

**철도전력기기 진단기법 및 진단시스템에 관한 연구**

최광범\* , 어수영\* , 심종태\* , 이동준\* , 김철환\*\*, 여상철\*\*, 박정현\*\*  
\*태광이엔시, \*\*한국철도공사

**Diagnosis Techniques and System for Railway Power Equipments**

G.B. Choi , S.Y. Eo , J.T. Shim , D.Z. Lee , C.H. Kim , S.C. Yeo , J.H. Park  
TaeGwang ENC , KORAIL

**Abstract** - 본 연구에서는 현재 국내 철도 및 지하철에 전력을 공급하는 전력설비들의 진단시스템 운용실태를 돌아보고 기존의 시스템을 최대한 존중하면서 좀더 효율적인 진단을 수행할 수 있도록 하는 방안을 모색하였다. 또한 판매자에 따라 다른 통신방식과 다른 HMI를 사용함으로써 인하여 발생하는 많은 문제점들을 해결하기 위하여 통합된 시스템을 구성하였고 그에 따라서 여러 진단센서들을 종합적으로 연계하여 상호 연관관계를 가지고 서로의 정보를 공유하면서 통합적인 진단이 가능하도록 하였다.

**1. 서 론**

철도는 고속철도(KTX)에서부터 하루 수백만 명이 이용하는 전철에 이르기까지 가장 많은 대중이 이용하는 교통수단이다. 또한 철도의 운용은 앞으로 더욱 많아질 것이며 향후에는 북한과의 연계, 더 나아가서는 아시아를 통과해 유럽에 이르기까지 광범위하게 적용될 것이다. 이렇게 광범위하게 연계되어진 철도의 동력으로는 전기에너지가 중심이 되어 사용되어지고 있다. 철도의 에너지공급원인 전기의 원활한 공급은 철도의 운전과 운영에 절대적인 역할을 수행 할 것이다.

한국철도공사의 전철화 사업의 가속화에 따라 늘어나는 전력시스템을 효과적으로 운영하기 위해서는 변전설비 운영과 관련된 감시, 보호 및 제어의 다양화 그리고 전력기기에 대한 유지보수 및 진단 등 다양한 정보제공 등이 필요하다. 현재 한국철도공사는 전철전력의 관리를 위해 변전소와 구분소 그리고 보조구분소에 센서를 부착하여 모니터링을 하고 있다. 그러나 현재 운영중인 시스템은 원격감시를 위한 시스템으로 기기별, 센서별, 시스템별로 운영되고 있어 운영자가 다수의 모니터링을 해야 하는 실정이다. 또한 현재 시스템에 들어오는 신호는 감시를 위한 것이기 때문에 사고를 미연에 방지하기 위한 진단기법이 부족한 편이다.

본 연구에서는 기존에 운영중인 시스템을 통합하고 또한 전철전력기기에 적합한 진단기법 및 알고리즘을 개발하고자 한다. 이를 기반으로 전철전력기기의 최적의 진단기법 및 시스템을 구축하여 기존 시스템에 적용하기 위한 최적의 방안을 제시하고자 하였다.

**2. 본 론**

**2.1 한국철도공사에 설치된 진단관련 시스템 조사**

한국철도공사에 적합한 진단기법 적용을 위하여 우선 현재 변전소에 설치된 진단관련 시스템을 조사하였다. 이는 현재 설치된 설비의 현황을 파악하여 미비한 점을 보완하고 경제성을 고려하여 기존 진단 설비를 최대한 이용하면서 전력기기 진단 능력을 극대화 시킬 수 있는 시스템을 구성하기 위한 방안으로서 총 10개의 전기사무소 산하의 29개 변전소와 161개 구분소 및 보조구분소의 전철전력기기 진단 시스템 및 적용 센서를 조사하였다.

**2.1.1 전력기기 중심의 진단센서 분류**

조사 대상 변전소 및 구분소의 전력기기에 어떠한 진단센서가 적용이 되고 있는지 알아야 될 필요가 있으므로 조사한 데이터를 전력기기 중심으로 분류하여 적용된 진단센서의 대체적 유형을 나타낸 것을 표 1에 정리하였다.

