

계통해석 정확도 향상을 위한 데이터 적용방법

이진문, 장재원, 김태옥, 박내호  
한국전력공사

A Data Application Method for Accuracy Enhancement of Power System Analysis

JINMOON LEE, JAEWON CHANG, TAEOK KIM, NAEHO PARK  
KEPCO.

**Abstract** - 전력계통 해석의 정확도 향상을 위해서는 해석용 데이터의 정확한 입력이 필수적이거나, 우리가 사용하고 있는 해석용 프로그램의 알고리즘상 한계, 실제 전력계통에 설치중인 비표준 전력설비의 데이터 적용상 문제점 등으로 현재 우리가 사용하고 있는 계통해석용 데이터는 정확도면에서 다소 보완이 필요하다.

이와 관련하여 본 고에서는 전력계통 해석 정확도 향상을 위한 각 상별로 다른 변압기 임피던스의 합리적인 적용방법, 우리계통에 다수 설치되어있는 기준 외 변압기 데이터 처리방법, 발전기 단자전압과 Step-up 변압기 정격전압 상이로 인한 데이터 적용상 문제의 해결대안을 모색하였고, 현재 우리가 적용하고 있는 송전선로의 선로정수 데이터를 대푯값과 비교분석을 통하여 정확성의 심개소를 제시하였으며, 기존 방식의 해석결과와 금번 개선안 적용시의 해석결과를 실제통 운전실적을 중심으로 비교하여 계통해석 정확도 차이를 나타내 보였다.

1. 서 론

현재 우리나라에서 사용중인 계통해석용 프로그램인 PSS/E의 데이터 중 일부가 실제 설비의 개별 특성을 정확히 고려하지 않고 대푯값을 사용하고 있어 계통해석 결과와 실제 계통운영 실적간에 다소 오차가 발생되고 있다. 물론, 프로그램의 한계, 정확한 입력 데이터의 취득상 어려움 등으로 어느 정도 오차는 불가피한 면이 없지 않으나 계통해석의 정확도 향상을 위해서는 해석용 데이터 적용 및 운영실태에 대한 지속적인 분석과 개선 노력이 필요한 실정이다.

이와 관련하여 본 연구에서는 계통해석 정확도 향상을 위해 보정이 필요한 부하역을 고려방법을 소개하고, 송전선로, 변압기 등 계통구성 설비의 보다 정확한 정수 적용방안 등 계통해석에 영향을 주는 입력 요소별 정확도 제고 방안을 제시하고, 끝으로 개선방안 적용 전·후 특성을 실제 계통 운전실적 자료를 토대로 비교 분석하였다.

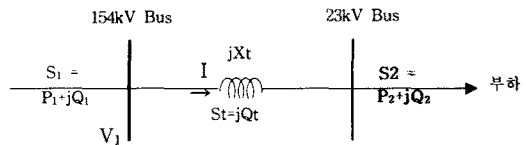
2. 본 론

2.1 부하역을 고려방법

계통해석의 정확도에 영향을 주는 입력요소는 여러 가지가 있으나, 부하역은 조류계산 결과에 영향이 크다. 부하역은 부하모선의 무효전력 입력으로 결정되는데 통상적으로 계통해석시 적용하고 있는 부하자료(유·무효전력 등)는 계통해석 프로그램 제약 및 데이터 처리 소요시간 대비 효율성 등을 고려하여 154kV 모선단에서의 자료를 이용하고 있으나, 실 계통에는 변압기 2차측(주로 22.9kV측)에만 계기가 부착되어 있어 변압기 1차측(154kV측)기준의 정확한 무효전력 값을 산정하기가 어려워 그간 계통운영의 경험에서 얻어진 근사치를 적용하고 있어 모선전압, 계통손실 등의 해석결과 정확도 저하의 한 원인이 되고 있어 부하역 데이터의 정확도 향상이 필요하다.

2.1.1 정확한 부하역을 고려방안

부하역의 정확도 향상을 위해서는 앞서 언급한 바와 같이 변압기 2차측에서 취득한 무효전력 자료를 어떻게 1차측으로 환산할 것인가? 즉, 변압기 내에서 소모되는 무효전력과 순수 부하의 무효전력 소모를 분리해내는 것이 중요하다. 이와 관련하여 변압기 자체에서 소모되는 무효전력 산정방법으로는 아래의 방법이 유용하다[1]



[그림1]

위 [그림1]에서  $S1 = \sqrt{3} V1 \times I^* = P1 + jQ1$

$$I^* = \frac{P1 + jQ1}{\sqrt{3} V1}, I = \frac{P1 - jQ1}{\sqrt{3} V1}$$

$$\begin{aligned} St &= Pt + jQt = \sqrt{3} Vt \times I^* \\ &= \sqrt{3} \times \sqrt{3} \times jXt \times I \times I^* \\ &= jQt (\because Pt=0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} jQt &= 3 \times jXt \times \frac{(P1 + jQ1)}{\sqrt{3} \times V1} \times \frac{(P1 - jQ1)}{\sqrt{3} \times V1} \\ &= jXt \times \frac{P1^2 + Q1^2}{V1^2} = jXt \times \frac{P1^2 + (Q2 + Qt)^2}{V1^2} \end{aligned}$$

