

## 대용량 고압전동기 상시 절연감시시스템 적용과 분석

정진관\*, 이경배\*, 안재후\*, 김종겸\*\*  
한국수자원공사\*, 강릉원주대학교\*\*

### Application and Analysis for Insulation Monitoring System of Large-capacity High-voltage Motor

Jin-Gwan Jeong\*, Gyeong-Bae Lee\*, Hu-Jae An\*, Jong-Gyeum Kim\*\*  
Korea Water Resources Corporation\*, Kangnung-Wonju National University\*\*

**Abstract** - 21세기는 이산화탄소 저감에 대한 관심이 집중되어 다양한 에너지 효율향상 기술을 개발하는 환경의 시대에 살고 있다. 대용량 고압전동기는 운영에 따른 절연파괴가 발생할 경우 생산성에 영향을 크게 주기 때문에 기기 성능의 유지를 위한 적절한 상태의 유지보수가 중요하다. 따라서 효율적인 운영관리를 위해서는 절연상태 인자들에 대한 정확한 분석이 수행되어야 한다. 대용량 고압전동기의 절연상태를 예측하기 위해 상시 절연감시 시스템을 대용량 고압전동기에 적용하여 절연상태를 실시간으로 파악함으로써 기기 예방보전의 신뢰성을 확인하였다.

#### 1. 서 론

수도권광역상수도 용수공급량은 취수원인 팔당호에서 서울시를 포함한 수도권 25개시 일원에 급수인구 2,300만중에 1,000만명에 게 일평균 3,600천m<sup>3</sup>(시설용량 8,155천m<sup>3</sup>) 공급하고 있으며, 수도권 전 지역에 분포해 있는 24개 사업장을 통해 수도권 시민들에게 안정적인 용수공급에 매우 중요한 역할을 담당하고 있다.

팔당1,2,3취수장은 대용량 고압전동기 총42대(2,680~5,100HP)를 운영관리하고 있으며, 특히 1,2취수장의 경우 '78~'92년 설치이후 16~20년이 경과되어 표 1와 같이 전동기 내용 연수인 15년을 초과한 상태로 운영관리하고 있다. 3상 유도전동기는 구조가 간단하고 견고하며, 보수에 시간이 걸리지 않고 오랜 시간 동안 사용할 수 있는 장점이 있으나, 전동기 사용방법이나 점검·보수에 결함이 있으면 여러 가지 고장을 일으켜 수명이 단축된다[1]. 전동기는 10년 이상 경과하면 운전시 전자력에 의한 주요 부품의 열화가 진행되어 전자력에 의한 coil 움직임 발생 등에 의해 절연파괴 고장이 발생하게 된다. 분해점검 및 절연 진단을 통한 주요부품의 건전성 평가에 의거 절연보강을 실시하면 전동기의 수명을 연장할 수 있으며, 보전비용의 저감을 기대할 수 있다. 그러므로 전동기의 정지 중에 실시할 수 있는 방법(off-line법)과 운전 중에 실시할 수 있는 방법(on-line법)을 병행하여 절연열화 등에 의한 전동기 사고를 사전에 예방하고, 효율적인 전동기 운영관리 방안을 수립하고자 한다.

**〈표 1〉 내용연수**

구분	내용연수 제작년도	10년 이내			15년 이내			20년 이내			25년 이내	30년 이내	계	
		'03	'02	'98	'97	'96	'95	'93	'92	'91	'88	'87		'78
팔당1(취)		-	1	-	2	3	3	-	5	2	-	1	1	18
팔당2(취)		1	-	-	-	-	-	1	3	3	6	-	-	14
팔당3(취)		-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
계		1	1	10	1	3	3	1	8	5	6	1	1	42

