

고압유도전동기용 기동리액터의 절연진단

이은춘*, 김태호*, 변일환*, 이은웅**
 *:한국수자원공사, **:충남대학교

Insulation Analysis of Starting Reactor for High Voltage Induction Motors

Eun-chun Lee, Tae-Ho Kim, Il-Hwan Buyn, Eun-Woong Lee
 Korea Water Resources Corporation, ChungNam National University

Abstract - Since the starting reactor used for reducing inrush current of high voltage induction motor applies an electric current only when it is at the stage of transition, it gets lots of electrical or mechanical stress. In this aspect, the reliability on the starting reactor is very important because the reactor-relating-accident takes 80% of all the accident concerned with high voltage motor starting panel.

In this study, we conducted an insulation test of starting reactor of high voltage induction motor of intake pumping station to the Seoul area. And the result from this study was used as data for determining whether it's still usable or not.

1. 서 론

대용량 고압유도전동기의 기동전류 저감용으로 이용되는 기동용리액터는 기동초기 과압상태에서만 통전되므로 전기적, 기계적 스트레스를 많이 받는다. 그러므로 고압전동기용만 사고중 리액터 소손사고가 80%이상을 점유하므로 기동용리액터의 신뢰성은 대단히 중요하다.

본 연구에서는 수도권 일원에 용수를 공급하는 팔당취수장의 고압유도전동기용 기동리액터에 대하여 절연진단을 실시하고, 절연열화 상태에 따라 계속사용 및 교체 등의 의사결정 자료로 활용하였다.

2. 절연진단

2.1 절연진단 대상 및 방법

절연진단 대상은 팔당3취수장의 고압전동기용 기동리액터(Mold Type, 3.3kV, 5,979kVA) 14대를 실시하였고, 진단방법은 IEEE Std 43의 최전기 시험기준에 준하여 현장에서 실시하였다.

본문에는 종합진단결과에서 양호(#2호기)와 불량(#5호기) 판정을 받은 표 2.1의 기동리액터를 대상으로 진단결과 값을 상호 비교할 수 있도록 하였다.

<표 2.1> 절연진단 대상 기동리액터 정격

구분	정 격					절연계급	제작년도
	용량(kVA)	전압(kV)	Tap(%)	단자전압(V)	단자전류(A)		
2호기	5083	6.6	80/75/70	760/953/1143	1897/1778/1660	B	'02.
5호기	5979	6.6	80/65/50	762/1334/1905	1839/1494/1150	B	'98.

2.2 각종 시험결과

2.2.1 권선저항시험(Winding Resistance Test)

권선의 층간단락 및 단선상태를 파악하거나 권선이 병렬로 되어 있는 경우 회로의 개방이나 연결점의 접촉저항여부를 검출하기 위하여 시행한다. 한편 권선은 온도에 따라 그 저항값이 변하기 때문에 측정결과를 식(2.1)과 같이 기준온도(20℃)의 값으로 환산해야 한다.

$$R_s = R_t \left(\frac{t_s + k}{t_t + k} \right) \quad (2.1)$$

여기서, R_s : 기준온도에서의 권선저항[Ω], t_s : 기준온도 [℃]

R_t : 측정온도에서의 권선저항[Ω], t_t : 측정온도 [℃]

k : 재료에 따른 특성상수(동도체 : 234.5, 알루미늄 도체 : 225)

본 시험에서는 기동리액터 X,Y,Z 각상과 TAP(80%,65%,50%)별 권선저항을 측정하고 20℃로 환산하여 3상 평균값과 각 상의 편차 비교값을 표 2.2에 나타냈다.

<표 2.2> 권선저항 측정결과(제2, 5호기)

구분	Tap	65%			80%			측정조건
		측정치(mΩ)	20℃ 환산치(mΩ)	편차 [%]	측정치(mΩ)	20℃ 환산치(mΩ)	편차 [%]	
2호기	X	4.57	4.60	-0.86	3.91	3.93	0.17	온도: 18.2℃ 습도: 38.0% 5%이하
	Y	4.65	4.68	0.86	3.95	3.97	1.19	
	Z	4.61	4.64	0.00	3.85	3.87	-1.35	
5호기	X	13.32	13.43	23.89	11.12	11.21	37.26	
	Y	9.62	9.70	-10.51	6.67	6.72	-17.71	
	Z	9.32	9.39	-13.37	6.52	6.57	-19.55	

2.2.2 절연저항시험(Megger Test)

절연체에 전압을 인가하였을 때 전류가 전혀 흐르지 않는 이상적인 절연체는 존재하지 않고, 내부이온 또는 표면이온을 따라 어느 정도의 전류가 흐르게 되는데 이 인가전압에 대한 전류의 비가 절연체가 갖는 절연저항 값으로 MΩ 단위이다.

