

100kVA 이하 유입식 배전용변압기의 과부하 판정기준 설정

*윤상운, 김재철, 이영석
 송실대학교 전기공학과

박창호
 한전 전력연구원

손화영
 한국전기연구원

Overload Criterion of Mineral-Oil-Immersed Distribution Transformers Rated 100kVA and Less

*Sang-Yun Yun, Jae-Chul Kim, Young-Suk Lee
 Soongsil Univ.

Chang-Ho Park
 KEPRI

Hwa-Young Shon
 KERI

Abstract - This paper covers general recommendations for top-oil temperature rising of mineral-oil-immersed power distribution transformer rated 100kVA and less, manufactured in Korea. In order to analyze the top-oil temperature rising due to the distribution transformer loading, we performed experiments for oil-immersed distribution transformer, manufactured in domestic at KERI (Korea Electrical Research Institute) from December 2000 to May 2001. The magnitude of loading were changed, and the top-oil temperatures for each time were measured. Finally, we present the overload criteria of distribution transformer for summer and winter season in domestic, respectively.

1. 서 론

산업발달에 따른 전력수요의 증가와 대도시의 전력수요 집중현상 및 수용가 전력설비의 대용량화 추세는 전력공급의 여건을 한층 악화시키는 반면, 국민 생활수준의 향상과 고도 정밀산업의 급격한 성장은 전력공급의 질적 향상에 대한 사회적 요구를 더욱 크게 하고 있다. 배전시스템의 최 말단의 전력설비인 배전용 변압기는 수용가에 직접 전력을 공급하는 매개체이며 배전용 변압기에 의한 전력공급의 중단은 수용가 및 전력회사의 신뢰도 및 전력품질의 심각한 저하를 초래한다.

배전용 변압기의 과부하 소손 사고는 유분출 및 폭발 등을 수반함으로써 수용가로 하여금 막대한 잠재적인 전력 공급의 신뢰성 저하를 야기하며, 그 복구 및 재공급에 많은 시간 및 비용을 소비하게 만든다. 이러한 이유 때문에 국내외의 대부분의 전력회사들에서는 각기 해당 시스템의 상황에 적합한 과부하 기준을 제정하여 운용하고 있다 [1, 2]. 그러나, 국내의 경우 약 20여년 전에 국외에서 제정된 규격에 근거하여 과부하 기준을 제정하여 사용하고 있으며 최근의 배전용 변압기의 사양 변화 및 수용가의 부하 특성과는 많은 차이점을 보이는 것이 현실이다 [3]. 따라서, 국내 배전용 변압기의 사양에 부합하는 개선된 과부하 기준의 제정이 요구된다.

본 논문에서는 실험을 이용한 100kVA 이하급 유입식 배전용 변압기의 최상부 유온 상승특성을 제시하고자 한다. 이를 위해 한국전력공사의 사용중인 배전용 변압기를 용량별로 수집하여 총 20대에 대해 실험하였다. 실험에는 단락부하법이 사용되었으며 각 시료에 대해 과부하율과 기저부하율이 가변되며 실험되었다. 변압기 최상부 유온은 주변온도와 더불어 시험 시작시점부터 종료때까지 지속적으로 기록되었다. 실험으로부터 얻어진 결과를 종합하여 하계 및 동계에 각 변압기 용량별 과부하 판정 기준을 제시하였다. 본 논문으로부터 얻어진 결과는 향후 국내 배전용 변압기의 과부하 판정기준의 보완을 위해 사용될 수 있을 것이다.

2. 국내 배전용 변압기 과부하 판정기준

국내 배전용 변압기의 과부하 여부의 판정은 실제 과부하가 예상되는 시점인 하계(8월) 및 동계(1월)에 실시되는 것이 아니라 변압기의 교체 작업시점인 춘계 및 추계에 실시된다. 과부하 여부 판정을 위한 요소는 변압기의 과부하율이다. 그림 1에 개별 변압기별 과부하율 산정의 개요를 나타내었다 [4].

