

몰드형 계기용 변압 변류기의 설계 및 적용기술

조국희, 장창호*

한국전기연구원, *동우전기공업(주)

The Design and Test Technology of Metering Out Fit

Kook-Hee Cho, Chang-Ho Jang

Korea Electrotechnology Research Institute, Dongwoo Electric Corp.

Abstract - 계기용 변압변류기는 전력량계로 고압 이상의 전기회로의 전기사용량을 적산하기 위하여 고전압과 대전류를 저전압과 소전류로 변성하는 장치이다. 구조는 한 용기안에 PT와 CT가 함께 내장되어 있는 형태로 되어 있으며 한국전력공사와 전력량을 거래하는데 목적으로 수변전설비에 설치하는 전력용 기기의 일종이다. 진원설비의 공사비중에서 계기용 변성기가 차지하는 비율은 미비하지만 역할은 매우 중요하여 선정이 잘못 될 경우 전력차단기 및 제어설비 등이 기능을 할 수 없게 되므로 고려해야 할 사항과 설계기술 및 시험기술은 매우 중요하다.

1. 서 론

계기용 변성기는 일반적으로 수변전 설비에서 고전압, 대전류를 취급하므로 계측이나 제어용으로 직접, 배전반의 기기나 계전기에 인입하는 것은 위험하다. 따라서 전압, 전류에 비례한 저전압, 소전류로 변성해서 인입하고 있다. 이 저전압, 소전류로 변성하는 장치가 계기용 변성기로 일반계기용 JIS C와 전력수급용 JIS C 2종류가 있다. 계기용은 계기용 변압기 PT(VT), 변류기(CT), 변압 변류기(VCT 또한 PCT) 및 영상변류기(ZCT)의 총칭이다. MOF(계기용 변압변류기)는 전력량계, 무효전력량계 및 최대수용전력량계와 조합해서 전력수급용으로 사용한다. 일반적으로 계기용 변압기와 변류기를 동일한 철제 오일 탱크에 넣은 구조이다. 그러나 최근에는 몰드형 계기용 변압변류기의 사용이 증가하는 추세이다.

MOF는 한전전력계통이 접지되어 있기 때문에 MOF의 1차측을 접지하나 접지하지 않으나 지락사고 시 건전상에 선전압이 걸리는 것은 동일하다. 수용가의 배전계통이 비접지방식일 경우 계기용변압기의 1차측을 접지하지 않으면 선로에서 지락사고 시 과도이상전압(아아크 지락사고 시 정상전압의 600%)이 유기되어 계기용변압기를 소손시킬 수도 있다. 따라서 아아크 지락사고 시 과도이상 전압은 크나 불꽃 소손피해는 없으므로 수용가의 배전계통이 접지방식일 경우는 MOF와 동일하게 취급하면 된다.

2. 본 론

2.1 몰드형 계기용 변압변류기 설계기술

2.1.1 몰드형 계기용 변압변류기 과전류 강도계산

1) MOF CT 열적 과전류강도

○ PF 용단시간(PF는 200AT K TYPE 적용)

표 1. 과전류에 따른 PF 용단시간

과전류(A)	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000
퓨즈(AT)					
200 K(초)	0.08	0.05	0.04	0.029	0.02

○ 최대비대칭단락전류(I_{max}) 값이 흐를 때용단시간 t 초를 고려한 단시간 과전류

$$S = \frac{S_n}{\sqrt{t}} \text{ 에서}$$

$$S_n = S \sqrt{t}$$

S:동전시간 t초에 있어서 정격과전류강도(내전류)

S_n:정격과전류강도(내전류)

○ MOF CT 열적 과전류강도

PF 용단시간(t초)을 고려한 단시간 최대비대칭 단락전류 실효치를 계산하여 과전류강도(배수)의 적용한다. 최대비대칭단락전류(실효치) = 대칭단락전류 × α계수 (α는 실효치로서 X/R값에 의하여 결정)

2) 단락전류 계산

$$\text{단락전류 계산식 : } I_s = \frac{100 \ln}{\%Z} = [A]$$

$$\begin{aligned} \%Z &= \text{공급변압기 } \%Z + \text{배전가공전선로 } \%Z \\ &= j32.2 + (3.47 + j7.46) \times 1 = 3.47 + j39.66 \\ &= 39.81(\%) \end{aligned}$$

