

**전력용변압기 유지보수와 예방진단에 관한 소고**

김동현, 이옥배, 주병수  
한국전력공사 서울전력관리처, 한국전력공사 중앙교육원, 한국전력공사 제천전력관리처

**A study for power transformer maintenance and preventive diagnostics**

Kim dong hyun, Lee ok bae, Ju byung su  
KEPCO SEOUL T/O, KEPCO CEI, KEPCO JECHON T/O

**Abstract** - This paper presents the maintenamce method of transmission power transformer by Korea Electric Power Coporation.

Also, this paper presents preventive diagnostics method for power transformer and introduce the new preventive diagnostics method for power transformer

**1. 서 론**

최근 전력공급의 품질향상을 위해 전력설비의 안정성과 신뢰도에 대한 요구가 날로 증가하고 있다. 특히 전력공급에 중요한 일익을 담당하는 전력용변압기의 신뢰도 향상과 고장예방은 그 기대가 더욱 크다고 할 수 있다.

이에 한전의 송변전계통 전력용변압기의 유지보수 방법과 기준을 소개하여 일반 수용가의 전력용변압기 유지보수에 도움을 주고, 유지보수기법의 세계적 변화에 따른 전력용변압기의 사용관리에 대한 적용방법을 제시하고자 하며, 또한 고장을 예방하는 기법과 최근에 대두되는 고장예방기법을 소개하고자 한다. 나아가 On-line감시와 Off-line 감시에 대한 방향을 제시하고자 한다.

**2. 본 론**

**2.1. 현전의 현 전력용변압기 유지보수**

**2.1.1 유지보수 제도**

- 순시 및 각종 점검에 의한 이상판정 및 보수
- 점검종류 : 초기점검, 보통점검, 정밀점검, 각종 시험

**2.1.2 점검종류와 주기 및 항목**

점검종류	주기	점검항목	비고
초기점검	운전 후 1년 이내	○ 보통점검과 동일	
보통점검	3년1회	○ 외관점검, 단자 조임, 청소 ○ 결선 및 동작상태 확인 ○ 절연역할 및 절연저항측정 등	내부점검 없이 주로 외부점검 시행
정밀점검	이상 발견 시 또는 가스분석 요구의 편정시	○ 내부점검 ○ 부속품 상태확인 및 청소 ○ 각 부위 패킹 교체 ○ 절연유 여과 또는 교체 ○ 기타 보통점검 사항	내부점검은 전문업체 활용
	Tap조정 15만회	○ OLTC 탭 선택기 점검	
	Tap조정 3만회	○ 전환개폐기점검 ○ 환선여과기 분해점검 ○ 구동기구 동작점검 ○ 유격실 절연유 교체 ○ 조작할 내부점검 및 청소	

**2.1.3 시험 주기 및 항목**

시험항목 중 절연유 성능시험은 주로 전력용변압기를 설치할 때와 보통점검주기에 맞추어 시행하고, 유중가스 분석은 비교와 같이 시행한다.

절연역률측정은 매우 비중을 두고 있는 시험으로서 전

력용변압기의 초기 제작시와 설치 후 주기적으로 시행하며, 측정된 값의 트렌드를 분석하여 관리한다. 이 절연역률측정은 전력용변압기 뿐만 아니라 거의 모든 전력용기에 대하여 시행된다.

주기	시험항목	비고
3년1회	○ 절연유 성능시험 ○ 질소 가스분석(필요시) ○ 유중가스분석 ○ 절연역률(power factor) 측정	유중가스분석
		정상 1회/1년
		요주의 1회/3월
		이상 1회/1월 위험 수시

**2.1.4 한전의 전력용변압기 유지보수기법**

TBM(Time Based Maintenance)과 CBM(Condition Based Maintenance)의 중간 단계로서 이들이 혼합된 방법을 적용한다.

- TBM 적용 : 초기점검, 보통점검, OLTC 점검
- CBM 적용 : 정밀점검, 가스분석, 절연역률측정
- 설치 초기의 이상 파악과 CBM 기법에 의한 전력용변압기 진단을 위해 일부 345kV급 변압기에 대하여 On-line 상태감시시스템을 적용하여 시행 중이다.

**2.2 전력용변압기 고장예방진단의 목적과 방법**

**2.2.1 설비 운전 신뢰성 향상**

대용량·초고압화, 설비운전의 무인화, 밀폐화, 복잡화, 축소화로 고장시 파급이 광범위하며 복구에 장시간이 소요되므로, 초기 고장 징후 발견시 점검 조치에 의한 불시정전 예방으로 전력공급 신뢰도를 향상할 수 있다.