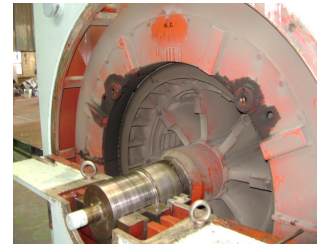
#### 2. 본 론

##### 2.1 현황

'08.4월 팔당2취수장 9호기가 고장이 발생, 공장 반입하여 분해 후 베어링 및 회전자의 전반적인 외관 상태를 점검하였다. 고정자 권선측에 그림 1과 같이 먼지가 다량 흡착되어 권선표면의 오염이 심한 상태이고, 그림 2과 같이 부하측 frame 바닥에 다량의 오일이 누유된 상태였다. 또한, rotor bar와 end ring간 용접 부위는 그림 3과 같이 25개소가 균열 손상되었으며, 전동기 부하측 베어링은 축과의 금속간 마찰로 babbitt(metal 베어링 내경면) 면이 거칠어져 있으며, 반부하측 베어링은 축과의 마찰로 그림 4과 같이 babbitt 면이 거칠어진 상태로 양측 모두 연마(scraping) 작업이 필요한 상태였다.



〈그림 1〉 고정자 권선 먼지 흡착정면



〈그림 2〉 Frame 오일 누유된 장면



〈그림 3〉 Rotor Bar 크랙 장면



〈그림 4〉 베어링 Babbitt면 긁힌 장면

##### 2.2 입고 검사

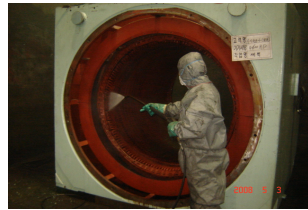
고정자 권선측에 다량의 먼지 유입으로 인한 오염이 심각한 상태였으며, wedge 이탈, 부하 및 반부하측 oil seal 손상으로 인하여 oil이 내부로 유입되었음을 확인하였다. 전기적 검사에서는 고정자 권선의 절연저항 및 권선저항은 기준치 이내로 양호한 상태이며, 기계적 검사에서도 Journal(metal 베어링과 shaft가 조립되는 부분) 및 베어링의 gap도 부하측 370~440mm 및 반부하측 275~460mm로 측정되어 기준치인 524~616mm 이내에 포함되어 양호한 것으로 확인하였다. 또한 rotor bar와 end ring간 용접부위 25개소 균열은 기동시 회전자 도체는 표피효과에 의하여 도체 상부와 하부간에 전류밀도 차이로 미세한 휨 현상에 의한 것으로, end ring과 도체간의 용접 부분에 가해지는 응력, 운전시 회전자 도체와 end ring의 열팽창에 의한 용접 부위에 가해지는 응력, 원주 안지름 방향으로 작용하는 전자력과 원주 바깥지름으로 작용하는 원심력의 합성응력 등과 같은 반복 응력에 의해 용접 부위가 피로에 의해 균열 손상된 것으로 분석되었다. 또한, 통풍, 닥트부가 막힌 부분이 있는지, 스카이드의 크랙이 있는지를 조사하였으나 크랙이나 다른 이상은 없는 것으로 확인되었다.

##### 2.3 절연보강

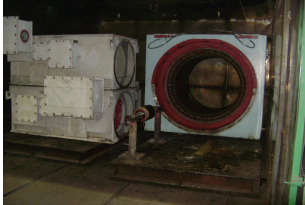
크랙이 발생한 25개소는 이물질 제거 후 은납분(B-CUP5)을 사용하여 용접처리 하고, 절연보강 작업을 시작하였다. 온수를 사용, 2kg/cm<sup>2</sup> 압력으로 그림 5과 같이 회전자 세척과 유분 및 이물질 제거를 위해 그림 6과 같이 고정자 권선 세척을 ss-25 세척제로 4~5시간 1차 세척과 30~40℃되는 미온수로 2시간 정도 2차 세척을 실시하였다. 고정자 권선의 건조를 위해 그림 7과 같이 건조로에서 110~130℃에서 44시간 가량 건조하였으며, 인출 후 상온상태에서 4시간 냉각하고 그림 8과 같이 함침을 실시하였다. 함침은 건조로에서 상온 냉각 후 함침기내 진공 상태에서 절연 니스 통에 담금을 한 것으로 1~2시간 정도 소요 되었다. 고정자 권선 2차 건조를 위해 건조로에서 110~130℃에서 26시간 건조작업을 통해 바니시 함침 후 바니시를 굳히는 작업을 실시하였다.