**<표 1> 변압기류 주요 적용 진단기기**

전 력 설 비	설치 현장수	진단 센서	
		TOID	몰드TR용 아름
고압배전반 DTR (6.6KV/380/220V)	5		1
고압배전반 DTR (154KV/22KV)	9	18	
몰드 TR (22.9KV)	5		21
AT (55KV/27.5KV)	132	343	
M.TR (66KV)	6	2	
TOTAL	450	412	22

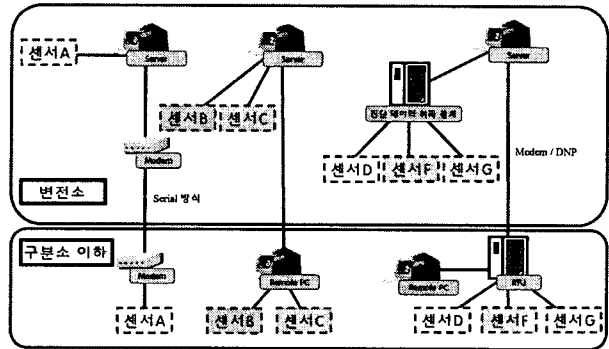
표2와 같이 한국철도공사의 차단기류의 진단센서로는 GAS압력, LA카운터, CB동작특성, GIS용 UHF진단장치 등이 주로 사용 되었다. 또한 72.5kV 이상의 GIS에만 적용하였다.

**<표 2> 차단기류 주요 적용 진단기기**

전 력 설 비	설치 현장수	진단 센서				
		GIS용 UHF	GAS 압력	CB 동 작특성	LA 카운터	GIS용 아름
GIS (72.5KV)	127	49	378	205	294	12
GIS (154KV)	21	9	69	28	37	
TOTAL	450	58	447	233	346	12

**2.1.2 기 설치된 진단시스템의 통신구성**

변전설비 운영의 자동화에 따라 구분소 혹은 보조구분소 단위의 전력설비들이 무인으로 운영됨에 따라 전력기기 진단 장치들도 그에 편승해 구분소 이하의 장치는 무인으로 하고 변전소 단위에서 감시를 수행할 수 있도록 기존의 진단설비가 구성되어 있었다. 진단장치의 설치에도 경제성이라는 요인을 무시할 수 없으므로 대부분의 구분소 이하의 전력기기에는 중요 설비를 제외하고 진단센서가 설치되어 있지 않았었다. 또한 구분소 이하의 전력 배분장에서는 Ethernet infrastructure 가 구성되어 있지 않는 경우가 많아 변전소의 HMI까지 데이터를 끌어오기 위해서 모뎀통신을 사용하고 있는 실정이었다. 또한 각 센서들마다 판매자가 다르고 표준적인 통신규정과 시스템 구성 규정이 없어서 센서 항목마다 다른 HMI 운영 서버를 따로 구비해 놓는 현실이었다. 이러한 현실과 유사한 현재의 시스템 구성도를 그림 1에 도시하였다.



**<그림 1> 현재 철도공사의 모뎀 사용방식 진단시스템 개략도**

**2.2 개정된 시스템을 위한 센서 선정**

철도 전력기기 진단을 위해서는 일반적인 시스템 표준을 만들고 사용하는 센서의 종류등도 일관적 자세를 가질 필요가 있다. 또한 기존의 설치된 센서들을 최대한 수용하면서 적합한 진단을 할 수 있도록 새로운 센서를 선정해야만 한다.

변압기와 GIS 각각의 진단능력을 극대화 시킬 수 있는 동시에 경제성을 만족시키기 위한 알고리즘 구성을 위한 센서로서 본 연구과제에서는 표3과 같은 센서들을 철도 전력기기 진단시스템에 사용하였다.

유압변압기의 감시진단을 위해 유증가스, AE 및 절연유 누설전류 센서를 선정하였다. 기존의 철도 변압기에 대부분 절연유 누설전류 센서가 설치되어 있으므로 절연유 누설전류 센서를 선정하였으며 유증가스 센서는 경제성을 고려하여 수소가스위주의 단순 가스센서를 선정하였다. 또한 변압기 내부 부분방전 감시에 탁월한 성능을 보이는 AE센서를 선정하여 변압기를 종합 감시하도록 센서를 선정하였다.

각각의 센서들은 각자의 장점을 가지고 있는데 AE센서는 부분방전 집중 감시용이며, 누설전류 센서는 절연유 자체 열화를 감시하고, 유증가스 센서는 부분방전, 과열, 순환전류, 절연유 자체 열화등의 좀 더 포괄적인 감시 영역을 지니고 있다. 이러한 센서들이 자신의 장점을 적절히 조화하면 양질의 진단 솔루션이 얻어질 것으로 사료된다.

GIS의 감시진단을 위해서 가스밀도 센서와 전자파 감시센서 및 CB동작 특성 센서를 선정하였는데 이러한 센서들도 기존에 이미 설치된 개소가 많

았다. 이 센서들의 본래 작용을 훼손하지 않으면서 시스템에 포함시켜 통합 관리 할 수 있도록 구성하였다.