○ X/R 값에 의한 α계수

$$X/R = 39.66 \div 3.47 = 11.429 \quad (\alpha = 1.473)$$

○ 대칭단락전류(실효치)를 구함

$$I_s = \frac{100 \ln}{\%Z} = \frac{100 \times 2,521}{39.81} = 6,332[A]$$

○ 최대비대칭 단락전류(실효치)를 구함

$$I_{max} = I_s \times \alpha = 6,332 \times 1.473 \div 10^3 = 9.32[kA]$$

○ 최대비대칭 단락전류 계산값(I_{max}) 9.32[kA]을 기준으로 PF동작시간) 단시간 과전류 값을 구하면

$$\begin{aligned} I_{pf} &= I_{max} \times \sqrt{0.02 \text{초}} = 9.32 \times 0.1414 \\ &= 1.317 [kA] \end{aligned}$$

○ 따라서 MOF 과전류강도(배수)는 다음과 같다.

$$S_n = I_{pf} / \text{정격1차전류} = 1,317 / 150 = 8.78\text{배}$$

수용가에 필요한 MOF의 과전류강도는 8.78배 이상인 정격과전류강도를 갖는 제품이 설치되어야 하며 규격품인 40배의 것을 사용하여야 한다.

표 2. 변류기의 정격과전류 강도

정격과전류 강도	보증하는 과전류
40	정격 1차전류의 40배
75	정격 1차전류의 75배
150	정격 1차전류의 150배
300	정격 1차전류의 300배

2.1.2 몰드형 계기용 변압변류기 설계 기준

계기용 변성기는 전류 또는 전압의 1차적인 전기량을 측정계기, 전력계, 보호계전기 등, 접속된 장치에 적합한 비례적인 전압 또는 전류를 2차량으로 바꾸어 주는 일종의 전기기기이다.

○ 1차 권선은 측정되어야 할 전류나 전압이 공급

○ 2차 권선은 측정계기, 전력계, 보호계전기에 연결

○ 2차회로는 2차권선에서 공급되는 외부회로

- 계급은 특정 조건하에서 측정된 오차의 한계값 (예. class 0.5또는 1.0)
- 최고 허용 연속동작전압 Um 이것은 절연구성상 정상 동작 조건하에서 발생하는 최고 공급계통 선간전압(KV : RMS值)이다. 외부요인에 기인한 전압 과도현상이나 급작스러운 전압 변동은 고려되지 않는다.
- 절연수준 일군의 내전압을 말하는 것으로 절연은 반드시 이 전압치에 견뎌낼 수 있어야만 한다.
- 정격주파수 변성기 설계상의 주파수이며, 명판에 Hz로 표시
- 정격 변성비 Kn 변류기의 경우 $I_{1n}:I_{2n}$ 이고 전압변성기의 경우 $V_{1n}:V_{2n}$ 예. 100A/5A, 6600V/110V와 같이 약분하지 않은 가분수로서 나타낸다.
- 정격부담 역률 $\cos\beta=0.8$ 에서 오차한계특성을 나타내는 변류기나 변압변성기의 부담.
- 부담(동작부담) 변류기에서 ohm과 부담역률 $\cos\beta$ 의 향으로 나타낸 impedance이고 변압변성기에서는 부담역률의 향으로 나타낸 2차회로의 admittance이다
- 정격출력 변성기에서 정격부담과 정격2차전류 자승의 곱 정격출력은 명판에 VA로 표시된다.
- 계기용 변압 변류기(M.O.F)는 최대수요 조절 전력량계(3종계기), 최대수요 전력량계(DM) 및 무효전력량계와 조합결선하여 사용전력량을 계량하는 목적으로 사용된다.
- 계기용 변성기는 사용중 변류기(C.T)의 2차 단자를 개방해서는 안되며 계기를 교환할 때에는 변류기(C.T)의 2차측을 단락하고 작업해야 한다.

