변압기철손 측정시스템의 측정 불확도

강 택 수
한국전기연구원*

Review of the measurement uncertainty of Tr no-load loss measuring system

T S. Kang*
KERI*

Abstract - For the reliable evaluation of the distribution and power transformer no-load loss measurement, measurement uncertainty of the transformer measuring system, consisted of current transformer, potential transformer and power metering equipment is required. In this paper, we describe the uncertainty of transformer measuring system based on ANSI/IEEE C57.12.90.

1. 서 론

변압기의 여자전류 및 손실특성에 대한 성능평가는 특성측정시스템의 전압, 전류전원의 환경, 변류기, 계기용 변압기 및 손실측정용 계측기등으로 이루어지는 변압기 특성 측정시스템의 정확도에 의해 평가된다.
또한 이들 측정시스템으로부터 얻어진 측정의 결과에 대한 높은 신뢰도를 얻기 위해서는 측정시스템의 측정불확(Measurement uncertainty)를 확보하는 것이 필요하다. 또한 ANSI C57.12.90(1999) - IEEE Standard test code for liquid-immersed distribution, power and regulating transformers에서도 변압기특성 측정시스템의 측정불확도요건을 제시하고 있다. 따라서 본 논문에서는 변압기 측정시스템의 불확도 요인검토 및 시스템 불확도를 평가하고자 한다.

요소	불확도
손실(CT, PT, Watt meter)	± 3 %
전압 및 전류	± 0.5 %
저항	± 0.5 %
온도	± 1.0 ℃

표1 변압기특성 측정시스템의 요건

따라서 본 논문에서는 ANSI/IEEE C57.12.90에서 요구되는 변압기 측정시스템요건에 대해서 언급하고, 시험소가 보유하고 있는 변압기 측정시스템의 전압 및 여자전류 및 무부하손실 측정시스템의 측정불확도에 대해서 언급한다.

2. 본 론

2.1 변압기 철손 측정시스템의 구성

변압기 철손 측정시스템은 그림 1과 같이 ①유도전압조정기(IVR),②Transformer, ③Current transformer, ③ Potential transformer, ③Digital Power meter 전압 측정용 분압기 및 Digital volt meter 로 구성되어있다.

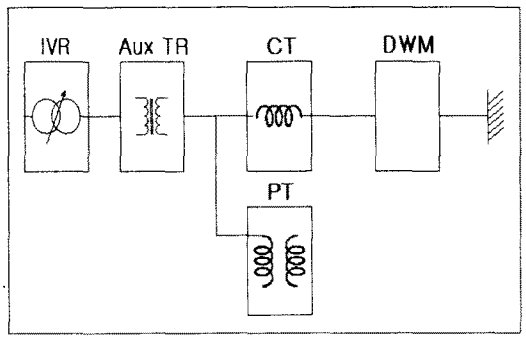


그림 1 변압기 무부하손실측정 구성회로

2.2 불확도 평가에 필요한 요건

측정시스템의 불확도 평가를 위해 실시된 교정의 종류는 다음과 같다.
1) 전압측정시스템
- 계기용변압기(Potential transformer)

2) 전류측정
- 변류기(Current transformer)

3) 손실 측정시스템

2.3 여자전류 및 손실측정시스템 구성

변압기 여자전류 및 무부하손실 측정에 대한 시험회로 구성은 변류기 및 전류계, 계기용 변압기 및 전압계(평균치 및 실효치측정) 및 손실측정을 위한 전력계로 구성되며 본 논문에서는 그림 2와 같이 2전력계법으로 구성하였다.

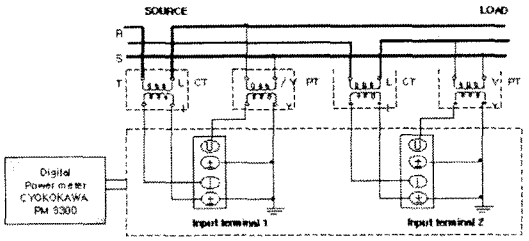


그림 2 여자전류 및 손실 측정시스템 회로(2전력계법)

2.4 무부하손실의 보정방법

변압기 무부하손실에 주로 영향을 주는 요소로는 다음과 같이 인가전압파형에 대한 보정과 온도보정으로 크게 나누어진다.

2.4.1 전압파형보정

무부하손실 측정시 인가전압파형이 비 정현파인 경우 , 정현파(Sinusodial wave) 전압에 대한 손실로 보정이 되어야한다.

IEEE C57.12.90에서는 보정시 보정손실이 5%를 초과하는 경우에는 인가전압 파형을 정현파로 개선한 후에 손실을 측정하도록 규정하고 있으며, 보정손실은 다음과같다.

