

저손실형 일단접지 주상변압기의 성능평가 분석

박영창 · 김경운 · 허종철 · 황보국 · 노황래*
 한국전기연구원 · 한국전력공사 전력연구원*

Analysis of Performance Test of Low-Loss Pole Transformers for distribution Line

(Y.C. Park · K.U. Kim · J.C. Heo · B.K. Hwang · H.N. Roh*)
 KERI · KEPRI*

Abstract - In order to obtain the useful data for quality control of the pole transformer and supply the stable electric power in distribution line. The evaluation of performance for low-loss pole transformer had been performed for new products and ones under operation for several years in distribution line.

As the results, we found that the rate of fail were very high in gaskette, short-circuit strength and temperature-rise test, especially 48 percent in gaskette test.

1. 서 론

배전기자재 불량으로 발생하는 배전선로의 고장이 최근 5년간 전체 고장의 33.5%¹⁾를 차지할 만큼 큰 비중을 차지하고 있으며 이는 순간적인 정전이라도 전기의 공급이 중요한 역할을 차지하는 현대사회에서는 아주 많은 경제적 손실과 인명의 피해를 야기 시킨다.

특히 최근에 주상 변압기의 사고 및 폭발 등이 빈번히 발생하여 이에 대한 원인분석 및 사고예방에 대한 대책이 요구되어 지고 있다.

따라서 이러한 사고원인을 분석하고 이를 통한 사고의 사전 예방을 위해 배전용 저손실형 일단접지주상변압기에 대한 성능평가분석을 실시하고자 하며, 본 성능평가분석에 사용된 변압기는 신제품 및 실 배전선로에 사용된 경년품 변압기에 대하여 성능평가를 실시하였으며, 특히 실 배전선로에서 부하변동, 계절적인 온도변화, 순간적인 단락전류, 각종 써어지에 노출되어진 경년품 변압기를 신제품과 비교·평가하고 그 결과를 통해서 제작업체의 품질관리 기법의 개선을 통한 제품의 품질향상으로 경쟁력을 향상시키며 관련 시험규격의 제·개정을 통하여 제품의 결함을 사전에 예방하여 배전선로의 고장을 줄이고자 본 성능확인시험을 추진하였습니다.

1) 1998 전기고장 통계, 계통운영처, 1999.5

2. 성능평가

2.1 시료준비

본 시험에 사용된 시험품명 및 정격은 저손실형 일단 접지 주상변압기 단상 75kVA 13,200/230-115V 60Hz 이며, 시험품 수량은 신제품은 현재 한국전력공사에 납품하는 24개 제조업체에서 각 2대, 경년품은 실 배전선로에서 사용중인 변압기를 제조년도별(1994-1995, 1996-1997), 설치되어진 지역별, 제조업체별로 무작위 발췌하였으며 피시험 수량은 표 1에 나타내었다.

표1 제조업체 및 제작년도별 시험품수량

업체	연도	'94-		업체	연도	'94-	
		신품	'95-'97			신품	'95-'97
A	2	2	2	N	2	-	2
B	2	-	2	O	2	2	2
C	2	1	2	P	2	-	2
D	2	2	1	Q	2	-	2
E	2	2	2	R	2	-	-
F	2	-	3	S	2	-	2
G	2	2	2	T	-	-	2
H	2	1	3	U	-	-	2
I	2	2	2	V	2	-	2
J	2	1	1	W	2	-	2
K	2	2	2	X	2	-	-
L	2	1	2	Y	2	-	-
M	2	-	1	Z	2	-	-

2.2 시험기준

시험기준은 PS 114-511~527(1997.1)의 인정시험 항목을 기준으로 하였으며, 부하증가에 대한 온도상승 한도를 구하기 위하여 경년품의 동압력시료중 4대를 발췌하여 정격전류의 90%, 100%, 120%, 140%에 대해서 추가로 온도상승시험 하였으며, 경년품에 대한 절연시험(상용주파내전압시험, 유도내전압시험, 뇌충격내전압시험)은 신제품의 75%를 적용하여야 하나 본 시험에서는 신제품과 동일한 조건에서 시험하였음.