표 3은 설계기준치에 의한 설계사양이다

표 3. 설계사양

1차상간전압	13200V
정격2차상간전압	190V
2차상간전압	110V
정격1차전류	5A~400A
2차전류	5A
2차전압사용부담	3 x 25VA
2차전류사용부담	3 x 25VA
오차계급	0.5급, 0.3급
절연계급	20
과전류강도	150, 75, 40
극성	강극성
주파수	60Hz
유량	80 ℓ
총중량	180kg
허용치수	±5%

2.2 몰드형 계기용 변압변류기 적용기술

몰드형 계기용 변압변류기의 개발은 효율 향상으로 인한 수요자의 직접적인 경제효과 이외에 신뢰성 확보 측면에서 매우 중요하다. 현대 도시의 밀집으로 인한 전력수요의 급격한 증가는 도시 주변의 대용량 전력시설을 요구하고 있다. 즉, 도시 공간의 효율적 이용이 대두되기 때문에 전력설비의 고압화 및 설비의 소형, 경량화가 요구되고 있다.

현재 사용되고 있는 계기용 변압변류기는 절연유를 절연재 및 냉각매체로 사용하고 있다. 이러한 계기용 변압변류기는 경년변화에 따른 오일 열화로 사고 위험도는 시간이 지남에 따라 증가하게 된다.

만약, 1차 사고가 발생한다면 2차 재해로 인한 화재 및 폭발의 위험이 내재하고 있으며, 사람들이 빈번히 왕래하는 지역에 접해 있기 때문에 사고발생 시 그 파급효과가 크다.

이러한 문제점을 해결하고 대체하기 위한 방안으로 제시되는 것이 몰드 계기용 변압변류기로 유입식에 비해 내열성, 난연성 등이 우수하고 오일에 대한 보수작업 등이 필요가 없기 때문에 옥내·외에 적용이 가능하다. 몰드 계기용 변압변류기의 우수한 특성을 옥외에 적용하기 위해서는 적합한 몰드수지의 선택과 배합, 성형기술, 열방산 기술, 열용력 완화기술 등이 중요하며, 또한 제품의 내구성을 확보할 수 있는 장기 신뢰성 평가기술 개발이 이루어져야 한다.

최근 연구 개발되고 환경친화적인 개념의 옥외용 몰드 계기용 변압변류기의 특성, 성능 및 평가기술 등은 다음과 같다.

2.2.1 몰드형 계기용 변압변류기 특성

몰드 계기용 변압변류기란 철심 및 권선이 절연유 중에 잠겨있지 않고 권선을 예폭시수지를 사용하여 고체 절연화된 변압변류기이다. 일반적인 구조는 고압권선과 저압권선을 분리하여 예폭시수지로 몰딩하고 철심을 중심으로 동심 배치되며, 고압권선과 저압권선 사이의 갭이 절연 및 냉각덕트 역할을 하게된다. 그러나, 전체적인 크기가 커지게 되어 소형화 및 저손실화를 목적으로 일체형 주형방식의 몰드 계기용 변압변류기도 개발되고 있다. 몰드 계기용 변압변류기는 난연성, 자기소화성에 있으며, 절연유의 점검, 교환 등의 필요가 없고 소형·경량화가 가능하다.

2.2.2 몰드형 계기용 변압변류기 성능 평가

몰드기기에 대해 요구되는 성능을 표 4에 요약하여 나타내었으며, 몰드 계기용 변압변류기에 요구되는 기본 성능은 표 5와 같다.

표 4. 몰드 절연 기기의 요구 성능

절연특성	기계적특성	열적특성	화학적특성
절연내력	인장강도	난연성	내후성
내 전 압	압축강도	열변형	내유성
부분방전	내크리프(변형)	열열화	내수성
내트래킹	열충격강도	열용력	
내 아 크	내크랙성		

표 5. 몰드 계기용 변압변류기

일반특성	내전압	부분방전	내환경성	열적특성	기계적
효 율	상용주파	개시전압	내 습	절연종류	단락 내진
전압변동	유 도	감쇄전압	내크랙	온도상승	
무부하전류	버입펄스	방전진하	내오손	과부하내량	
부하손실					

몰드 계기용 변압변류기는 내부 도체와 권선을 전부 예폭시수지로 피복되어 있으므로 절연부 내부 상태를 확인하기 위해서는 분해 확인하는 것이 곤란하다. 따라서 제조상 품질관리, 결합 요인 및 열화 요인을 점검하기 위해서는 비파괴 방법으로 평가하는 것이 타당하며 비파괴 검증 방법을 표 6에 나타내었다.

