

조류계산을 이용한 변압기 병렬운전 검토 ①

(전력계통 해석)

이강완

대화기술단 기술사사무소/기술사

☎ 02)568-5680, daehwaen@unitel.co.kr

강용철

LG-Caltex 정유(주)

☎ 061)280-2651, yck3177@lgcaltex.co.kr

산업체 전력계통에서 전력설비의 이용 효율과 전력 공급의 신뢰성을 높이기 위해 여러 대의 변압기들을 병렬로 운전하는 것이 일반적으로 바람직하다. 그러나 병렬운전 대상인 변압기의 전기적 특성이 다른 경우 자기용량 대 부하 분담률이 달라 변압기 과부하 및 무효전력의 과도한 순환 조류가 우려되어 병렬운전을 꺼리는 경향이 있다. 다음은 전력계통 해석의 일종인 조류계산을 이용하여 전기적 특성이 다른 변압기의 병렬운전 가능성을 분석 및 검토하여 이의 적합성을 검증하고 산업현장에 적용하는 사례를 기술한 것이다.

1. 배경

변압기는 송배전 선로와 함께 전력 유통의 중추 역할을 담당하고 있다. 일반적으로 여러 대의 변압기를 병렬로 연결하여 운전함으로써 설비의 이용 효율을 높이고, 원활한 전력 유통이 되게 하여 전력공급의 신뢰성을 높이게 된다. 즉, 변압기의 바람직한 병렬운전 형태는 평상시 원활한 전력설비 운전과 사고시에도 안정된 설비 운전이 가능한 것을 뜻한다. 평상시 원활한 전력설비 운전이란 전력조류 분포가 적정하고, 전력조류가 설비 용량의 한도 내에 유지되고 있으며, 아울러 이와 같은 조류 분포에서 계통전압이 규정 범위로 유지되고 송변전 손실도 비교적 적게 되는 것을 의미한다. 사고시에도 안정된 전력설비 운전이 가능한가 하는 것은 사고로 일부 전력설비가 정지되어도 다른 건전한 전력설비가 과부하 되거나 또는 전압이 규정 범위를 벗어나지 않는 조류 분포 상태를 말한다.

전력계통에서 변압기는 기계적 수명이 단축

되지 않는 범위 내에서 단시간 과부하 운전을 할 수 있다. 일반적으로 변압기 코일의 온도를 95℃ 로 해서 연속 운전한 경우에 예상되는 변압기의 수명을 표준 수명이라 부르며 이것이 단축되지 않는 범위 내에서 과부하 운전이 허용된다.

용량이 같은 여러 대의 변압기 병렬운전 조류 한도는 병렬 운전중인 변압기 1대가 사고로 정지하여도 지장없이 운전이 계속 가능한 값으로 제한하기 위한 변압기 부하는 다음과 같다.

2 뱅크 병렬 운전의 경우 70%

3 뱅크 병렬 운전의 경우 93%

4 뱅크 병렬 운전의 경우 100%

이와 같은 변압기 뱅크별 부하율은 병렬 운전중인 변압기중 1대가 사고로 정지된 경우 나머지 변압기 전체가 약 120 ~ 150% 과부하 상태가 되는 것으로서 이 정도의 과부하 상태에서는 변압기 수명에 지장없이 약 30분 정도 운

전 가능하므로 30분 이내에 계통 전체 또는 부하 차단을 실시하여 나머지 변압기 부하를 100%이하로 억제하여 안정된 전력 공급이 가능하게 하는 것이다.

원활한 전력설비 운전과 사고시에도 안정된 전력설비 운전으로 전력공급의 신뢰성을 높이기 위하여 여러 대의 변압기를 병렬 운전할 필요가 있다. 그러나 변압기를 병렬 운전하기 위해서는 반드시 지켜야할 필수 조건과 실용상 지장이 없으나 지키는 것이 바람직한 권장 조건이 있다.