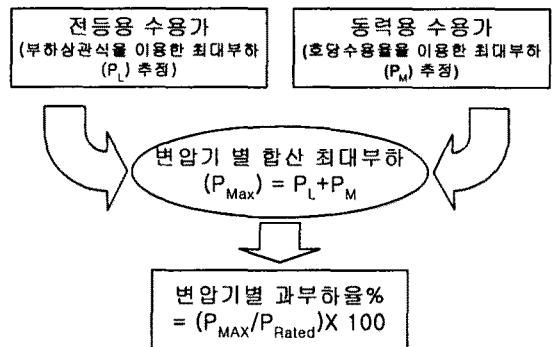


그림 1. 배전용 변압기 과부하율 산정의 개략도

이렇게 산정된 과부하율은 표 1의 변압기 결선별 기준에 따라 과부하 여부를 판단하는데 이용된다. 국내의 과부하 판정기준의 경우 표 1에 보는 바와 같이 130%를 기준으로 하여 100~130%를 결선 및 공급방식별로 차등 적용하고 있다. 130%의 기준 설정은 ANSI/IEEE C57.91-1981 규격 [5]의 실험 결과를 참조하여 작성된 것이다.

표 1. 배전용 변압기 결선별 과부하 판정기준

결선 방식	과부하율%
1φ 2ω식 220V	130
1φ 3ω식 220/110V	110
3φ 3ω식 200V(Δ)	130
3φ 4ω식 220/110V	공용 : 110 전용 : 130
3φ 4ω식 220/380V	110(동일용량 변대)

표 2는 국내 배전용 변압기 과부하 판정기준의 근거 자료로 사용된 ANSI/IEEE C57.91-1981 규격의 실험결과 중 일부를 정리한 것이다. 표 2에서 보는 바와 같이 과부하 지속시간 4시간을 기준으로 130% 수준으로 운전시 정상수명을 유지할 수 있는 점을 들어 국내의 과부하 판정기준을 130%로 선정하였다.

이와 같은 기준의 설정에 가장 큰 당위성을 부여하는 것은 다름 아닌 이 기준이 변압기의 온도상승에 의한 급작스런(정상적인 경년열화가 아닌) 수명손실을 초래하지 않는 운전범위라는 점이다. 즉, 이러한 기준내에서 변압

기를 운전할 경우 원래 변압기의 수명을 유지시킬 수 있다는 가정을 하고 있는 것이다.

표 2. ANSI/IEEE C57.91-1981 규격

구분	직전부하 50%		직전부하 75%	
	과부하율(%)	지속시간	과부하율(%)	지속시간
정상수명 유지범위	139	4	133	4
	165	2	154	2
수명손실 범위	171	8	169	8
	229	2	222	2

변압기의 수명과 관련하여 절연물의 종류에 따라서 사용온도의 한도가 정해져 있으며 변압기의 온도상승한도는 절연물의 허용 최고온도와 변압기 규격에 적용된 장소의 등가 주위온도(냉매온도)를 기초로, 변압기가 정격용량으로 운전될 경우 30년 정도의 수명을 기대 가능한 것을 전제로 정해져 있다. 표 3에는 절연물의 최고 허용온도를 나타내었다.

표 3. 절연물의 최고 허용온도

	분류	JEC-2200	ANSI.C57. 12	IEC 76
절연물 의 최고허 용온도	A	105	105	105
	E	120	-	120
	B	130	150	130
	F	155	185	155
	H	180	220	180
	C	180을 초과	220을 초과	180을 초과

변압기 각부의 온도와 냉각매체인 공기의 온도(주위온도)와의 차를 온도상승이라 하며 국내의 경우 유 온도제법에 따라 외기와 직접 절연유가 접촉할 경우(주상변압기와 같은 경우) 절연유 최상부 온도의 상승 제한치를 정격부하(100% 부하)에 대해 50K로 규정하고 있다(6). 이것은 표 3의 A종 절연물의 최고 허용 온도인 105℃를 기준으로 한 것이다. 이 최고 허용 온도는 변압기의 최고 온점 온도(hottest spot temperature)를 기준으로 한다. 여기서, 주변온도는 가장 최악의 경우인 40℃를 가정하고, 정격부하에서 최상부 유온과 권선 평균온도와의 편차를 약 10℃로 가정하며 권선의 평균온도와 최고 온점 온도와의 편차를 역시 5℃정도로 가정하여 최상부 유온의 온도상승 제한치를 50K로 결정한 것이다.