〈그림 5〉 회전자 세척장면



〈그림 6〉 고정자 권선 세척장면



〈그림 7〉 고정자 권선 세척 후 건조장면



〈그림 8〉 고정자 권선 합침장면

## 2.4 진동 및 소음

전동기 절연 보강 후 현장에 반입하여 설치 후 balancing 및 시운전을 실시하였다. 정상부하 운전 중 진동발생을 측정할 결과는 표 2와 같이 펌프와 전동기 진동상태는 양호한 상태이며, 진동속도, 진동변위가 기준치 이내로 정상으로 판정되었다. 또한, 진동 변화 및 축 정렬 불량에 의한 이상 진동은 없었다.

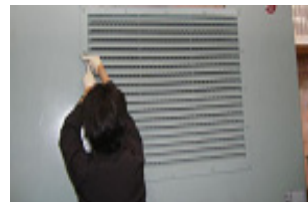
〈표 2〉 정상부하 운전 중 진동발생 현황

구분	전동기 NDE		전동기 DE		펌프 I/S	
	mm/s	μmppk	mm/s	μmppk	mm/s	μmppk
Vertical	0.3	11.0	0.3	11.8	1.8	5.4
Horizontal	1.1	8.2	0.7	6.9	2.8	5.3
Axial	0.8	15.2	0.9	13.2	2.8	5.4

소음은 크게 통풍음, 전자기음, 기계음으로 분류하고 있는데, 현장에서 다른 전동기와 동시에 가동하고 있어 어느 정도 공진현상이 있을 것으로 판단을 하였으나, 주기적으로 일정하게 이상음이 발생하여 확인한 결과 그림 9와 같이 명판의 떨림 및 그림 10과 같이 공기 흡입구의 볼트가 이완되어 일어난 현상으로 조립 후 소음이 발생되지 않았다.



〈그림 9〉 명판 고정 장면



〈그림 10〉 공기 흡입구 볼트 조임 장면

## 2.5 절연보강 결과

절연보강전의 측정값은 고정자 coil의 흡습, 도전성 먼지 등의 유입으로 인해 다소 낮은 특성을 나타냈으나, 절연보강 후 측정된 결과 표 3와 같이 교류전류(절연물 표면에서 누설되는 전류)와 부분방전(절연물내의 공극, 크랙 등의 결함에 의해 발생) 등 전체적으로 개선된 것으로 확인되었다.

〈표 3〉 절연보강 전·후의 측정값

구분	권선저항 (mΩ)	절연저항 (GΩ)	성극지수 (P·I)	교류전류 ΔI(%)	유전전계 Δεr(%)	부분방전 (pC)
판정기준	편차<5%	>0.1	>2.0	<8.5	<6.5	<10,000
보강전('07.4.10)	-	0.96	4.47	7.45	4.2	3,000
보강후('08.5.21)	-	4.48	5.58	6.41	4.1	2,500

## 2.6 On-line 절연감시시스템 적용

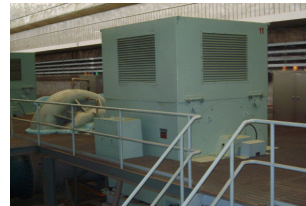
### 2.6.1 개요

수도사업장에서는 조압수조(STL) 수위 및 관압 관리를 위해서 고압 전동기의 빈번한 기동정지 및 장기운전으로 인한 고정자 권선의 열화 현상이 심화되어 돌발사고 발생 가능성이 상존하고 있다. 펌프 구동용 고압전동기 기기의 신뢰성에 직결되는 문제가 발생할 수 있으므로, 현재 국내에서 시행하고 있는 고압전동기 진단은 대부분 off-line 방법으로 시행하고 있다. 기기 진단을 위

