하지만 화력에 비해 평균적인 불량률이 2.5%로 대략 8배 정도 현저하게 낮게 절연열화가 나타났다. 따라서 발전회사는 이 통계결과를 활용하여 전동기 절연진단을 매년 수행하던 방식에서 벗어나, 사용년수가 11년 이하와 12~20년 사이의 경우로 차별화하여 전동기 절연열화 진단시험 주기를 달리함으로써 발전소 정비비용을 감소시킬 수 있는 효과를 얻을 수 있다.

Failure rate**Fig. 4.** Analysis according to the service life in nuclear power plant.

4. 결론

본 논문은 국내에서 처음으로 고압전동기에 대한 절연열화 원인을 밝히려는 시도였으며, 전동기의 신뢰성을 높이기 위해서는 산업체별 분석과 고장원인 조사 필요성이 대두되고 있다. 고압전동기 불시정지를 예방하기 위해서는 사용년수를 기준으로 하여 12~15년 이하인 경우에는 진단주기를 5년 이상으로 관리하는 것이 인력운영 및 발전원가 절감에 효과적이다. 그리고 12~15년 이상인 경우에는 절연진단 시험주기를 2~3년으로 시행하는 정비전략을 도출할 수 있었다. 또한, 발전소 고압전동기 절연열화 상관관계를 분석한 결과에서 알 수 있듯이 고압전동기 절연열화에 영향을 미치는 인자는 설치환경이 해수지역과 분진지역인 경우 절연열화가 가속되었다. 빈번한 기동정지횟수는 절연재 수명을 단축시키고, 제작사 설계기술 및 제작 공정 등도 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

REFERENCES

- [1] K. Kimura, T. Iwabuchi, K. Morooka, and Y. Ishikawa, *IEEE Proc. 19th Electrical Electronics Insulation Conference ('89EEIC/ICWA Exposition, 1989)* p. 295.
- [2] A. H. Bonnett, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, **37**, 1120 (2001).
- [3] O. V. Thorsen and M. Dalva, *IEEE Trans. Ind.*

- Appl.*, **35**, 810 (1999).
- [4] A. H. Bonnett and G. S. Soukup, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, **28**, 921 (1992).
- [5] Electric Power Research Institute, “*Electric Motor Predictive and Preventive Maintenance Guide*” (Project 2814-35 Final Report, 1992)
- [6] IEEE Committee Report, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, **IA**, 853 (1985).
- [7] IEEE Committee Report, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, **IA**, 865 (1985).
- [8] IEEE Committee Report, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, **IA**, 153 (1987).
- [9] H. Yoshida and K. Umemoto, *IEEE Trans. Elec. Ins.*, **EI**, 1021 (1986).
- [10] H. D. Kim, Y. H. Ju, T. S. Kong, Y. J. Lee, and C. H. Kim, *Ministry of Commerce, Industry and Energy*, (R-2004-0-160-01), 2007.
- [11] G. Stone and J. Kapler, *IEEE Industry Applications Magazine*, **4**, 15 (1998).
- [12] H. D. Kim, *Trans. KIEE*, **58**, (2009).