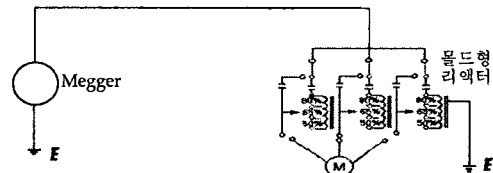
절연체에 인가되는 시험전압은 주로 DC 500-10,000V 정도이며, IEEE Std 43-2000에서 추천하고 있는 최소 절연저항 기준은 표 2.2와 같고 측정회로도도 그림 2.1과 같다.

<표 2.3> 최소 절연저항 기준

최소절연저항(MΩ)	시료의 종류
$IR_{1min} = kV+1$	·1970년 이전에 만들어진 대부분의 권선 ·아래에 포함되지 않은 기타 기기
$IR_{1min} = 100$	·1970년 이후 제작된 AC 권선
$IR_{1min} = 5$	·1kV이하의 form-wound coil(평각도체) & random-wound stator coil(에나멜코일)

주) 1. IR_{1min} : 40℃에서 최소 절연저항

2. kV : 기기의 단자간 정격전압(실효치)



<그림 2.1> 절연저항 측정회로도

기동리액터 절연시험을 실시 할 때는 제어회로나 선로와 분리시켰으며, 삼상을 일괄하여 2,500V를 1분간 인가한 후 절연저항을 측정하였다. 각 측정치에 대한 온도환산(40℃) 결과는 표 2.4와 같다.

<표 2.4> 고압전동기 절연저항시험결과

구분	40℃환산결과(MΩ)	측정치(1분값)(MΩ)	환산계수	측정조건	
				온도(℃)	습도(%)
2호기	5,830	26,420	0.22068	18.2	38.0
5호기	993	4,596	0.21613	17.9	44.0

2.2.3 직류전류시험(Polarization Index Test)

절연물에 직류전압을 인가했을 때의 전류-시간 특성으로부터 절연물의 흡습, 도전성 불순물의 혼입, 오손 및 절연물의 결합 등 절연체의 상태를 판정하는 시험으로 성극지수(P-I) 시험으로 통용된다. 성극지수는 성극비로서 시료의 흡습 및 오손등의 열화상태를 판정하는 자료로 활용되며, 식(2.2)과 같다.

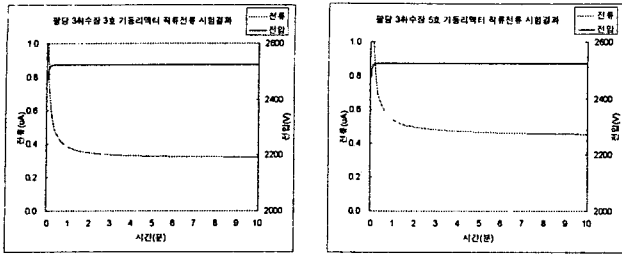
$$\text{성극비}(P.I) = \frac{\text{전압인가 1분후의 전류}}{\text{전압인가 10분후의 전류}} \quad (2.2)$$

IEEE Std 43-2000에서 성극비 최소값을 제시하고 있으며, 절연계급 A종은 1.5이고 B, F 및 H종은 2.0이상을 추천하고 있다.

본 시험에서는 기동리액터 3상 일괄로 단자와 접지측 사이에 직류 2,500V를 인가하여 1분과 10분의 전류를 측정하였고, 시험결과는 표 2.5 및 그림 2.2와 같다.

