

고압 유도 전동기 절연진단 데이터 관리 전산화 모델 개발

채지석*, 이은춘*, 이종석*, 함동령*, 허선구*, 윤석준**, 최장영***
한국수자원공사*, ㈜제나드시스템**, 충남대학교***

Development on the Computerizing Assessment System Model for the Diagnosis Data of High-Voltage Motors

Ji-Seog Chae*, Eun-Chun Lee*, Jong-Seok Lee*, Dong-Young Ham*, Seon-Gu Heo*, Suk-Jun Yun**, Jang-Young Choi***
K-water*, Genad System**, ChungNam University***

Abstract - 고전압 전력설비 진단은 기기의 열화 상태를 측정하여 이상 사고를 미리 예측하여 방지하는 것을 목적으로 실시한다. 고전압 전력설비의 유지관리 방안은 일정 시간 경과후 보수하는 개념(TBM: Time Based Maintenance) 이후 설비의 상태를 진단하여 유지보수 방안을 결정하는 개념(CBM: Condition Based Maintenance)으로 진보해 감에 따라 전력설비의 상태진단 기술의 중요성은 증대될 전망이다.

고전압 전력설비의 절연진단은 직류시험(절연저항, PI)과 교류시험(tan δ, PD)이 실시되며 과거 진단 데이터의 추세분석을 통한 정확한 상태진단이 요구되고 있다. 고압 유도 전동기 절연진단 데이터 관리 전산화 모델은 고전압 전력기기(발전기, 변압기, 전동기, 케이블 등)의 절연진단 및 유지보수 이력에 관한 자료들을 저장, 조회 및 검색을 하기 위한 데이터베이스를 구축하고 구축된 데이터를 활용하여 과거 이력조회, 추이 분석, 진단 데이터의 분석기법을 통한 전력기기의 상태평가로 합리적인 개·대체 의사결정을 지원한다. 또한, 유입식 변압기의 절연유 가스분석 알고리즘을 전산화 하여 10종 가연성 가스에 따른 Gas Pattern 평가로 고장 원인, 현상 및 조치 등에 대한 출력이 가능한 프로그램의 개발로 고전압 전력설비 진단기술과 IT기술의 융·복합 기술로서 고전압 전력설비의 유지관리 기술을 한 차원 더 진보시킬 것으로 판단된다.

1. 서 론

고전압 전력설비는 제작시 결함과 시간이 경과함에 따른 열적, 기계적, 전기적, 화학적 열화 등에 의해 절연물의 결함이 발생되고 이로 인해 전력시스템 전체에 막대한 손실을 발생시키기도 한다.

또한, 전기설비의 돌발 사고는 복구에 상당시간과 막대한 비용이 소요될 뿐만 아니라 전력공급에 지장을 초래하므로 전기설비에 대한 고신뢰도 운전이 필요하다. 따라서 고전압 전력설비 진단은 기기의 열화현상 특성을 측정하여 사고발생 이전에 예상되는 이상을 발견하여 합리적인 유지보수를 통하여 설비의 수명 연장은 물론 돌발 사고를 미연에 방지하는 것을 목적으로 실시한다.

K-water는 1998년 자체진단 규정을 수립하고 지금까지 17년간 수력발전소 및 수도 사업장의 고전압 전력설비 1,100여대(발전기: 65, 전동기: 393, 변압기: 228, 케이블: 456)에 대하여 주기적인 정밀 절연진단을 수행하고 있다.

본 고압 유도 전동기 절연진단 데이터 관리 전산화 모델은 다년간의 정밀 절연진단 실시를 통해 취득한 방대한 분량의 진단데이터를 보다 과학적인 방법으로 관리하기 위하여 자료의 저장, 조회, 이력검색이 가능한 데이터 베이스를 구축하고 누적된 진단 데이터를 활용한 확률/통계적 기법의 수명예측 기술을 통하여 전력기기의 상태를 정확히 분석기법의 고도화를 실현한 것이다.

2. 본 론

2.1 절연진단의 필요성

전력기기에 이용되고 있는 각종 고분자 절연재료는 기기자체의 경년 열화 및 열적, 전기적, 기계적 및 환경적 요인에 의한 스트레스를 장기간 받으면 초기의 물성치를 유지하지 못하고 변질되기도 하고 극단적인 경우 파괴되기도 하는데 이것을 열화(Aging)라고 하며 이로 인해 기기의 수명이 저하하게 된다.