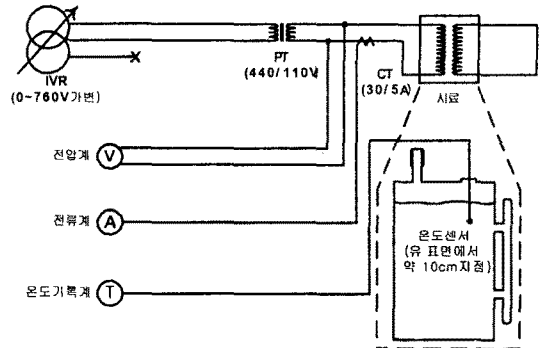
3. 변압기 과부하 실험

일반적으로 변압기 온도상승 시험이란 변압기를 정격부하에서 운전했을 때 유온 및 권선 온도 상승이 규격이 정하는 일정 한도 내에 있는가를 검증하는 시험으로 변압기 실 용량을 검증 받는 시험이라 할 수 있다. 그러나, 본 논문에서는 변압기에 가해지는 부하 크기를 가변하면서 그 온도상승 특성을 시간별로 측정하는 것을 그 목적으로 하였다.

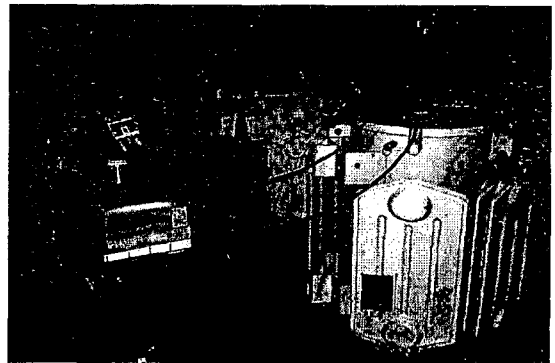
온도 상승 시험 방법에는 실 부하법, 반환부하법 및 단락시험법(등가부하법) 등이 있으며 일반적으로 시험실에서 유입변압기의 정격상태 및 과부하 온도상승 측정을 위한 방법은 단락회로를 이용한 등가부하법을 이용한다(7). 부하가변 시험에 앞서 우선 부하 및 무부하 시험을 통해 동손 및 철손을 각각 측정하였다. 단락 시험법의 일반적인 순서는 다음과 같다.

- 1) 2차 권선을 충분한 용량으로 단락하고 1차 권선에 전손실분에 해당하는 등가 전류를 공급함
- 2) 시간당 온도변화가 1℃ 이상 상승하지 않을 때 해당 부하 크기에서 온도는 포화된 것으로 간주함
- 3) 부하를 인가하기 전 주위온도와 온도 포화 후 유온과의 차이를 유온상승 값을 산출함

온도상승 시험은 한국전기연구원 전력시험소의 변압기 시험 설비를 이용하여 시행되었으며, 시험의 결선도 및 시험 모습을 그림 2(a) 및 그림 2(b)에 각각 나타내었다. 그림 2(b)의 경우는 변압기 특성이 유사한 것 2대를 병렬로 동시시험하는 모습이다.