<표 2.5> 기동리액터 직류전류 시험결과

구분	측정전류(μA) 1분값	측정전류(μA) 10분값	P.I	측정조건	
				온도(℃)	습도(%)
2호기	0.09553	0.04499	2.12	18.2	38.0
5호기	0.54940	0.45530	1.21	17.9	44.0

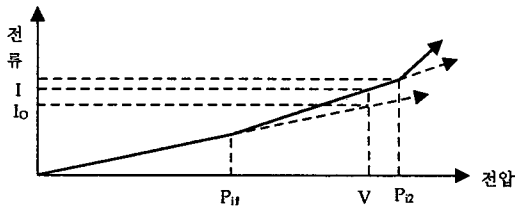


<그림 2.2> 직류전류 시험결과 그래프

2.2.4 교류전류시험(AC Current Test)

교류전압을 인가하였을 때에 흐르는 전류와 전압의 관계, 즉 I-V 특성으로부터 절연상태를 조사하기 위한 시험이다. 교류전압을 절연물에 인가하면 전압상승에 비례하여 충전전류가 증가하며 이때 절연층내에 Void등의 결함이 존재하여 부분방전 현상이 발생하게 되면 미소공극을 단락시켜 충전전류가 급격히 증가한다. 이러한 전압 및 전류 급증으로부터 절연물의 흡습 및 열화의 정도, 또는 부분방전 발생등을 진단할 수 있다.

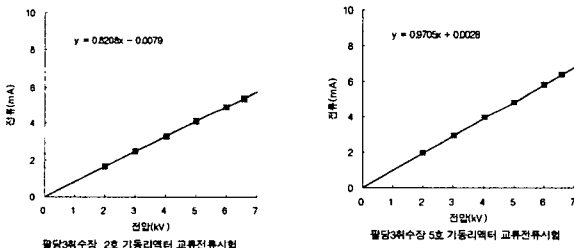
그림 2.3은 절연체에 교류전압을 인가하였을 때의 전류-전압특성을 나타내며, 인가전압이 높아져서 부분방전현상이 발생하면 전류는 전압에 비례하지 않고 변곡점을 형성하며 급증하게 된다.



<그림 2.3> 교류 전류-전압특성

교류전류-전압 특성에 있어서 측정된 전류절대치는 많은 차를 보이기 때문에 일반적으로 식(2.3)의 전류증가를 ΔI를 사용하며, 측정결과를 그래프로 나타내면 그림 2.4와 같다.

$$\Delta I = 100 \times \frac{I - I_0}{I_0} (\%) \quad (2.3)$$

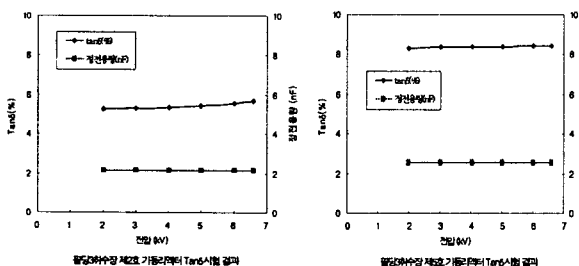


<그림 2.4> 교류전류-전압 특성시험 결과 그래프

2.2.5 유전정접(tanδ)시험(Dissipation Factor Test)

유전체 절연물에 교류전계를 가할 때는 일반적으로 누설전류, 유전분극 및 부분방전에 의한 유전체 역률(Dissipation Factor) tanδ에 따라 유전손이 발생한다. 유전정접시험으로부터 흡습, 오손, 미소공극 유무 등의 절연상태 및 열화정도를 추정한다.

기동리액터 권선을 3상 일팔로 단자와 대지간에 2kV 부터 1kV 간격으로 정격전압까지 교류전압을 인가하여 접지를 통해 흐르는 손실량을 측정 한 결과는 그림 2.5와 같다



<그림 2.5> 유전정접 시험결과

<표 2.6> 유전정접시험 결과

호기	tanδ(%) at 2kV	Δtanδ(%)	측정조건		비고
			온도(℃)	습도(%)	
2호기	5.29	0.39	18.2	38.0	
5호기	8.30	0.14	17.9	44.0	

2.2.6. 부분방전시험(Partial Discharge Test)

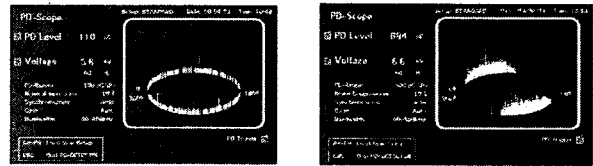
최대부분 방전량(Qmax)을 절연물내의 국부적인 열화검출 수단으로 이용하며, 일반적으로 절연열화가 진행되면 방전전하가 커지고 방전 발생 갯수(빈도) 또한 증가하여 Qmax 가 커지면 절연과피전압이 저하되는 관계를 이용해서 절연열화의 정도를 판단한다.