절연 열화과정은 점진적인 마모 특성을 나타내므로 주기적인 절연진단을 통해 경년열화의 변화추이를 관리하고 데이터를 분석함으로써 절연상태를 정확하게 평가할 수 있으며, 이 결과를 토대로 설비 보전 계획을 수립하여 고전압 전력설비의 안정적인 운영 및 수명연장을 도모할 수 있다. 특히 고전압 절연진단은 기기의 열화현상이 이상현상으로 진단되는 특성을 측정하여 향후 발생이 예상되는 이상을 조기에 발견하는 것으로 측정된 Data는 직류전류 시험 10^{-6} [A], 정전용량 10^{-9} [F], 부분

방전 10^{-12} [C] 등 상당히 미소한 양을 측정하는 것으로 측정 당시의 환경(온도, 습도, 측정기기의 상태 등)에 큰 영향을 받으므로 1회 측정에서 얻은 결과로 전력설비의 상태를 판정하는 것은 적절하지 않으며 과거 Data와 비교하며 추이를 분석한 후 판단하는 것이 필요하다.

2.2 고압 전동기 현황

표 1은 수도사업장에 설치(2015년 기준)된 조사대상 총 539대의 고압 전동기의 용량별 현황으로 최소 45kW부터 최대 3,900kW까지 다양하게 설치되어 있다. 그 중에서 740kW이하가 326대이고 740kW 초과가 213대로 나타났다.

〈표 1〉 용량별

용량 (kW)	수량 (대)	점유율 (%)	용량 (kW)	수량 (대)	점유율 (%)
370이하	210	39	741-1470	140	26
371-740	116	21	1471이상	73	14
계			539대		

〈표 2〉 사용전압별

사용전압 (kV)	수량 (대)	점유율 (%)	사용전압 (kV)	수량 (대)	점유율 (%)
3.3	324	60	6.6	215	40
계			539대		

2.3 절연진단 데이터 관리 전산화 모델

K-water는 1997년부터 현재까지 2,400여대의 발전기, 전동기, 변압기 등의 전력설비에 대한 진단과 고장예지, 기술지원 등 전력설비 진단자료를 문서형태로 보관, 관리하고 있었다.

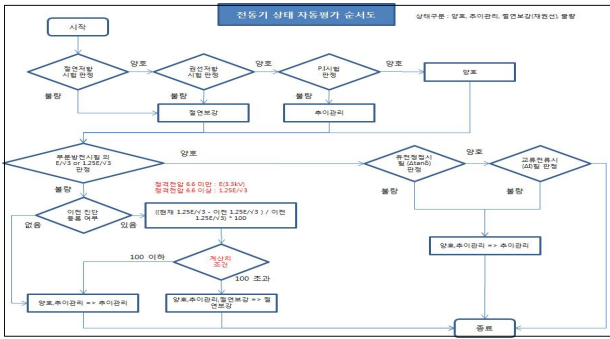
시간이 지남에 따라 고전압 전력설비의 진단결과 데이터가 방대해져 과거 데이터와 현재 데이터의 비교·분석에 어려움으로 인하여 보다 체계적인 데이터 관리가 필요하였고 이에 진단 결과에 대한 추이분석이 이루어질 수 있도록 절연진단 데이터 관리 전산화 모델을 구축하였다.

진단능력 향상을 위하여 기존의 문서화된 진단자료(발전기, 전동기, 변압기, 케이블)의 전산화를 통하여 전산 시스템 상에서 확인이 가능하도록 DB를 구축하였고 통계분석 기능, 사용자 중심의 HMI 기능 등 데이터 활용을 위한 통계기능을 구현하였다.