**2.2.2 설비 유지·보수업무의 효율화**

신뢰성 기반 유지 보수를 위해 RCM(Reliability Centered Maintenance), 그리고 CBM(상태기준 정비) 두 방법을 혼용하여 적절한 시기에 필요한 보수를 시행함으로써 효율성과 경제성의 추구가 가능하다.

**2.2.3 RCM에 의한 유지·보수 최적화**

- 설비 신뢰도의 감소 없이 운전 및 보수비용 절감이 가능하다.
- 예방정비, 상태감시, 시간기준정비, 운전기준 정비 등을 필요에 따라 적절히 사용하여 궁극적으로 경제성과 신뢰성을 동시에 만족할 수 있다.
- 부품중심으로 기능적 관점에서 접근이 가능하다..
- 동일한 설비에서도 부품별 기능의 정의와 FMEA 분석 결과 등을 활용하여 서로 다른 보전계획을 수립할 수 있다.

**2.2.4 RCM의 배경**

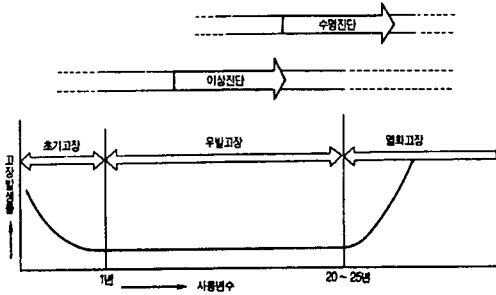
- 고장유형 분석을 통해 불필요한 보수는 생략하고 필요한 보수만 시행한다.
- 고장을 개념의 변화
- 전기적 절연시스템과 같은 경우는 예방정비를 해도 고장이 발생하는 경우가 있고, 기계적 활동 부위와 같은

경우는 필요한 일정 부위만 정비해도 고장이 크게 감소한다.

### 2.3 고장을 개념의 변화

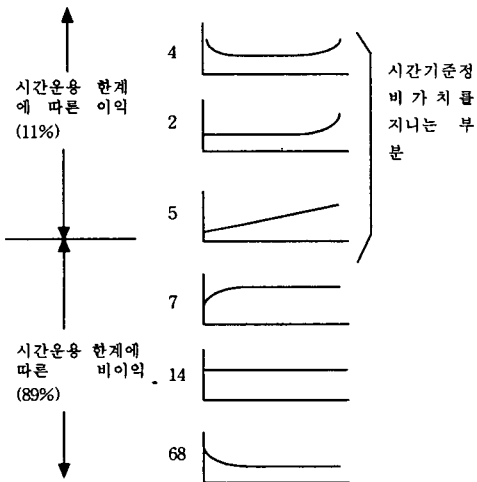
#### 2.3.1 고전적 개념의 고장물곡선(bathtub)

- TBM 적용이 가능
- 마모 고장시기 전 적절한 보수를 함으로써 고장예방
- 마모성 부품이 사용되는 설비 또는 동일 설비에서도 마모성 부품에 적용



[그림 1] 고전적 개념의 고장물곡선(Bathtub)

#### 2.3.2 고장물곡선의 새로운 개념(미국 보잉사의 예)



※ 각 부품별 고장율 특성과 치명도 평가에 맞는 적절한 보전(정비)계획을 수립할 필요성이 있음.