첫째 : 반드시 지켜져야 하는 필수 조건

- 1차, 2차 극성이 같을 것
- 상회전의 방향 및 위상 변화가 같을 것

둘째 : 지키는 것이 바람직한 권장 조건

- 정격전압이 같을 것
- 권선비가 같을 것
- 탭 조정이 같을 것
- 각 변압기의 백분을 임피던스가 같을 것
- 임피던스 저항과 리액턴스 비율이 같을 것

산업체 전력계통에서 전력에너지 사용 증대로 주변압기 증설이 필요할 때가 있으며, 대체로 증설되는 변압기의 전기적 특성이 기존의 변압기와 다른 경우가 많다. 즉, 신설되는 변압기 백분을 임피던스를 기존 변압기와 같게 할 경우 계통의 단락용량이 증대되어 기존의 차단기 차단내력을 상회하여 차단기를 차단내력이 큰 것으로 교체해야하는 심각한 문제에 직면하게 되므로 이를 방지할 목적으로 증설되는 변압기 백분을 임피던스를 기존 변압기 보다 크게 한다. 이와는 다른 사유로 증설될 변압기 효율을 높이기 위해 기존 변압기보다 용량을 키우거나 변압기 백분을 임피던스 및 임피던스의 저항과 리액턴스 비율을 최적화하는 등 여러 가지 요인에 의하여 증설되는 변압기는 전기적 특성이 다르게 결정되는 경우가 많다. 그러나 병렬 운전될 변압기는 앞에서 제시된 것과 같이 필수 조건에 부합되고, 지키는 것이 바람직한 권장 조건은 허용된 오차 한도에서만 변압기 병렬 운전이 가

능하게 될 것이다.

2. 실계통 사례 검토

가. 실계통 구성 및 기기 특성

특성이 다른 변압기의 병렬운전이 요구되는 경우에는 전력계통 해석의 기본이 되는 전력 조류계산을 이용하여 변압기들의 부하 분담 및 전력 조류 상태를 해석하여 이의 병렬 운전 가능성을 사전에 조사 분석해야 한다.

실계통 사례 검토는 그림 1과 같이 한국전력과 154kV 송전선로로 연계되어있고, 자가발전기가 있는 산업체 전력계통으로 생산공정의 증설에 대처하도록 전력공급의 중심인 기존의 154/66kV, 40/50MVA, 2대 변압기에 새로운 154/70kV, 100/125MVA 변압기 2대를 단계별로 증설하여 병렬운전 하려는 전력계통이다. 즉, 전력계통 증설 계획에 따라 처음에는 기존 변압기 2대와 신설 변압기 1대 병렬운전, 마지막으로 기존 변압기 2대와 신설 변압기 2대 병렬운전 계획이다. 그러나 신설될 변압기 특성은 표 1과 같이 기존 변압기와 차이가 있다.

표 1에 나타난 것과 같이 기설 변압기와 신설 변압기 특성에는 많은 차이점들이 있다.

표 1 기설 및 신설 변압기 특성

구 분	기 설	신 설
변 압 기	TR1, TR2	TR3, TR4
정격전압	154kV +10%/66kV -10%	154kV +10%/70kV -15%
OLTC 탭	17	21
Step 전압	1925(V)	1932.5(V)
용 량	40/50MVA	100/125MVA
임 피 던 스	11%	17.5%
X / R 비	25	40
결 선	Y-Delta	Y-Delta