분류	구분	사양	기종번호	대량번호	교류전압시험													
					절연저항(Ω)	유전손실(%)	유전손실(%)	유전손실(%)	유전손실(%)	유전손실(%)	유전손실(%)	유전손실(%)	유전손실(%)	유전손실(%)	유전손실(%)	유전손실(%)		
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	287	132	272	7932	053	154	407	7035	056	201	548	7036	05	249	
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	287	193	275	7693	044	15	39.9	7037	048	201	537	7038	079	249	
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	287	193	284	7933	035	15	41.9	7038	1	198	548	7199	189	252	
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	287	192	534	191	035	15	77.3	191	033	201	104	191	93	251	
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	287	134	743	3017	034	148	108	3017	034	2	144	3017	036	211	
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	287	134	743	3017	034	148	108	3017	034	2	144	3017	036	211	
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	487	108	771	3683	051	151	111	3683	051	104	361	3683	051	241	
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	487	101	772	2031	031	152	118	2031	03	2	193	2031	03	251	
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	587	1	544	1435	237	149	91	1435	21	202	110	1441	215	25	
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	587	130	519	1493	234	15	90	1412	208	136	309	1454	21	214	
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	587	130	519	1493	234	15	90	1412	208	136	309	1454	21	214	
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	687	107	363	7596	141	148	42	7536	146	2	916	7538	17	249	
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	687	107	363	7596	141	148	42	7536	146	2	916	7538	17	249	
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	787	130	304	931	041	15	302	938	048	2	404	935	049	241	
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	787	130	304	931	041	15	302	938	048	2	404	935	049	241	
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	787	131	293	9234	014	149	299	9296	057	199	384	9299	022	251	
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	187	6	998	123	32	158	15	185	3229	179	203	215	1232	18	215
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	187	102	1301	3376	295	15	1896	3339	293	2	2485	3381	267	252	
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	287	102	72	1879	62	151	107	1879	621	2	142	1879	623	251	
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	287	102	72	1879	62	151	107	1879	621	2	142	1879	623	251	
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	287	102	72	1879	62	151	107	1879	621	2	142	1879	623	251	
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	187	1	119	291	41.6	151	174	2943	413	2	227	274	412	215	
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	487	134	114	289	394	15	164	2891	411	2	219	2891	408	251	
유도전동기	유도전동기	교류전압	전동기	487	101	172	4249	352	151	263	4229	353	199	335	4190	354	251	
유도전동기	유도전동기	교류전압	발전기	287	4	202	9339	199	151	383	9339	191	201	489	9339	191	24	

〈그림 1〉 절연진단 데이터 관리 DB

절연진단 데이터의 DB화를 통하여 누적 진단데이터를 활용한 절연열화 추이분석 프로그램과 확률·통계적 기법을 이용한 고전압 전력설비의 자동 상태평가 알고리즘을 개발하였다.

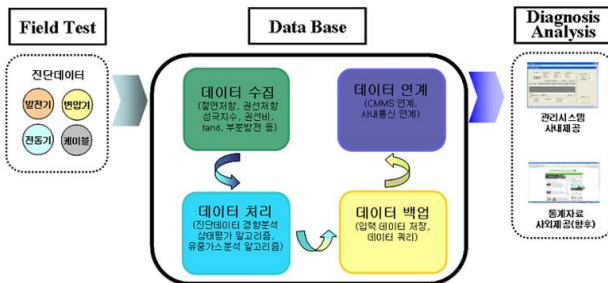


〈그림 2〉 고압 유도 전동기 자동 상태평가 알고리즘



〈그림 3〉 절연진단 데이터 관리 구축 모델

진단데이터 관리시스템의 메인 화면은 그림 3과 같으며 주 메뉴는 설비관리, 분석관리, 보고서관리, 통계관리, 시스템관리, 계시판의 6개로 구성되어 있다.



〈그림 4〉 절연진단 데이터 관리 흐름도

설비관리에서는 설비의 제원을 입력할 수 있고, 분석관리에서는 측정된 자료를 입력하고 그림 2의 자동 상태평가 알고리즘에 의해서 계산된 결과값 및 과거이력을 조회할 수 있다. 자동 상태평가 알고리즘에 의해 계산된 진단결과를 보고서관리에서 진단보고서 양식으로 표현할 수 있고 진단자의 의견을 첨부하여 종합적인 판정을 할 수 있다. 보고서 검색에서는 진단자의 의견이 반영된 종합적인 판정을 확인하고 출력할 수 있도록 구성되었다. 시스템관리에서는 설비평가기준을 입력하고 이를 토대로 진단결과 및 보고서가 작성된다. 또한 통계관리 및 시스템의 종합적인 정보관리가 가능하도록 구성되었다.

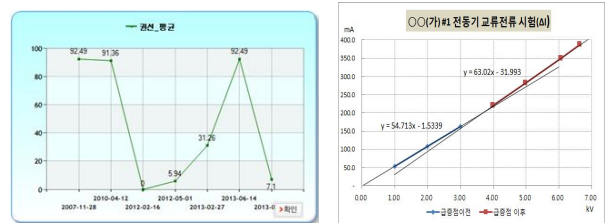
2.4 전산화 모델을 통한 전력설비 자동상태 판정

진단 데이터 관리자는 정밀 절연진단 측정으로 취득한 Data를 사내 전산망을 통하여 진단데이터 관리 시스템의 DB서버에 접속하여 고전압 측정과 관련된 각종 데이터를 항목별로 입력하며, 이는 구축된 서버에서 관리가 된다. 저장 데이터들은 해당 사업장에 대한 기기의 진단자료로 시스템 관리의 평가기준 정보를 토대로 판정이 이루어진다. 이때 진단 데이터 관리자는 해당 기기의 과거 이력에 대한 변화추이 등 각종자료를 그래프나 보고서 형태로 볼 수 있으며 이러한 자료를 통하여 종합적인 판정이 이루어진다. 합리적인 추이분석을 통해 개·대체 의사결정을 지원하고 기존의 형태보다 빠르고 정확하게 고전압 진단이 이루어질 수 있도록 한다.