옥외용 기기는 옥내용과 비교하여 자외선, 비, 바람, 온손과 같은 가혹한 자연 환경에 노출되기 때문에 이러한 자연 조건에서 고전압 스트레스에 잘 견디도록 제조되어야 한다. 더욱이 몰드 계기용 변압변류기는 부하전류에 의한 발열 스트레스에 대한 내구성도 요구된다.

따라서 이러한 문제에 대한 옥외용 몰드 계기용 변압변류기의 장기 신뢰성을 검증하기 위해서는 옥외 조건에서 정격전압으로 연속 과전하면서 1.2~1.5배의 정격 전류로 시험한다. 이때 저압단 및 고압단 코일의 온도 상승을 동시에 감시한다. 또한, 몰드 계기용 변압변류기의 옥외 적용에 위해서는 내후성과 표면 절연성능을 검증하는 것이 필요하다.

표 6. 열화 요인과 비파괴 진단법

열화요인	발생증상	진단법
합침 불량	절연 저하 기계적 강도 저하	X선 투과법 와전류막 측정법 초음파 탐상법
내부 크랙 불순물 침투	부분 방전 이상	X선 투과법 부분방전 측정법
금속 이물질	부분 방전 이상	와전류 탐상법
용접 불량 권선 불량	온도 상승 열열화 수지 강도 저하	열전대 온도 측정 광파이버 온도 측정 적외선 건 측정
크랙 조립 불량	기밀 누설	He 누설 시험법

2.3 Mold형 계기용 변압변류기 특징

절연재료의 종류는 대단히 많아 유기물질과 무기물질의 전반에 걸쳐 기체, 액체 및 고체 등의 여러 가지가 사용되며, 절연재료에 요구되는 전기적 성질을 일괄하면 다음과 같다.

- ① 절연저항이 높을 것(체적 저항율이 클 것)
- ② 표면누설이 적을 것(표면 저항율이 클 것)
- ③ 절연내력(내전압)이 클 것
- ④ $\tan\delta$ (유전정접)가 적을 것
- ⑤ 비유전율의 값이 적당할 것
- ⑥ 전기적 세성질의 온도계수가 적을 것
- ⑦ 내 ARC성이 좋을 것

몰드형 계기용 변압변류기의 고체 절연재에 대한 기계적 성질에 대해서는 다음과 같은 항목이 요구된다.

- ① 인장강도(항장력)가 클 것
- ② 압축강도(항압력)가 클 것
- ③ 구부림 강도가 클 것
- ④ 경도(Hardness) 및 내 마모성이 적당 할 것
- ⑤ 탄성 한계가 적당할 것
- ⑥ 가공이 용이할 것

절연재료에 대한 열적 성질은 다음과 같은 항목이 요구된다.

- ① 내열성이 양호할 것
- ② 용융점 또는 연화점이 높을 것
- ③ 열전도도가 좋을 것
- ④ 열 팽창계수가 작을 것
- ⑤ 비열 및 비점이 클 것
- ⑥ 응고점이 적을 것

고체 절연물을 분류하면 다음과 같다.

1) 고체무기절연물

고체무기절연물은 온도, 석면, 유리 및 자기로 분류할 수 있고, 온도의 특징은 화학적으로 안정하고 내열성이 우수하며 절연과파 강도는 90~120kV/mm이다. 유리섬유는 불연성, 내열성, 절연성, 내약품성 및 기계적 강도가 크므로 크게 각광을 받고 있다.

2) 고체유기절연물

천연의 고체 유기재료는 일반적으로 내열성이 낮고 천연 그대로의 상태로 Y종 절연물로 밖에 사용되지 않는다. 또 가연성이 있고 화학적으로 불안정한 것이 많으며, 섬유제의 것은 흡습성이 강하지만 까다로운 가공에 의해 사용되지 않고 간단히 사용된다는 장점이 있다.