전동기 고정자 권선을 3상 일팔로 단자와 대지간에 교류전압 E0(3.8kV) 및 E(6.6kV)를 인가하여 최대 부분방전량(Qmax)을 측정하고, 부분방전 개시전압과 전압 하강시 부분방전 소멸전압, 그리고 전압인가 시간에 따른 부분방전 형태의 시험결과를 표 2.7, 그림 2.6 및 2.7과 같다.

<표 2.7> 부분방전시험 결과

호기	Back Noise (pC)	최대부분방전량 (Qmax)			개시전압 (전압↑)	소멸전압 (전압↓)	비고
		3.8kV	4.5kV	6.6kV			
2호기	100	110	511	684	-	-	
5호기	60	58.8	61.9	5,300	5.0	4.5	

주)온,습도는 Δtanδ측정조건과 동일. 부분방전개시전압: 1,000pC기준



(a) Qmax at 3.8kV

(b) Qmax at 6.6kV

<그림 2.6> 2호기 부분방전량 측정그래프

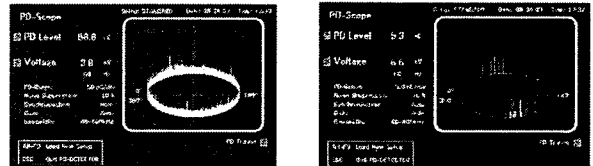


그림 1-23 Qmax at 3.8kV

그림 1-24 Qmax at 6.6kV

<그림 2.7> 5호기 부분방전량 측정그래프

3. 절연진단 결과 분석

- (1)직류시험(권선저항,절연저항,성극지수)은 시험대상 모두 양호한 결과를 나타내었으나 5호기의 경우 권선저항의 불평형이 심할 뿐만 아니라 절연저항 값이 낮게 측정되었다. 따라서 5호기의 경우 내부권선과 탭(Tap)사이의 연결부위에 단선 등의 이상이 있는 것으로 추정되며, 현재 운영 Tap(80%)에서 최대편차가 37.26%로써 층간단락 등의 징후로 판단된다.
- (2)교류전류시험에서는 2, 5호기 각각 전류 급증점(제1변곡점, P1)은 나타나지 않았으며, 유전정접시험에서도 흡습, 오손정도를 나타내는 tanδ가 작게 나타났다.
- (3)부분방전시험의 경우 정격전압(6.6kV)을 기준으로 2호기는 684pC으로 양호하나, 5호기는 5,300pC으로 높게 나타나 절연체 내부에 다소 큰 기포(Void)가 존재하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

팔당취수장의 고압유도전동기 기동용리액터 14대를 대상으로 절연진단을 실시한 결과 양호 7대, 요주의 4대 및 불량 3대로 판정된 진단결과를 이용하여 5호기를 포함한 불량판정 3대는 즉시 교체하는 등 사고를 미연에 방지토록 하였다.

그동안 회전기와 변압기의 절연열화 판정에만 주로 사용하던 진단시험기법을 고압 기동리액터에도 적용함으로써 고압전동기 기동회로의 신뢰성과 안전성 제고에 기여도가 높을 것으로 판단된다.

아울러 회전기의 절연판정 기준은 마련되어 있으나, 정지기 부분은 아직까지 회전기 기준을 준용하므로 정확한 진단에 한계가 있다. 따라서 정지기 부분의 절연판정기준을 시급히 제정하여 시행할 필요가 있다.

[참고 문헌]

- [1] 한국수자원공사, "팔당3취수장 기동리액터 절연진단 보고서", 2003.
- [2] IEEE std 43, "Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machines. 1974.
- [3] 일본전기학회, "전기설비의 진단기술", 1994.