(a) 결선도



(b) 실제 시험모습

그림 2. 배전용 변압기 최상부 유온상승 시험

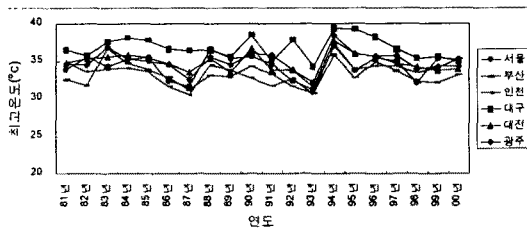
시험에 이용된 변압기는 총 20대이며 시험결과와 현장적용을 위해 시험 시료 추출 당시 한국전력공사의 운전중인 변압기를 대상으로 하였다. 변압기는 30, 50, 75 및 100kVA 용량별로 각 5대씩 추출하였으며 시험에 들어가기전에 다음과 같은 시험 조건을 마련하였다.

- 1) 변압기 과부하 시험은 각 시료별로 정격부하에 대한 온도상승시험을 우선 실시하며 시험의 지속시간에 대한 규정은 온도가 포화상태에 도달할 때까지로 함
- 2) 변압기 과부하 시험시 직전 부하 25%, 50% 및 75%에 대해 각각 온도 포화 후 과부하 가압하도록 함
- 3) 과부하 가압은 100%에서 10%씩 상승시키며 160%를 최대치로 제한함
- 4) 주변온도 및 정격부하에 대한 온도 포화 시험시의 기준은 시간당 온도 변화가 1℃ 이하일때를 기준함
- 5) 과부하 시험의 최대 지속시간은 8시간으로 함

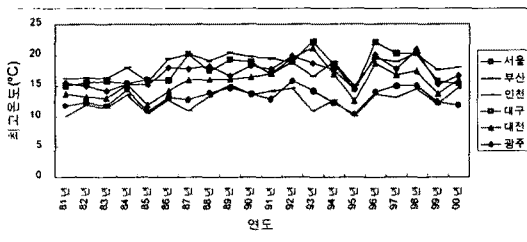
- 6) 변압기 최상부 유온의 최대 허용치는 A종 절연물의 허용치인 105℃에 준하여 110℃로 하며, 8시간 전에 110℃에 도달할 경우 즉시 시험을 중단함
- 7) 압력 팽창으로 변압기 방압벽에서 절연유가 분출될 경우 즉시 시험을 중단함
- 8) 온도 측정부위는 변압기 최상부 유온, 주위 온도, 방열판 상부 및 하부의 총 4개소를 측정함

3. 최상부 유온상승 값에 따른 배전용 변압기 과부하 판정 기준

현재의 배전용 변압기 과부하 기준은 앞서 언급한 것처럼, 주변온도 40℃일때의 최상부 유온 상승치 50K에 기준하고 있다. 이러한 기준은 절연물의 최고 허용온도를 기준하여 이 온도를 초과할때는 변압기의 정상적인 수명 손실이 아닌 부가적인 손실이 발생한다는 것 때문이다. 이러한 기준은 하계의 높은 주변온도를 감안하여 만들어진 것이며, 따라서 동계의 경우 많은 차이가 발생할 수 있다. 동하계의 주변온도 변화를 확인하기 위해 그림 3(a) 및 그림 3(b)에 전국 주요도시의 1981년에서 2000년까지 20년간의 하계(6-8월) 및 동계(12-2)의 최고 온도를 도시하였다 [8]. 그림 3(a)의 하계의 경우 20년간 최고 온도를 기록한 것은 1994년 대구의 39.4℃이며, 그림 3(b)의 동계의 경우 1993년 역시 대구의 22.2℃이다. 따라서, 하계 주변온도 기준은 현행과 같이 40℃가 적정하며 동계의 경우는 약 20℃가 적정한 것으로 나타났다. 즉, 하계의 경우 최상부 유온의 상승 기준치는 현행과 같은 50K로하고, 동계의 경우는 여기에 20℃를 부가한 70K로 하는 것이 적정하다.