**〈표 3〉 적용센서 리스트**

감시 설비	센서 종류	주요 감시항목
유입 변압기	유증가스	변압기 고장
	AE 센서	부분방전
GIS	절연유 누설전류	절연유 열화
	가스밀도	가스밀도
CB	전자파 센서	부분방전
LA	전류 센서	CB 상태
	피뢰기 누설전류	피뢰기 열화상태

**2.3 지능형 진단기준치 설정 및 알고리즘 구성**

본 기술개발에서 적용된 진단기준치는 기존의 진단기준치를 검토하여 철도계통의 전력기기에 적합하도록 진단과파라미터를 정의하고 이에 적합한 진단 알고리즘을 개발하였다.

철도용 전력기기의 진단을 진단요소를 이용하여 기존의 진단기준치로 진단한다면 외부노이즈, 과도현상 등으로 인해 그 신호의 크기 및 회수가 기준값을 초과하여 정상적으로 동작하는 전력기기에 요주의 및 위험 신호를 발생하여 설비 투자에 있어 과투자 요인이 될 수 있으며 또한 하나의 진단요소만을 이용하여 진단한다면 보다 정확한 진단을 하지 못하게 된다. 따라서 본 기술개발에서는 이러한 현상을 제거하여 과투자의 방지 및 정확한 진단을 위해 철도계통의 전력기기에 적합한 진단과파라미터를 개발하였다.

먼저 식 (1)에서 정의한 진단과파라미터는 센서로부터 측정된 최대값을 나타내며 이 값의 크기가 시간에 따라 변하므로 이를 아래 식과 같이 2시간 단위로 평균한 평균값을 진단과파라미터로 사용하였다.

$$VAL_{total} = \frac{1}{2i} \sum_{t=0}^{2N} VAL(t) \quad (1)$$

여기서 VAL<sub>total</sub>은 시간간격별 평균값을 나타내며, VAL(t)은 t시간에서의 측정값, i는 1,2,3, ..., 84이고, t는 시간을 의미한다.

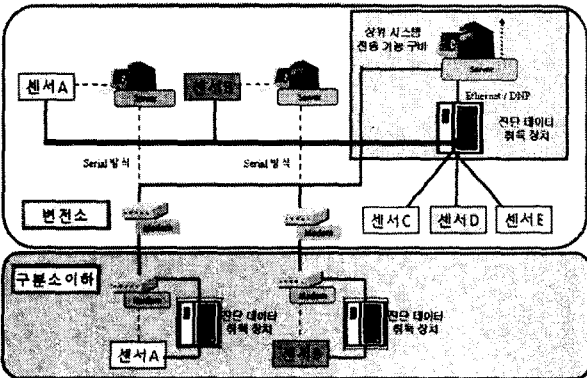
본 연구과제에서는 지능형진단 알고리즘을 위한 기준치 설정을 위하여 신경회로망(Neural Network)을 통한 기준치 설정을 시도하였다. 이때 적용한 센서들은 변압기 유증가스 분석장치, 변압기 초음파 측정장치, GIS UHF 측정장치이다.

본 기술개발에서 적용한 신경회로망의 특징은 기존의 복잡하고 비선형적인 특성을 가진 진단기법을 보다 편리하고 구현이 용이하며 패턴분류 및 인식에 큰 장점을 갖는다. 이 신경회로망의 종류는 BP(Backpropagation network), CP(Counterpropagation network), 연상메모리를 가지고 있는 신경회로망, 학습형태가 목표값을 가지지 않고 자율적으로 학습을 진행하는 ART 등이 있다. 여기서 본 기술개발에서 사용된 신경회로망은 BP이며 이는 가장 널리 사용되고 있는 신경회로망으로 그 구조가 비교적 다른 신경회로망에 비해 간단하다.

신경회로망의 구조는 크게 입력층, 은닉층, 출력층으로 이루어져 있으며, 특히 은닉층은 적용 분야에 따라 2층 이상으로도 구현될 수 있다.

**2.4 전철전력기기 진단기법 시스템**

전철전력기기 진단기법 시스템은 기존 운영중인 시스템을 통합하여 진단기법 알고리즘을 탑재하는 것과 신규시스템을 설치하여 진단기법 알고리즘을 탑재하는 2가지 종류로 구별되어 구성되어진다.

