

## 고압전동기 정지 중 감시를 위한 휴대장비 개발

최종필\*, 송완석\*, 현무용\*, 최광범\*\*  
한전KDN\*, 태광이엔시\*\*

### The Development of Carrying Equipment to Diagnosis for High Voltage Motors

Jong-Phil Choi\*, Wan-Seok Song\*, Mu-Yong Hyun\*, Kwang-Bum Choi\*\*  
KDN\*, TGE\*\*

**Abstract** - 본 논문에서는 발전소와 민수 공장에서 많이 사용되는 고압모터를 감시하기 위한 휴대장비 개발에 관하여 언급하였다. 과제에서 개발된 휴대형 감시장비는 정지중인 모터에 전압을 인가하여 권선저항 및 절연저항을 측정하여 모터 권선의 상태를 감시하는 방식으로서 권선저항 측정모듈과 절연저항 측정모듈의 일체화, 이력관리 기능 등에 초점이 맞추어져 있다.

#### 1. 서 론

고압모터는 발전소 및 일반 공장 등의 여러 분야에서 널리 사용되고 있다. 발전소 및 일반 공장 등에서 가동 중인 모터의 고장에 의한 피해는 상상하기 힘들 정도의 크나큰 경제적 피해를 동반하게 된다. 이에 모터의 고장이 발생하기 전에 모터의 상태를 감시하여 모터가 불시에 정지되는 사고를 막을 수 있다면 크나큰 경제적 피해를 줄이게 된다. 본 논문에서는 정지중인 고압모터를 감시하기 위한 휴대장비 개발에 대해 소개하고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 고압 모터의 일반적인 정지중 진단기법

고압 모터의 진단기법에는 크게 기계적 진단과 절연진단 및 전기적 진단으로 나뉜다. 기계적 진단의 경우는 진동을 통해 진단하는 방법이며, 절연진단은 또다시 크게 정지 중 측정기법과 운전중 측정기법으로 분류된다. 정지중 측정기법에는 성극지수, 교류전류, 유전정접 및 부분방전에 의한 권선의 절연열화 상태를 판정하고 있으며, 운전중 측정기법에는 부분방전 추이에 의해 평가하고 있다. 위의 진단기법들은 현재 가장 일반적으로 사용되고 있는 모터의 권선상태를 체크하는 기법이다. 이중 부분방전 진단법의 경우 절연재료의 신뢰성을 시험하는 중요한 방법으로써 수십년 동안 지속적으로 연구되고 있으며, 부분방전 현상의 탐지위치 및 평가를 위해 많은 유용한 측정법이 개발되었다. 하지만 고압의 교류전류를 인가해 줄 고가의 전압인가장치가 있어야 측정할 수 있다는 단점이 있다. 절연저항 측정의 경우 Meg-ohm 측정기로 쉽게 측정이 가능하다는 장점이 있지만 온도 및 습도에 영향을 크게 받는다는 단점이 있다.

##### 2.2 고압 모터의 정지중 감시 휴대장비 개발

###### 2.2.1 적용된 진단기법

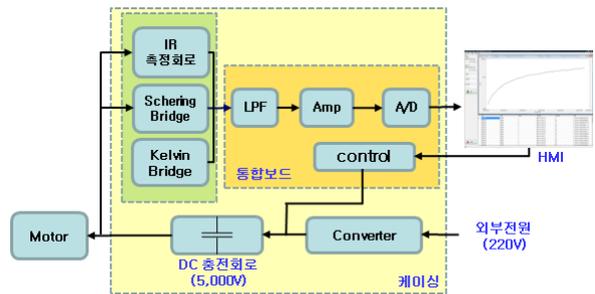
본 과제에서 개발한 정적 휴대장비에 적용한 진단기법은 권선저항 측정 진단기법과 절연저항 측정 진단기법 그리고 유전정접 진단기법이다. 권선저항 측정과 절연저항 측정방법을 적용한 이유는 회로가 간단하고 측정법이 간단하여 휴대장비에 적용할 수 있는 측정기법이기 때문이다.

###### 2.2.2 감시회로 개발

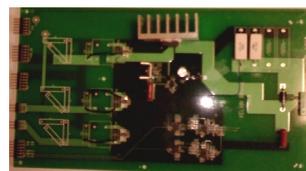
정적 감시용 하드웨어의 구성은 크게 직류전압 인가회로, 절연저항 측정회로, 권선저항 측정회로, 유전정접 측정회로, 신호처리 하드웨어(LPF, A/D 변환회로)로 구성되어 있으며, 직류전압 인가회로는 외부의 교류전원 220V를 입력받아 DC 24V와 0~2,500V로 충전시켜주는 충전회로로 구성된다. 모터의 고장자 권선저항을 측정하는 회로는 Kelvin Bridge 회로를 사용하였으며, 절연저항 측정회로는 직류전압 인가회로를 포함하여 개발되었다. 그리고 유전정접을 측정하기 위한 회로는 Schering Bridge 회로를 사용하였다. 이 회로는 매우 간단한 회로나 고압교류를 사용하는 회로이므로 보호용 회로소자의 선정 및 적용이 관건이다. Schering Bridge 회로를 완성시키기 위해 가전장치의 개발이 필수적이지만 본 연구과제에서는 계획 밖의 영역으로 개발의 방법론 정립 및 저압의 교류인가장치를 통한 소자 선정에 한정되어 개발하였다.