Pc(Tm) = Pm/(P1+kPm)

여기서 Tm : 시험시 상부유온(℃)

Pc(Tm) : Tm온도에서 파형 보정시 무부하손

Pm : Tm에서 측정시 무부하손

P1 : HIysterisis 손실(p.u)

P2 : Eddy current손실(p.u)

$k = (Er/Ea)^2$

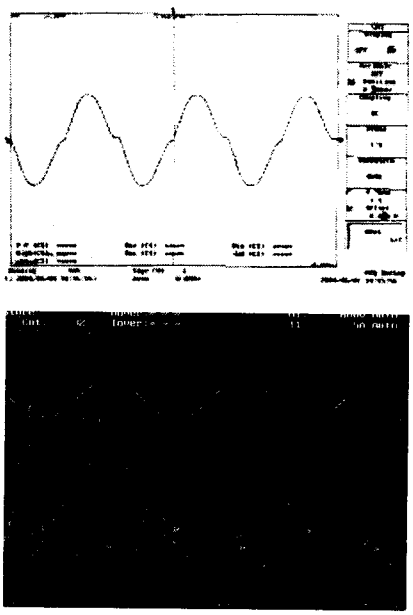
여기서 무부하 손실측정시 와류손실은 여자전압의 제곱에 비례함을 알수있다.

Er : 전압계에 의해 측정된 실효치전압

Ea : 전압계에 의해 측정된 평균치전압

여기서 P1(HIysterisis 손)과 P2(Eddy current손)을 알고있는 경우는 P1= P2 = 0.5(p.u)로 계산한다.

여기서, k=1, Pc(Tm)=Pm)



상부 : 전압파형, 하부 : 전류파형

그림 3 철손측정시 시험전압파형

2.4.2 온도보정

변압기 무부하손실은 철심의 온도에 영향을 받기 때문에 무부하 손실 측정시 기준온도로의 환산할 필요가 있다. 하지만 무부하손을 변화시키는 원인이 설계에 따라 또는 동일한 설계에서도 변압기에 따라 다르므로 변압기의 운전조건에 맞는 정확한 계산식의 표현은 실용적이지 못하다 따라서 아래와 같은 조건이 만족되면 보정을 하지 않아도 된다

① 변압기 상부 유온이 기준온도(20℃)의±10℃ 이내

② 상하부 유온의 차가 5℃를 넘지 않을 것(변압기내부 온도가 균일)

만일 어떠한 이유로 시험이 규정된 온도범위 밖에서 이루어질 경우 다음과 같은 경험식으로 기준온도로 환산할 수 있다

여기서 Pr(Tr) = Pc(Tm)(1+(Tm-Tr)Kt)

Pc(Tr) : 기준온도 Tr로 보정한 무부하손

Pc(Tm) : 온도 Tm에서 파형보정한 무부하손

Tr : 기준온도(20℃: ANSI C57. 12.00 5.9)

Kt : 온도(℃)당 무부하손 변화계수

만일 Kt의 실제값을 알 수 없는 경우 0.00065 p.u의 값을 적용한다.

기여 성분구분	기여성분		기여도 (표준불확도)	종류	확율 분포
계통불확도 (Us)	PT 교정불확도 (교정성적서)	a1	탭 최대치 : 0.15%(440/110V)	B	1/2
	CT 교정불확도 (교정성적서)	a2	탭 최대치 : 0.08%(150/5A)	B	1/2
	Digital Power Meter 교정 성적서	a3	0.039%(120V, 20A)	B	1/2

표 1 불확도 기여성분

* 계통불확도(B Type)

여기서 계통불확도는 유효자유도는 ∞, 신뢰도 95%(k= 2)에서 다음과 같다..

$$U_s = 2\sqrt{\frac{0.15^2}{2} + \frac{0.08^2}{2} + \frac{0.039^2}{2}} \fallingdotseq 0.24\%$$

* 10회 반복측정에 의한 표준편차

$$S = \sqrt{\frac{1}{10}\left[(F_i - F_m)^2 ..... (F_{10} - F_m)^2\right]}$$

* 우연불확도(A Type)

$$U_r = \frac{t.s}{\sqrt{n}} = \frac{0.24 \times 0.000}{\sqrt{10}} \fallingdotseq 0\%$$

* 반복측정에 의한 표준편차를 계측기가 digital 장비로 무시하였음

* 총합불확도(확장불확도)

$$U = \sqrt{U_s^2 + U_r^2} = \sqrt{0.24^2 + 0.0^2} = 0.24\%$$

3. 결 론

시험실 변압기 철손 측정시스템의 ANSI/IEEE C57.12.90(1999)의 요건에 따른 불확도 산출에는 CT, PT 및 digital 계측기에 대한 기여요소는 반영되었으며, 손실 측정시 무부하전압 인가시 정현파 파형에 대한 보정은 보정손실이 5% 이하로 보정을 하지 않았으나
철심 온도조건에 따른 계산보정은 변압기 설계조건 및 운전조건에 따라 다르므로 온도조건에 따른 기여성분은 더 많은 고려가 되어야 할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

1) ANSI/IEEE C57.12.90(1999). IEEE Test Code for liquid-immered distribution, power and requlation transformers

2) IEC 60076-1(2000). Power transformer part 1-General

3) IEC 60060-2(1994), Amendment. high-voltage test technique. part 2 : Measuring system.