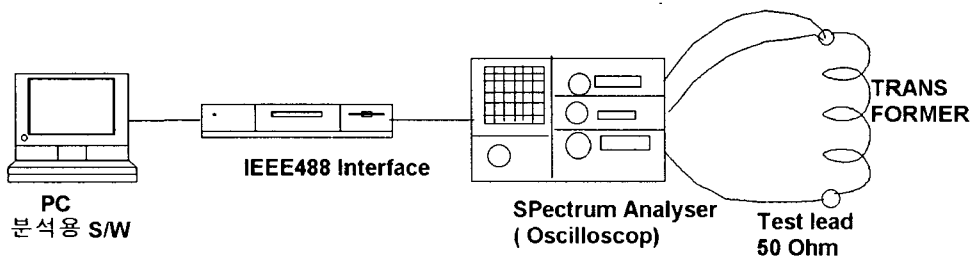
[그림 2] 신개념 고장물 곡선

## 2.4 전력용변압기, 고장 예방진단기법의 종류와 기본적 원리

고장 유형	원 인	예방진단 기법	원 리	비 고
전기적 절연 파괴	충격 전압 또는 과전압 침입에 의한 고체 절연물 열화와 절연유 열화	• 절연유 수분측정 • 절연역률 측정 (DOBLE TEST)	절연유의 수분 또는 절연물의 절연역률을 측정하여 절연물의 열화정도 판정	Off-Line
		• Polarization Spectrum	권선에 DC를 인가하고 회복전압 특성을 분석하여 변압기 권선의 절연상태를 판정	Off-Line
		• 부분방전	내부 부분방전을 센서로 측정하여 절연상태 판정	In-Service (On-Line)
		• 유중수소가스농도 감시 • 유중용해가스 분석	액체·고체 절연물의 열분해시 발생하는 수소기체의 유중용해가스 분석	In-Service (On-Line)
열적 과열	국부 과열 또는 방전에 의한 절연물 열화	• 유중용해가스 분석	유중 용해가스 분석으로 내부 과열 개소, Arcing 유무 판정	In-Service (Off-Line)
권선의 기계적 변형	고장전류에 의한 전자기계적 이완, 진동, 탈락 및 변형	• LVI법 (Low Voltage Impulse)	변압기 단자에 저압 충격파를 인가하여 그 응답파형을 분석하여 권선 변형도 측정	Off-Line
		• 진동측정	철심의 자화진동과 부하전류에 의한 권선진동을 정밀 분석하여 권선변형 검출	In-Service (On-Line)
		• FRA법 (Frequency Response Analysis)	변압기 권선에 5Hz~10MHz의 주파수를 입력하고 응답특성을 분석하여 내부이상 검출	Off-Line

### 2.4.1 FRA(Frequency Response Analysis)

- 변압기 내부의 기계적 변형을 검출하기 위한 현장시험 방법(Off-line)이다.
- 변압기 권선에 5[Hz]~10[MHz]의 주파수를 입력하고 응답특성을 분석한다.
- LVI(Low Voltage Impulse : 저전압 Impulse 응답특성 분석) 시험과 비슷하나 다양한 주파수의 사용과 주파수영역에서 분석한다는 점이 다름.
- 최근 FFT(Fast Fourier Transform)기술의 발달로 적용 가능해진 기술임.
- 분석방법
  - 주파수응답 특성 비교
    - 동일 변압기의 다른 상의 주파수 응답
    - 동일한 특성을 갖는 다른 변압기의 주파수 응답
    - 기대되는 응답의 형태
  - 저주파 응답특성
    - 철심의 이상, 권선의 층간단락 검출에 사용
  - 고주파 응답특성

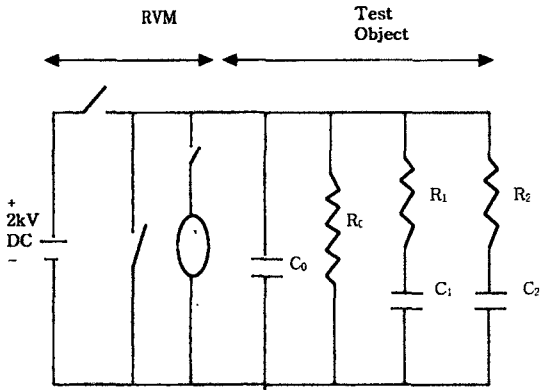


[그림 3] FRA 측정도

- 권선의 이상 검출에 사용
- 적용 경우
  - 변압기 진동 등 내부이상이 예상되나 가스분석, 절연역률, 권선저항, 권선비 측정 등 현장시험결과가 양호한 경우
  - 외철형 변압기와 같이 내부 점검이 곤란한 경우
  - 철심의 풀림, 이동, 손상으로 이상 진동이 발생하는 경우

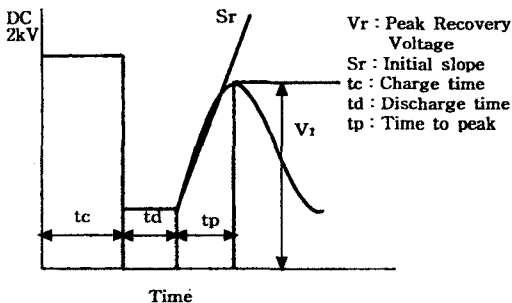
#### 2.4.2 Polarization Spectrum (Recovery Voltage Measurement)

- 유침지절연물의 수분함유량을 측정하여 변압기 권선의 절연상태를 평가하는 방법이다.
- 예전에는 주로 고체절연물(케이블 등)의 절연평가를 위해 사용되던 방법이었습니다.
- 최근 Recovery Voltage meter의 개발로 권선 절연평가를 위한 기법으로 자리잡아 가고 있음
- 측정결선 및 결과



$C_0$  : 변압기 자체의 정전용량,  
 $R_0$  : 변압기 자체의 누설 리액턴스  
 $R_1, R_2, C_1, C_2$  : 시험을 위해 연결하는 저항 및 정전용량

[그림 4] FRA 측정 결선도



[그림 5] FRA 측정 결과 파형도

- 분석방법
  - 변압기의 한 권선(주로 저압측)에 DC 2kV를 특별한 charging time으로 인가한다.(다른 권선과 외함은 접지, Charge time은 20[ms] ~ 5000[s]까지 가변)
  - 이후 인가시간의 약 1/2까지 방전이 되며  $S_r, V_r$  등을 자동 측정한다.
  - 유침지 절연성능은 측정결과 그래프를 분석하여 평가한다.
  - 일반적으로 절연성능은  $t_p$ 에 중속적이거나 온도, 인

가시간 등에 따라 변화함.