이들 각각의 회로들은 하나의 마이크로프로세서로 묶어 펌웨어를 제작하여 제어할 수 있도록 제작하였다. 그림 1은 신호수집 및 신호처리

하드웨어의 개념도를 나타내며 그림 2부터 그림 5는 개발된 회로 및 휴대장비이다.



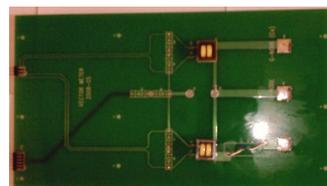
<그림 1> 신호수집 및 신호처리 개념도



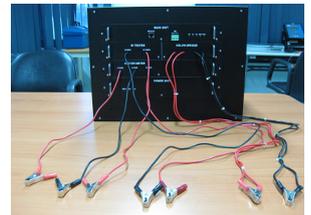
<그림 2> Kelvin Bridge 회로



<그림 3> 절연저항 측정회로



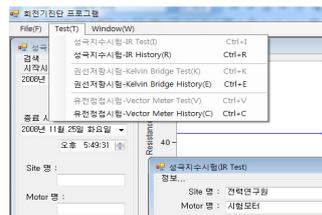
<그림 4> 유전정접 측정회로



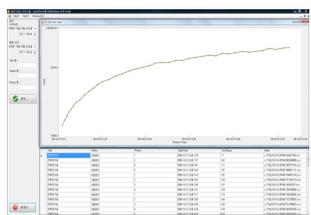
<그림 5> 개발된 감시장비

##### 2.2.3 HMI 소프트웨어 개발

정적 감시 HMI 소프트웨어는 Windows XP Pro 및 Windows Vista의 운영체제를 기반으로 하며, 자체 개발된 프로토콜 및 Ethernet 포트 또는 RS-232포트를 이용한 통신방식을 사용한다. 감시항목으로는 권선저항, 절연저항, 유전정접을 측정할 수 있도록 개발되었다. 대표기능으로는 Easy Install 기능, Interlock 기능, 실시간 모니터링 기능, 이력 검색 및 관리 기능, 자동 전압 제어기능, 창 배열 기능 등이 있다. 이중 이력 검색 및 관리 기능은 기존의 상용장비에는 없는 기능으로 모터 설비의 이력관리에 큰 도움이 될 것이다.



<그림 6> HMI 감시항목



<그림 7> 모니터링 / 이력검색 화면

2.2.4 개발장비 시험

정적 감시장비의 성능평가는 권선저항 측정 항목과 절연저항 측정을 통한 성격지수 항목 두가지로 나누어 진행하였다. 시험방법으로는 전력연구원에 구비하고 있는 시험 모터의 권선을 대상으로 상용장비와 비교 측정하여 평가하는 방식으로 수행하였다. 시험에 사용한 권선으로는 소선단락, 도체표면 공극, 주절연재료 내부 공극, 반도체층 제거, 정상권선 등을 사용하였다.

2.2.4.1 권선저항 측정 시험

권선저항 측정 시험은 전력연구원에 구비하고 있는 시험 모터의 권선을 전력연구원 보유의 상용장비와 비교 평가하는 방식으로 수행하였다. 시험시 주변 온도와 습도에 따라 결과값이 달라지는 것을 방지하기 위하여 동일 장소 및 동일 시간대에 두 장비를 연달아서 시험하는 방식을 취하였으며 전력연구원에서 구비하고 있는 상용장비 모델은 Tinsley Microhm meter 5893(이하 T5893) 기종이다.

개발 장비와 T5893 장비의 비교 결과 오차를 ±1%의 정확한 측정 결과를 나타내었다. 각 시험은 10회의 반복시험을 통해 시험 결과의 정확도를 높였으며 이러한 측정결과를 [표 1]에 나타내었다.

<표 1> 권선저항 측정 결과

결함요소	슬롯수	측정 횟수	권선저항 평균값	
			개발장비	T5893
소선단락	10	10	0.33	0.331
도체표면 공극	10	10	0.36	0.359
주절연재료 내부 공극	8	10	0.28	0.284
반도체층 제거	10	10	0.35	0.357
정상 권선	10	10	0.35	0.357

2.2.4.2 절연저항 측정 시험

IR Tester에 의한 성격지수(P.I). 시험도 권선저항 시험과 동일하게 전력연구원의 시험모터를 대상으로 하고 비교대상도 기 상용제품을 선택하였다. 개발장비와 비교한 상용제품은 S1-5010 Megger 제품이다. 시험시 주변 온도와 습도에 따라 결과값이 달라지는 것을 방지하기 위하여 동일 장소 및 동일 시간대에 두 장비를 연달아서 시험하는 방식을 취하였다. 시험시에 시험모터가 6,600[V]급이므로 IEEE-43-2000 규격상에 나온대로 6,600[V]급 모터의 시험조건인 2,500-5,000[V] 인가조건에 따라 5,000[V]를 인가하고 시험하였다.