(a) 하계



(b) 동계

그림 3. 주요 도시의 동·하계 최고 온도

본 논문의 실험결과에 따라 하계 및 동계의 과부하 판정기준을 표 4에 나타내었다. 이 기준은 하계의 경우 기저부하, 최대부하 크기 및 변압기 용량별 각 조건에서 최상부 유온의 상승치가 50K인 시점을 나타내고 있으며 동계의 경우 70K인 시점을 나타내고 있다. 표 4에서 볼 수 있는 것처럼 변압기 용량별 30kVA 급에 비해 50kVA가 과부하 도달시간이 전반적으로 길어진다. 또한, 30 및 50kVA 급에 비해 75 및 100kVA 급 변

압기의 과부하 도달시간은 같은 조건하에서 짧아진다. 이것은 변압기 내면적에 의한 것이라 판단된다. 30kVA 급에 비해 100kVA급 변압기는 그 용적이 3배 이상이 되어야 하지만 실제적으로 변압기 크기는 그 정도 차이가 나지 않는다. 이것이 변압기 최상부 유온의 상승특성에 영향을 주고 있는 것을 판단된다.

표 4. 배전용 변압기 과부하 기준
(단위: hour, -: 24시간내에 과부하 위험 없음)

용량 kVA	과부하		100%	110%	120%	130%	140%	150%	160%
	직전부하	하계							
30	25%	하계	-	10.0	5.3	3.8	3.0	2.7	2.0
		동계	-	-	18.5	10.5	6.7	4.9	4.0
	50%	하계	-	5.5	4.2	3.3	3.0	2.6	1.7
		동계	-	-	17.5	10.0	7.5	5.3	3.6
	75%	하계	-	4.9	2.6	1.8	1.3	1.0	0.9
		동계	-	-	14.4	6.2	4.4	3.5	3.0
50	25%	하계	-	10.1	6.0	4.4	3.6	3.1	2.6
		동계	-	-	14.8	8.2	5.7	4.7	
	50%	하계	-	9.4	4.9	3.7	2.6	1.9	1.7
		동계	-	-	22.7	12.9	7.7	5.5	3.7
	75%	하계	-	8.9	4.2	2.6	1.7	1.2	0.9
		동계	-	-	20.5	10.3	5.5	3.5	2.5

4. 결론

본 논문에서는 100kVA 이하 용량의 배전용 변압기의 과부하에 의한 최상부유온의 상승특성을 실험에 의해 분석하고, 각 용량별 과부하 판정기준을 제시하였다. 실험에 의해 용량이 커질수록 과부하에 의한 유온상승 특성이 빨라짐을 알 수 있었으며, 기저부하 크기에 의해서도 특성 변화가 심함을 알 수 있었다. 본 논문의 결과는 향후 배전용 변압기 과부하 판정기준의 개선에 유용한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

(참고 문헌)

1. 한국전력공사 전력연구원, 주상변압기 부하관리 개선에 관한 연구(최종보고서), 한국전력공사, 1999년.
2. J.A. Jardini, H.P. Schmidt, C.M.V. Tahan, C.C.B. De Oliveira and S.U. Ahn, "Distribution transformer loss of life evaluation: a novel approach based on daily load profiles," IEEE Trans. on Power Delivery, vol.15, no.1, pp.361-366, January 2000.
3. 한국전력공사 전력연구원, 배전용 변압기 최적 부하관리 방안 연구(중간보고서), 한국전력공사, 2001년 8월.
4. 한국전력공사 배전처, 저압부하관리 업무편람, 한국전력공사, 1999년.
5. ANSI/IEEE Std C57.91-1981, IEEE guide for loading mineral-oil-immersed overhead and pad-mounted distribution transformers rated 500 kVA and less with 65 degrees C or 55 degrees C average winding rise.
6. 최도혁, 윤용환, 민경래, 김재철, "최상부 유온을 이용한 배전용 변압기의 진단 기법," 대한전기학회 논문지, 제 49권, 제 5호, pp.242-251, 2000년 5월.
7. 한국전기연구소 출판부, '99 변압기 실무기술, 한국전기연구소, 1999년.
8. 기상청 홈페이지, <http://www.kma.go.kr>.