#### 2.5 변압기 예방진단 항목 검토

##### 2.5.1 권선 고장 예방을 위한 예방진단 방법 비교

구분	In-Service (On-Line)		OFF-Line
고장유형	전기적	부분방전 전자와 측정	절연역률측정
	기계적	진동분석	LVI, FRA
	열적	수소가스 센서	가스분석
응답성	빠르다(초기고장발견)		늦다.
난이도	어렵다		비교적 쉽다.
신뢰성	낮다.		비교적 높다
경제성	고가		비교적 저가
비고	가능성 평가를 위한 시범적용과 연구 병행		이상징후 발생시 고장 여부 판단에 활용

##### 2.5.2 변압기 예방진단 적용 추천항목

- 예방진단 대상 : 권선, OLTC, 기타
- 권선 예방진단 항목
  - On-Line 감시 : 초음파 센서를 이용한 부분방전 측정, 유중 가스
  - Off-Line 진단 : 절연역률측정, FRA(LVI), RVM 및 각종시험

##### 2.5.3 OLTC 고장 예방을 위한 예방진단 방법 비교

- OLTC 예방진단 항목
  - On-Line : 동작 Torque, 동작전류, 동작시간 시간
  - Off-Line : On-Line과 동일항목을 Off-Line으로 분석

적용기법	적용방안	진단방법	비고	
OLTC	동작 토르크	속 절단 후 토르크 센서 삽입	동력전달속의 토르크를 측정하여 진단	MR 중부전력 후지전기
	동작 전류	CT 사용	구동기 전류파형의 최대치를 계측하여 초기치와 비교	MR 일본 미국
	동작 시간	보조Ry 절결 이용	필철환시간을 검출 지연시간 관리치와 비교	MR 일본 미국
	유온	속온저항	기존의 방법과 동일	Gauge 변경
	유면	유면계	"	Gauge 변경
	가스	수소가스센서	"	Pipe 설치
	활선 여과 기압	압력계	"	Gauge 변경
점점 마모도	모델 이용	수학적계산에 의한 점점 모델과 비교	MR	

##### 2.5.4 기타 예방진단 방법 비교

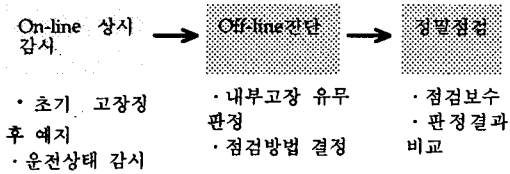
- 부하전류, 권선온도, 유온
- 변압기 운전이력, 잔여수명 평가 활용(대체기준, 교체기준 설정)

항목	적용센서	적용방안	비고	
본체	유온	속온저항계	기존 측정기연결부에 설치	Gauge 변경
	권선온도	광 Fiber	권선 내부에 내장	"
	유면레벨	유면계	기존 측정기연결부에 설치	"
	부하전류	광CT	기존 측정기연결부에 설치	"

### 3. 결론

On-line 상시감시는 세계적으로 초기단계이다. On-line 상시감시의 신뢰성 제고를 위해서는 Data 축적과 분석이 필수적이다. 전력용변압기에 대한 예방진

단의 향후 방향을 살펴보면 다음과 같은 점들이 반영되어야 할 것으로 본다.



- On-line 상시감시와 Off-line 진단의 적절한 조화
- 상호 보완적 기능의 백업
- On-line 상시감시 과도한 초기투자비 해소(경제성)
- On-line 시범적용 및 분석에 의한 신뢰도 확인과 검증의 선행
- 예방진단 분야에 대한 지속적 연구개발 필요

**(참 고 문 헌)**

[1] Timothy J. Noonan "Power Transformer Condition Assessment and Renewal, FRA Update" 64th Annual International Conference of Doble Clients, Paper 8B, 1997

[2] Paul Leemans, "Belgian Experience with FRA Measurements on 400/150/36kV, 150MVA Shell-Form Autotransformers" 65th Annual International Conference of Doble Clients, Paper 8F, 1998

[3] Alan Wilson "Development and Use of Recovery Voltage Techniques to Assess Transformer Winding Insulation Condition" 65th Annual International Conference of Doble Clients, Paper 8H, 1998

[4] 권동진 "765kV 변전기기 예방진단시스템 개념설계서" 한국전력공사 전력연구원, 1998

[5] 한국전력공사 송변전처 "주변압기 운영기준", 1998