표2 시험항목별 시험방법 및 목적

시험항목	시험방법 및 목적
구조검사	겉도양, 표시상태 등의 구조 및 외형을 육안으로 검사
극성시험	1차 권선과 2차 권선의 감극성 여부 확인
변압비시험	권선비의 확인
무부하전류 및 무부하손실 측정	단락강도시험 전·후에 1차 또는 2차 권선 개방상태에서 2차 정격전압을 인가하여 전류 및 손실을 측정
부하손실 및 임피던스전압 측정	단락강도시험 전·후에 2차 회로를 단락하고 2차 정격전류를 인가하여 전압 및 손실을 측정
권선의 분할 교차측정	2차측 1개 권선을 단락하고 정격전류가 통전하도록 1차 전압을 인가한 상태에서 2차측 개로단자의 전압을 측정
전압변동율 측정	저항 및 리액턴스에 의한 전압강하를 계산
효율측정	무부하손실과 부하손실에 의한 효율측정
단락강도시험	단락강도시 권선의 기계적 강도 확인

시험항목	시험방법 및 목적
절연유시험	절연유의 계특성 측정
온도상승 시험	연속 정격출력 상태에서 권선과 절연유의 온도측정
뇌충격내전압시험	1차 권선과 대지간의 절연내력 확인
유도내전압시험	1차 권선의 turn 간의 절연내력 확인
상용주파내전압시험	2차 권선과 대지간의 절연내력 확인
유밀시험	온도상승시험 후 변압기를 6시간 거꾸로 방치하여 누유여부 확인
저압충격시험	단락강도시험 전·후의 권선의 기계적 변형으로 인한 리액턴스 변화확인

3. 시험항목별 규격요건

본 성능평가는 PS-114-511~527(1997.1), ANSI/IEEE C57.91(1987) 및 ANSI/IEEE C57.12.20(1997)에 따라서 실시되었으며 대략적 규격요건은 표2과 같다.

표3 시험규격요건

시험항목	규격요건
구조검사	구매시방서
극성시험	감극성
변압비시험	±1/200이내일 것.
무부하전류 및 무부하손실 측정	무부하손실 176 W 이하일 것. 여자전류 1.4 % 이하일 것.
부하손실 및 임피던스전압 측정	임피던스 3.2 ± 0.32 % 이내일 것.
권선의 분할교차측정	개방단자간 전압이 1.5 % 이하일 것.
전압변동율 측정	역률 1.0에서 1.4 % 이하일 것.
단락강도시험	대칭전류 4회, 비대칭전류 2회인가 후 단락강도시험 전의 절연내력시험치의 75 % 인가시 이상없을 것. 단락강도시험 전·후 저압충격전압시험의 전류파형 동일성 확인. 단락강도시험 전·후의 여자전류가 25 % 이상 증가하지 않을 것. 단락강도시험 전·후의 임피던스변화가 ± 7.5 % 이내일 것.
절연유시험	KS C 2301에 적합할 것.
온도상승 시험	권선 55 °C(저항법), 유온 50 °C(온도계법)이하일 것.
뇌충격내전압시험	1차 권선에 전압 125/145 kV, 극성 정극성, 반파 1회, 절단파 2회, 전파 1회인가시 이상없을 것.
유도내전압시험	1차 권선에 40 kV를 40초간 유지시킬 때 이상없을 것.
상용주파내전압시험	2차 권선에 3 kV를 1분간 인가시 이상없을 것.
동압력시험	외함내부에 설치된 gap 사이에 전압 7.2 kV, 전류 8 kArms, 통전시간 0.5~1.0 cycle의 arc 발생시 변압기 외함에 손상이 없을 것.

4. 성능평가결과

각 시험항목별 불량률, 세부 주요 불량내역, 연도별 단락강도시험 불량률 및 추이를 표4~표9에 나타내었다.