한 고압전동기의 해체 및 조립에 따른 비용이 발생함으로써 off-line 진단에 따른 경비가 발생하고 있다. 따라서 off-line 진단에 따른 경비절감을 위해서는 사고 발생 전 이상상태를 실시간으로 감지하여 고압전동기의 수명연장과 운전의 신뢰성과 안정성을 확보해야 한다.

### 2.6.2 상시 절연감시시스템 현장 적용

팔당2취수장 4단계 2대(11,13호기)의 고압전동기를 대상으로 '07.5.28~5.30까지 총3일간 그림 11~14과 같이 설치하고, '07.6월부터 설치 후 10월 중순까지 고압전동기 운전 중 data를 취득하였다. 상시 절연감시시스템의 상태 관정은 각각의 파라미터 추이를 관찰함으로써 정상/경고/이상 등의 상태를 판정하며, 부분방전시스템의 상태 판정은 정량적인 값 또는 양을 기준으로 판단하는 것이 아니라 진단 파라미터의 변화 추이 및 경향을 보고 판정하기 위한 것이다.



〈그림 11〉 팔당취 11호기 전동기 설치장면



〈그림 12〉 접촉식 센서 설치장면



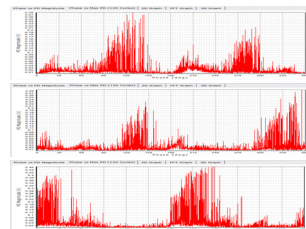
〈그림 13〉 PDMS-HM 설치장면



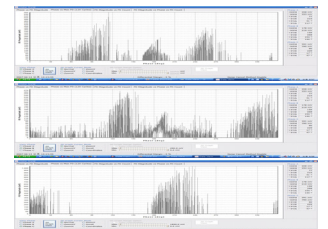
〈그림 14〉 모니터링시스템 설치장면

### 2.6.3 시험 결과 (PDAS & PDMS-HM)

11호기 및 13호기에 상시 절연감시시스템을 설치하여 데이터를 취득, 분석한 결과 그림 15, 16과 같이 기기에 특이사항 및 이상현상이 발견되지 않았다[2]. On-line 절연 진단 시스템은 전동기를 분해점검이나 중지 없이 운전 중에도 측정이 가능하며, 상시 상태감시 진단을 통한 사고예방이 가능할 것으로 판단된다.



〈그림 15〉 11호기 PDAS



〈그림 16〉 11호기 PDMS-HM

## 3. 결 론

팔당2취수장에 대용량 고압전동기 On-line 절연감시시스템의 적용을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 주기적인 전동기 절연 진단 측정결과에 의한 상태 파악과 절연보강을 통한 유지보수로 기기의 수명 연장이 가능하다.
- On-line 절연감시시스템은 상시 상태감시 진단과 무인사업장 원격감시로 절연상태를 실시간으로 파악함으로써 예방보장이 가능하다.
- 내용 연수 15년 이하인 고압전동기 절연 진단 주기는 5년에 1회 실시함이 적절한 것으로 판단되나, 15년 이상 초과시 진단주기를 단축하여 정밀진단을 실시함이 필요하다.

### [참 고 문 헌]

- 김종겸, "일반 및 고효율 유도 전동기의 특성비교 해석", 대한전기학회논문지, 56(P), No.4, pp. 186-190, 2007.12
- (주)인텍씨엔아이, "구매조건부신제품개발사업 최종보고서(펌프용 고압전동기 On-line 절연진단시스템)", pp. 54, 2007.12