〈표 3〉 A가압장 전동기 고정자 시험결과

시험 종류	특성치	측정 조건	판정 기준	○○가압장		
				No.1호기	No.2호기	No.3호기
권선저항	R(mΩ)	20℃ 기준	평균치 편차 <3%	296.41	327.12	708.92
절연저항	R(MΩ)	40℃ 기준	>100	6,695	11,881	18,274
성극저수	P·I	10분/1분	>2.0	4.77	6.94	6.77
교류전류류	P ₁₁	at 2 kV	>3.8kV	3.7	3.6	3.9
				유전정접	tanδ(%)	at 2 kV
부분방전	Qmax(pC)	at 3.8 kV	-	41,136	29,823	25,092
		at 4.8 kV	<10,000	41,352	34,316	25,093
		DIV(kV)	>1.9	2.3	2.4	2.1
방전패턴				내부	내부	내부
상태 평가				추이관리	추이관리	추이관리

○○가압장 전동기 고정자 시험결과 데이터는 표 3과 같고 3개년에 걸친 각 시험 항목 데이터를 한눈에 비교 관찰 할 수 있다. 이처럼 기준에 진단된 데이터의 전산화를 통하여 한눈에 고전압 전력설비의 추이관리 및 상태평가 알고리즘에 의해 자동 계산된 진단데이터로 신속한 판단과 예측이 가능하다. 진단데이터 관리 시스템을 이용하면 과거 측정 데이터와 비교·분석과 추이 그래프를 통해 고전압 설비의 열화 진행 경향 및 상태에 대한 정확한 판단이 가능하게 된다.



〈그림 5〉 진단데이터 출력 그래프

또한 전력설비 진단 데이터의 전산화를 통해 신규 설비에 대하여 초기 진단데이터의 확보는 물론 노후도 평가의 신뢰도를 향상시키고 평가능력의 향상을 통한 높은 신뢰수준의 잔존수명 예측이 가능하고 고전압 설비의 안정성을 확보하여 비용 절감 및 사고 파급을 낮출 수 있다.

구축된 진단데이터 관리 시스템에서는 진단 데이터 관리자가 직접 그래프나 보고서 작성을 하지 않아도 입력된 절연진단 측정자료에 대해서 그래프나 보고서 등의 형태로 출력 결과물을 보여줌으로써 효과적인 진단 판정이 이루어 질 수 있기 때문에 문서나 그래프 제작 등의 시간을 줄일 수 있다.

3. 결 론

고전압 전력설비의 유지관리에 있어서 상태에 따른 예지보전 개념(CBM: Condition Based Maintenance)으로의 발전에 따라 전력설비의 상태진단 기술의 중요성이 점차 증대되고 있는 시점에서 구축된 진단데이터 관리 시스템을 이용하여 진단데이터 분석기법의 고도화를 실현하고 합리적인 전력설비의 개·대체 의사 결정 지원을 보다 효율적으로 진행하여 고전압 전력설비의 유지관리 기술을 한 차원 더 진보 시킬 것으로 판단된다.

또한, K-water의 진단 데이터 관리시스템에 지능형 알고리즘과 실시간 진단 데이터를 측정, 모니터링 할 수 있는 On-line 진단 센서의 도입을 통해서 신속하고 합리적인 개·대체 의사결정이 진행되고 경제·기술성을 갖는 신뢰성 평가가 이루어져야 될 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 수자원연구소 기술진단팀, "고전압설비 절연진단 교육교재", 1990년
- [2] 오봉근 외, "절연진단시험을 이용한 고전압전동기 운영환경에 따른 절연특성 분석", 대한전기학회, 2008Apr. 18, pp. 214-216, 2008년
- [3] 오봉근, 김현일 외, "고전압회전기 고정자권선의 모의결합에 따른 부분방전 특성인자 분석", 대한전기학회, 2007July. 18, pp. 1399-1400, 2007년
- [4] 이종석, 고전압 전력기기 권선의 절연열화 상태진단 방법 고찰, 2014년