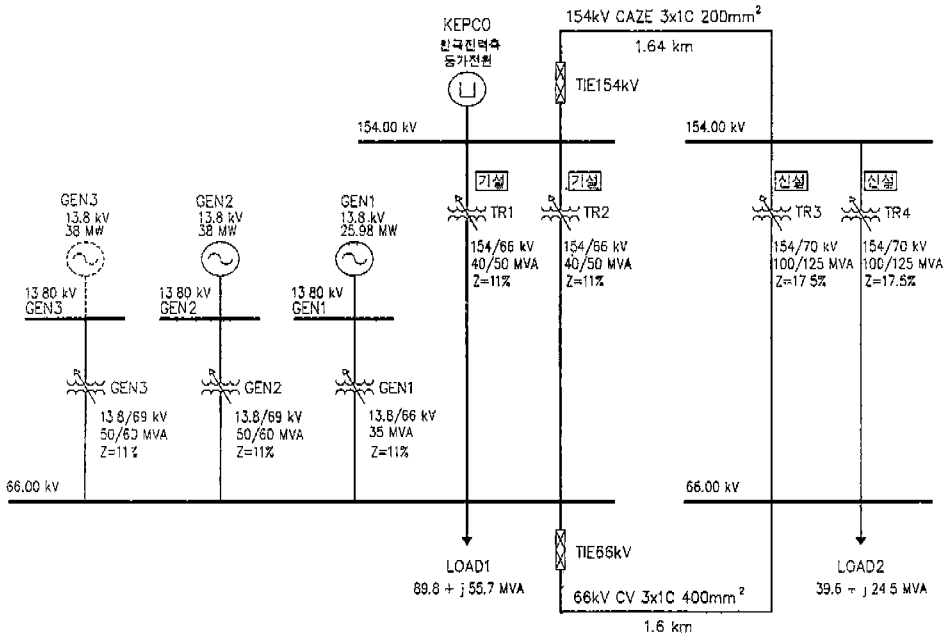


그림 1 변압기 병렬운전 검토 실계통

정격전압의 경우 기설변압기 2차 전압이 66kV 인데 반하여 신설 변압기 2차 전압은 70kV로 차이가 있다. 특히 부하시 탭전환장치(OLTC)의 경우 전압조정 범위가 다르고, 조정 탭 수 및 스텝(Step) 전압도 차이가 있어 변압기 병렬운전의 경우 전압제어가 불안정 상태로 진행될 소지가 있다. 변압기 임피던스와 임피던스의 저항 대 리액턴스 비는 병렬운전 변압기 부담과 손실에 밀접한 관계가 있는 변수로서 차이가 비교적 많이 나고 있다.

변압기 병렬운전 만을 고려할 경우는 기설 변압기와 신설 변압기 특성을 동일하게 할 수 있다. 즉, 신설 변압기 구매 사양을 기설 변압기와 같이 정격전압, 권선 비, 탭 조정, 백분율 임피던스 및 변압기 임피던스의 저항과 리액턴스 비율을 동일하게 지정할 수 있다. 그러나 신설될 변압기 특성을 기존 변압기와 동일하게 할 경우 계통의 단락용량이 증대되어 기존의 차단기 차단내력을 상회하게 되거나 또는 신설 변압기 특성을 수십년전에 제작된 기존 변압기 사양

과 동일하게 설계 및 제작하게 될 경우 변압기 가격이 상승하게되고, 손실이 증가하게되는 불리한 제약을 갖게된다. 따라서 특성이 다른 변압기들의 병렬운전이 반드시 요구되는 상황에서는 사전에 전력계통 해석 도구인 조류계산, 고장전류 계산 및 안정도 해석 등을 이용하여 전력조류 및 단락용량은 적절한지 그리고 계통운용의 안정도 유지는 가능한지를 충분히 해석 검토하여 불합리한 제약을 사전에 배제하는 것이 바람직할 것이다.

검토 대상 전력계통은 변압기 및 관련 전력 설비 증설에 따라 체계적인 전력 절체 등을 실시하여 전력공급 지장을 최소화 할 수 있도록 단계별로 즉, 1단계 임시 연계선로를 이용한 3대 변압기 병렬운전, 2단계 임시 2회선 연계선로를 통한 4대 변압기 병렬운전 및 3단계 최종 목표인 연계선로를 통한 4대 변압기 병렬운전으로 나누어 검토한다.