표4 시험항목별 불량건수 및 불량률

시험항목	불량	신품	경년품	
			'94-'95	'96-'97
가스켓시험	불량건수	11	주1)	주1)
	불량률(%)	45	-	-
단락강도시험	불량건수	7	14	7
	불량률(%)	30	64	70
온도상승시험	불량건수	4	2	0
	불량률(%)	16	10	0
분할교차시험	불량건수	2	0	0
	불량률(%)	8	0	0
유도내전압시험	불량건수	1	3	1
	불량률(%)	4	14	8
뇌충격내전압시험	불량건수	1	2	1
	불량률(%)	4	9	8
절연유시험	불량건수	1	7	5
	불량률(%)	4	32	42
특성시험	불량건수	0	3	0
	불량률(%)	0	14	0

주1) 경년품은 가스켓에 대한 시료발해가 불가능으로 생략하였음

표5 신품 저손실 변압기의 성능평가 시험 결과

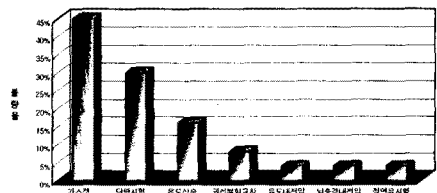


표6 경년품 저손실 변압기의 성능평가 시험 결과

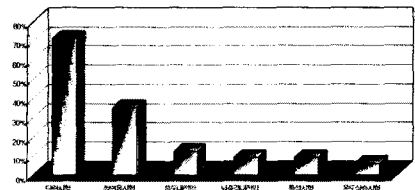


표7 신품 변압기 단락강도시험 세부불량내역

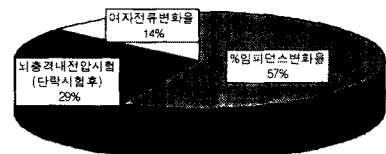


표8 경년품 변압기 단락강도시험 세부불량내역

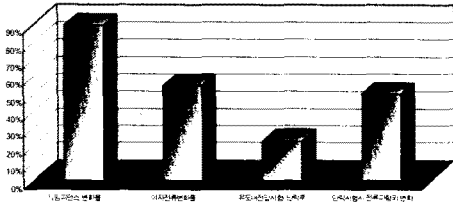


표9 단락강도시험 전·후 뇌충격시험파형 비교

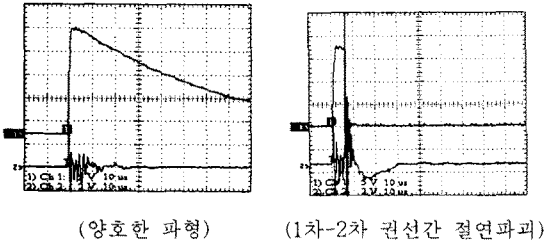
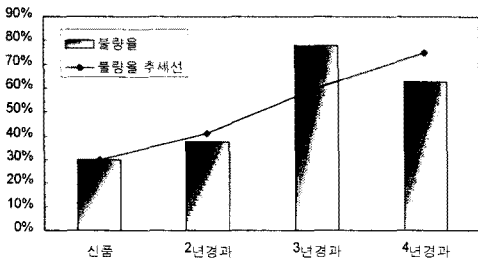


표10 경과 년도별 단락강도시험 불량률 및 추이



5. 성능평가 결과에 대한 분석

- 가스켓시험**
 각종 특성을 맞추기 위해 제조단계에서 사용하는 경화제, 가황제 등 각종 첨가제에 의한 영향으로 연신율이 나빠진 원인으로 추정됨
- 단락강도시험**
 물론 경년품과 신품을 같은 조건으로 시험하였지만 단락강도시험 후 중신을 조사한 결과 중신과 권선 및 철심의 지지방식이 신품변압기는 볼트조임으로 견고히 지지하여 권선 및 철심의 변형흔적이 없으나 경년품변압기는 강철패드로 밴딩한 변압기가 많았고, 대부분 단락기계력으로 인해 강철패드가 끊어져 중신을 외함 밖으로 꺼내어 관찰이 불가능 하였으며, 따라서 경년변압기가 신품에 비하여 단락강도가 더욱 불량인 원인 중 하나는 중신구조가 허술하기 때문으로 판단됨.
 단락기계력에 의한 철심의 재질특성변화, 권선의 기하학적 구조 변형으로 여자전류 및 %임피던스가 급격히 변화되었으며, 단락강도시험시 발생하는 열에 의하여 절연물이 손상되어 유도내전압시험 및 충격내전압시험에서 불량인 것으로 추정됨.
- 신품의 온도상승시험** 불량내역을 조사한 결과 유온도는 양호하나 권선온도가 초과하는 것을 보아 단락강도시험을 염려하여 지나친 바나시 함침으로 인하여 유온이 좋아져 냉각효과가 저하됨으로 인한 결과로 유추되며,
 경년품의 온도상승시험 불량률은 권선온도 보다는 유온도가 초과하는 것으로 보아 장시간 사용으로 인한

절연유의 부족 및 호흡작용에 의하여 수분이 침투된 것으로 유추됨.