3) 합성고분자

합성 화학적 방법으로 만들어지는 고분자 화합물 또는 그 바로전의 원료를 합하여 합성수지라 한다. 플라스틱이란 가스성 물질의 의미이며, 가스성이란 점도, 퍼티 등과 같이 외력을 가해서 변형시킨 경우 힘을 제거해도 원래 상태로 복귀하지 않는 성질을 의미한다. 열가소성 플라스틱 중 폴리에틸렌(polyethylene)은 내열성이 약한 점을 제외하고는 물리적, 화학적 성질이 우수하고 가격이 저렴하므로 공업용품, 일용품 등 여러 방면에 이용되어 폴리염화비닐과 플라스틱에서 널리 사용되고 있다. 폴리에틸렌은 저온에서도 유연하며 내후성도 좋다. 또 화학적으로 대단히 안정하고 상온에서는 유기용제에도 녹지 않는다. 전기적으로 무극성이므로 고주파 유전손실이 대단히 적고 전기 절연성도 우수하다. 폴리에틸렌은 고주파의 성형 절연물, 전선과 케이블의 절연피복으로 사용되며 가교 폴리에틸렌은 케이블의 보호피복 등에 이용되며 폴리에틸렌 필름은 콘덴서의 유전체로 사용된다.

4) 열경화성 플라스틱

열경화성 플라스틱은 열가소성 플라스틱에 비해 일반적으로 치밀하고 단단하며, 기계적 강도가 크고 화학적으로 안정하며 내열성이 우수하다. 그러나 흡습성이 크고 유전정접이 크므로 고주파 절연에는 적합하지 않다. 열경화성 플라스틱 중 에폭시 수지(epoxy resin)는 폴리에스테르 수지와 같이 주형용으로 사용할 수 있으며 경화시의 체적 수축율도 폴리에스테르 수지보다 작다. 특히 금속에의 접착성이 우수하고 페놀 수지와 동일하게 모든 성능의 밸런스가 좋고 내습성, 내아크성 및 내열성 등 모든 점에서 페놀수지 보다 좋게 취급된다. 다만, 아민계의 경화제를 사용한 일반용인 것은 내열성이나 금속부식 면에서 문제가 있으며 전기용에는 무수산물을 사용한 것이 이용되고 있다. 최근 mold형 계기용 변압변류기에 에폭시 수지도 사용되며 계면 결합제는 아미노계를 사용하여 기계적, 전기적 및 화학적 성질을 향상시킨 것으로 널리 사용되고 있다.

3. 결 론

전기계기 또는 측정장치와 함께 사용되는 전류 및 전압의 변성용기로서 계기용 변류기(C.T)와 계기용 변압기(PT)를 총칭한다. 전원설비의 공사비로 보면 계기용 변성기가 차지하는 비율은 매우 미미하지만 이들의 역할은 매우 중요하여 계기용 변성기를 잘못 선정하여 사용할 경우 전원설비의 중요설비들인 전력차단기, 제어설비 등이 제기능을 발휘할 수 없게 된다.

따라서 몰드형 계기용 변압변류기 사용상의 이점은 다음과 같다.

1. 계기나 보호계전기가 고전압회로부터 절연되어 취급상 안전하다.
2. 계기용 변성기의 변성비를 적당히 선정함으로써 표준의 계기, 보호계전기로 각종의 전압, 전류가 측정되어 회로의 보호가 가능하다.
3. 저전압, 소전류로 변성 할 수가 있어 2차측의 배선공사가 간단하고 배선재료도 절약되고 원방계측·원방감시가 용이하다.
4. 흡습성, 흡수성이 적고, 내수성, 내유성, 내산성 및 내후성 등이 좋고 열화 되지 않는다.
5. 난연성이고 폭발 등의 위험 및 독성이 없다.

[참 고 문 헌]

- [1] T.E. Browne, "Dielectric recovery by ac arc in an air", AIEE Trans. 65
- [2] 전기학회 기술보고, 불연성·난연성변압기의 현상과 동향, Takashi Hasegawa, "Application Technology of Molded Products in the Field", Takaoka Review, Vol. 43, No. 4, pp. 66-72, 1996.