<그림 8> 개발장비와 상용장비의 비교시험

시험 권선의 종류는 표 2에 나타내었다.

<표 2> 시험권선 종류

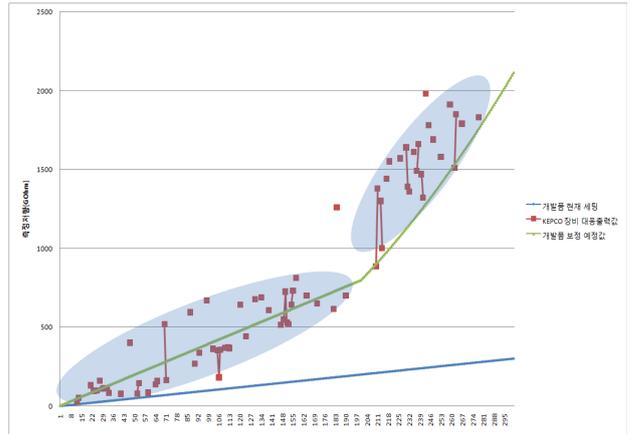
구분	결함내용	구분	결함내용
시험모터 권선 1	소선단락	시험권선 1	정상
시험모터 권선 2	도체표면 방전	시험권선 2	턴간단락
시험모터 권선 3	내부방전	시험권선 3	코로나
시험모터 권선 4	슬롯방전	시험권선 4	내부방전
시험모터 권선 5	정상		

시험결과는 그림 9 처럼 개발장비와 상용장비의 절연저항 측정값 비교 출력 그래프로 표현하였다. 그래프에 보이는 것처럼 오차가 많이 있음을 알 수 있다. 이러한 비교 출력 그래프에 근거하여 개발장비의 측정 저항 출력값을 상용장비에 맞추어 HMI 소프트웨어에서 보정하는 방식을 택하였으며, 보정 내용은 아래와 같다.

if  $x < 200 \Rightarrow y = 4x$   
 if  $x \geq 200 \Rightarrow y = 0.03x^2 - 2x$

단,  $x$  : 개발장비 출력저항,  $y$  : HMI 소프트웨어 상의 출력저항

보정작업을 마친 개발장비를 이용해 다시 시험을 진행하였으며 그 오차율이 감소하여 10% 미만의 오차를 갖는 모습을 보였다. 그 결과는 표 3과 같다.



<그림 9> 개발장비와 상용장비의 절연저항 측정값 비교 출력 그래프

<표 3> 절연저항 측정 결과

시험대상	측정 횟수	개발장비 (PI평균)	상용장비 (PI평균)
시험모터 권선 1 (소선단락)	10	4.10	6.11
시험모터 권선 2 (도체표면 방전)	10	6.31	5.77
시험모터 권선 3 (내부방전)	10	7.48	7.39
시험모터 권선 4 (슬롯방전)	10	8.22	5.18
시험모터 권선 5 (정상)	10	4.97	4.62
시험권선 1 (정상)	10	3.89	4.04
시험권선 2 (턴간단락)	10	2.35	2.54
시험권선 3 (코로나)	10	2.58	2.73
시험권선 4 (내부방전)	10	2.08	2.31

3. 결 론

본 논문에서는 고압전동기의 정지중 감시를 위한 휴대장비 개발에 관하여 다루었다. 본 연구에서 개발된 정지중 감시를 위한 휴대장비는 연구과제를 통해 국산화한 장비로써 절연저항과 권선저항 측정을 하나의 장비로 측정할 수 있으며, 기존 장비에서는 적용되지 않은 설비 이력관리 기능을 추가하여 좀 더 효과적으로 모터설비에 대한 관리가 가능해진 장점이 있는 반면 장비의 크기 및 디자인의 개선이 필요하다. 고압전동기의 정적 감시장비로서 완성도를 높여 사업화 하기 위해서는 다양한 고장유형을 갖는 모터를 대상으로 한 테스트를 통한 데이터베이스 구축 및 사용자 편의적인 기능 등의 추가적인 연구가 필요하다.

[참 고 문 헌]

[1] F. T. Emery, "Power Factor Measurements on High Voltage Stator Bars & Stator Windings", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 502~505, 2002.  
 [2] F. T. Emery, "Principles of Power Factor Testing of Complete Generator Stator Windings", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 426~429, 2004.  
 [3] IEEE Standard 118-1978, IEEE Standard Test Code for Resistance Measurement  
 [4] IEEE Standard 95-2002, IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of AC Electric Machinery (2300V and Above) With High Direct Voltage