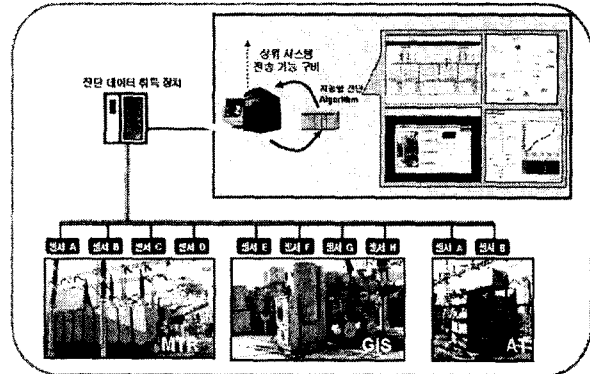


**〈그림 2〉 기존시스템 모델**

기존시스템의 경우 2개 이상의 시스템을 운영중일 때 각각의 시스템을 모니터링 하던 방식에서 1개로 통합하여 HMI를 구현하는 것이다. 이때 가능한 한 기존 운영중인 센서 및 데이터취득장치 등의 H/W를 활용하여 경제성을 높이는 방안이다. 여기에 전철전력기기 진단기법 알고리즘을 구동하기 위해 필요한 추가적인 센서들을 적용하고 동일한 HMI에서 구현이 가능하도록 설계를 해야 한다. 마지막으로 이 시스템에서 취

득된 데이터들은 연계되는 요구가 있으면 상위로 올릴 수 있도록 구성하여 모델을 설계하였다.

신규시스템의 경우 전력기기에 적합한 센서 목록에서 센서를 설치하고 기존시스템에서와 동일한 형태의 HMI를 구현하는 것이다. 또한 연계되는 요구가 있으면 상위로 올릴 수 있도록 구성하여 모델을 설계하였다.



**〈그림 3〉 신규시스템 모델**

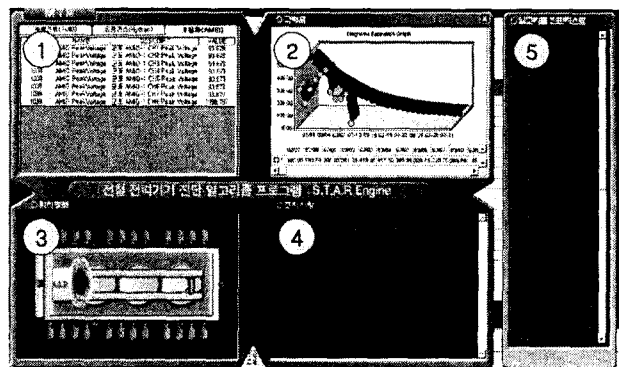
**2.5 전철전력기기 진단기법 화면**

진단기법 알고리즘 화면은 취득 데이터 View, 데이터 단기예측 그래프, 위치추정, 조치사항, 진단 리스트 5개의 화면으로 구성되어져 있다.

취득 데이터 View 화면은 진단알고리즘 엔진이 구동하는 시점에 취득된 데이터를 볼 수 있다. 변압기에서는 누설전류(TOID)값과 유증가스(Hydran), 초음파 진단기로부터 올라온 데이터를 볼 수 있다. GIS에서는 가스압력, UHF, 피뢰기, CB 동작 특성 장치에 관련된 데이터를 볼 수 있다. 그리고 AT 경우에는 누설전류(TOID)값과 초음파 진단기로부터 올라온 데이터를 볼 수 있다.

위치추정에서는 각각의 기기별 이상(부분방전)이 존재하는 것으로 추정되는 위치를 표시하며 진단 장치로부터 올라온 자료를 분석하여 평면상에서 부분방전의 위치를 추정 한다. 부분 방전 위치 정보는 가장 최근에 올라온 자료를 기준으로 화면에 나타내어진다.

조치사항에서는 각각의 기기로 부터의 신호 분석결과 요주의, 이상일 경우 조치 사항에 대해 표시를 한다.



**〈그림 4〉 진단기법 화면 예**

**3. 결 론**

본 연구에서는 철도공사에서 운영중인 전철전력기기의 안전한 유지보수 및 관리를 위하여 기존에 적용된 시스템을 통합하고 전문화된 진단기법 시스템 및 진단기법 알고리즘을 개발하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 철도공사에서 운영중인 전철전력기기의 감시·진단에 관계된 시스템을 조사하였으며 센서와 시스템 체제가 일원화 되지 못한것을 발견하였고 전철전력기기 진단센서에 대해 다음의 항목을 추천하였다. 변압기는 절연유 누설장치, 유증가스, AE 센서 그리고 GIS는 전자파센서, 가스밀도, CB는 동작특성 그리고 피뢰기는 피뢰기 누설전류 이다.
- (2) 모의실험 및 기존에 운영중인 센서로부터 데이터를 취득하여 지능형 진단기준치를 마련하였다.

**〔참고 문헌〕**

[1] Lawrence E.Kinsler, Fundamentals of Acoustics, Wiley  
 [2] 권동진, 전력용변압기 예방진단 기준설정에 관한 연구, 산자부, 2005  
 [3] 이상원, 학습하는 기계 신경망, ohm사, 1993