- 절연유시험**
 불량내역을 조사해보면 내전압 불량, 전산가 불량, 체적저항률 불량, 산화안정도 불량으로 나타나서 이는 수분 및 산소에 의한 열화가 급격히 진행되었기 때문이며, 열화가 급격히 진행된 원인은 가스켓이 장시간 사용으로 인하여 균열이 많이 발생한 것으로 보아 이 곳을 통하여 수분 및 산소가 쉽게 침투된 것으로 판단됨.

4. 결론

- 본 논문에서는 각 제조업체별 신품과 선로에 사용중인 변압기를 발체하여 이상과 같은 성능확인시험을 거쳐 변압기를 평가하였으며 종합적인 결론은 다음과 같다.
- 가스켓은 변압기 절연유를 외부 대기와 밀폐시키는 역할을 하는 부품으로서 신품의 불량률 가운데 가장 높으며 불량률이 특정 가스켓 업체에 편중되어 있으므로 수입검사 및 부품업체의 선정기준을 강화할 필요가 있음을 사료됨.
 - 단락강도시험 불량률이 높게 나타났다. 경년품의 단락강도시험 불량률이 2년이 경과하면서 급격히 증가함을 볼 수 있다. 이는 경년품 변압기의 경년특성은 3년이 경과하면서 급격히 나빠지고 있다고 판단됨. 저손실형 일단점지 변압기의 규격인정시험의 불량률과 비교하면 상당히 높게 나타나는 것으로 보아 규격인정시험품의 제조공정과 양산품의 제조공정에 차이점이 있는 것으로 유추됨.
 - 온도상승의 초과는 변압기의 수명과 관계가 있는 만큼 저손실형 주상변압기의 규격인정시험과 동일한 설계에 의하여 제작되어야 할 것이며, 단락강도시험을 의식하여 지나친 바나시 함침 및 불량자재로 인한 이물질 발생인한 냉각효과가 감소되지 않도록 공정개선이 필요함.
 - 신품의 분할교차시험 불량률 제조업체에서 중간공정 검사 및 최종검사를 하지 않은 것으로 판단됨.
 - 경년품의 절연유시험 불량률은 신품의 가스켓시험 불량률과 많은 연관관계가 있는 것으로 추정됨.
 - 명판에 표시된 중량과 실 중량 큰 차이가 있는 것은 나타났다음. 이는 변압기 전반의 특성에 영향을 줄 수 있다는 측면에서 규격인정시험시의 설계자료와 일치시킬 필요성이 있음.
 - 품질향상을 지속적으로 유지하기 위하여 제조업체의 생산능력에 맞는 물량배정이 필요하며, 납품된 제품을 주기적으로 수거하여 성능시험을 실시하며, 우수 제조업체를 선별하여 품질경쟁제도의 도입이 필요함.

(참고 문헌)

- 한국전력공사. "저손실형 일단점지 주상변압기" PS-114-511-527-1997.1
- Test cord for liquid-immersed distribution, power, and regulating transformers and guide for short-circuit testing of distribution and power transformers. ANSI/IEEE C57.91-1987
- Guide for loading mineral-oil-immersed overhead and pad-mounted distribution transformers. ANSI/IEEE C57.91-1981
- General requirements for liquid-immersed distribution, power and regulating transformer. ANSI/IEEE C57.12.00-1987
- 한국전력공사. "배전기자재 성능확인 특성시험 조사연구(저손실형 일단점지 주상변압기)"
- 전기품질향상을 위한 배전변압기 세미나자료(한국전기연구원-1999. 5)