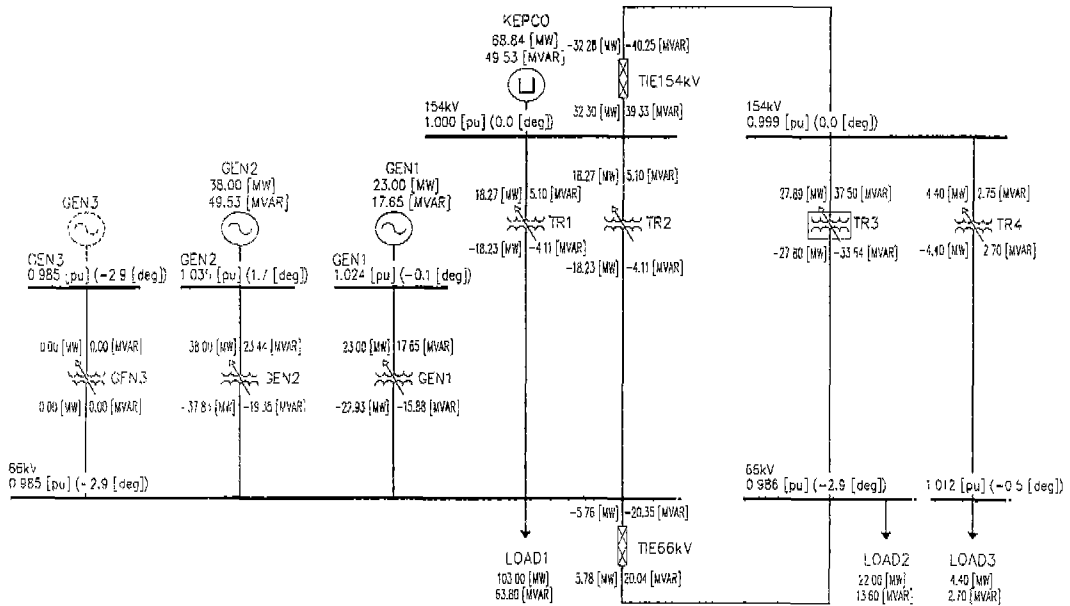


그림 2 1단계, 변압기 3대 병렬운전 전력조류

나. 1단계, 변압기 3대 병렬 운전

그림 2는 1단계로 변압기 3대가 병렬 운전하고 1대가 단독운전 할 때의 전력조류 및 전압 상태를 나타낸 것으로 기존 변압기 2대와 신설 변압기 1대를 66kV 연계선로 1회선을 통하여 병렬 운전하는 형태이다. 조류계산 결과는 표 1과 같다.

1단계는 TR1, TR2 및 TR3 3대의 변압기가 병렬운전 되는 형태이다. 표 1에 나타난 것과 같이 전력조류 계산 결과 기존 변압기 부하율과 신설 변압기 부하율이 유입 자냉식인 경우 각각 47.4%와 46.7% 그리고 유입 풍냉식인 경우 각각 37.9와 37.4%로 매우 유사하여 바람직한 부하분담이 되고 있으며, 유효전력손실은 기설 및 신설 변압기 각각 0.04[MW]와 0.09[MW]로 전력조류에 비례하여 발생되고 있으며, 무효전력손실은 각각 0.99[MVAR]과 3.85[MVAR]로 나타나고 있어 이는 실용상 문제가 없는 비교적 정상적인 상태임을 보여주고 있다. 검토 대상 전력계통의 전기적 중심인

표 1 1단계, 변압기 3대 병렬운전 전력조류

항 목	TR1	TR2	TR3	TR4
전압(kV)	154/66	154/66	154/70	154/70
조류(MVA)	18.97	18.97	46.7	35.19
역률(%)	96.3	96.3	59.7	84.8
용량(MVA)	40/50	40/50	100/125	100/125
부담(%)	47.4/37.9	47.3/37.9	46.7/37.4	5.2/4.2
손실(MW)	0.04	0.04	0.0	90.0
손실(MVAR)	0.99	0.99	3.85	0.05
렘 비	100.0	100.0	94.7	98.2

66kV 모선 전압의 경우 기존 변압기 2차측이 0.985[p.u.]이고 신설 변압기 2차측이 0.986[p.u.]로서 목표전압 범위에 들고있어 안정된 전력계통 운전이 가능하다.

다음호에 계속됩니다