양변에  $-jV1^2$ 을 곱하면,

$$\begin{aligned} V1^2 \times Qt &= Xt \times (P1^2 + Q2^2 + Qt^2 + 2Q2 \times Qt) \\ Xt \times Qt^2 + (2 \times Xt \times Q2 - V1^2) \times Qt + Xt(P1^2 + Q2^2) &= 0 \end{aligned}$$

따라서, 변압기에서 소모되는 무효전력은

$$Qt = \frac{-(2XtQ2 - V1^2) \pm \sqrt{(2XtQ2 - V1^2)^2 - 4Xt^2(P1^2 + Q2^2)}}{2Xt}$$

여기서, 보다 정확한 변압기 임피던스 값 계산을 위해 변압기별 기준 %Z 자료와 변압기 OLTC 운전 Tap 위치 자료를 적용할 필요가 있다. 참고로 현재 한전에서는 본 식을 이용하여 현장으로부터 취득된 변압기 2차측 부하데이터를 1차측으로 환산하는 간이 프로그램을 이용, 실시간으로 계통해석시 적용하는 154kV 모선단 기준의 부하역을 자료로 환산하여 활용하고 있다.

2.1.2 부하역이 계통해석에 미치는 영향

부하역이 계통해석에 미치는 영향을 살펴보면, 측정 위치별 역을 차이는 아래[표1]에서 나타낸 것과 같이

관리처	부하 실적 (MW)	①변압기	②변압기	③저기	1차중 합환산 역률	차이(kV)		
		2차역률	1차역률	객역률		①-②	②-③	①-③
서울	4,729	98.1	91.0	93.4	91.2	7.2	2.4	
남서울	4,946	96.6	90.5	99.4	91.1	6.1	9.0	
수원	7,312	98.2	90.3	97.2	91.6	8.0	6.9	
대전	2,192	97.8	91.1	93.8	91.8	6.7	2.8	
대전	4,524	98.9	91.8	95.6	92.5	7.1	3.8	
광주	2,595	97.6	93.7	96.3	94.5	3.9	2.6	
대구	5,300	100.0	92.4	94.1	92.8	7.6	1.7	
부산	5,077	95.1	91.0	96.6	93.2	4.2	5.6	
광원	2,452	97.9	91.3	96.3	92.5	6.6	5.1	
수도권	16,987	97.8	90.6	98.0	91.3	7.2	7.4	
육지소계	39,127	98.2	91.3	96.2	92.2	6.9	4.9	

[표1 - 2001년 하계피크계통 조사분석 결과]

변압기 2차측이 가장 높고, 변압기 1차측이 가장 낮으며, 부하 종류별로는 154kV 직거래부하와 변압기 부하의 역률이 큰 차이는 없었으나 변압기 1차측 환산치와 직거래고객 부하와는 역률은 약4.9%정도 차이가 있었고, 변압기 1-2차간 역률차는 6.9% 정도로 나타나 변압기 자체에서 소모되는 무효전력이 큰 것으로 나타났다. 또, 부하역률 적용방법 개선 전·후의 해석결과를 비교해 보면 계통 손실차는 개선 후가 피크시 기준으로 16,000kW 정도 감소되고, 주요 모선의 평균 전압차는 약4kV로 해석결과에 많은 차가 있음을 알 수 있다.

## 2.2 변압기 데이터 보정

부하역률과 마찬가지로 계통해석에 영향을 미치는 주요 요소에는 송전선로, 변압기 등의 설비정수 자료가 있다. 이들 설비정수 중 본 절에서는 변압기 데이터의 보다 정확한 입력방안에 대해서 기술하고자 한다.

### 2.2.1 변압기 설치현황

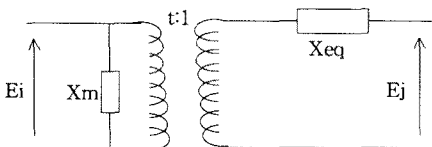
우리나라 계통의 공칭 송전전압은 크게 765kV-345kV-154kV로 대별할 수 있다. 따라서, 계통해석시 기준이 되는 시스템 전압도 위와 같이 공칭전압을 적용하고 있으나, 실제 현장에 설치 되어있는 변압기의 정격전압은 다양하다. 우리나라의 주계통인 345kV급 변전소에 설치되어있는 변압기의 1차 정격전압은 345kV이나 2차측 정격전압은 154kV만 있는 것이 아니고, 대부분이 161kV이다. 아래 표[2]에 우리계통에 적용되어있는 345kV급 변압기 현황을 나타내었다.

구분	345/161kV	345/154kV	합계
대수	330대	118대	448대

[표2 - 2003년 기준 변압기 설치현황]

### 2.2.2 기준의 변압기 데이터 보정방안

이와 같이 시스템 전압과 다른 정격전압을 갖는 변압기를 기준의 변압기라고 하는데 이러한 변압기는 계통해석시 특별한 고려가 필요하나 지금까지는 적절한 데이터 처리방법 부재 등의 사유로 기준의 변압기도 일반 변압기와 같이 설비 명판에 기록된 퍼센트 임피던스 자료를 그대로 적용하고 있어 계통해석 정확도 저하의 원인이 되고 있다. 따라서, 본 절에서는 기준의 변압기의 데이터 보정방안에 대하여 고찰하고자 한다. 우리가 사용하고 있는 계통해석 프로그램(PSS/E)의 2권선 표준변압기 모델은 아래 [그림2]와 같다.



[그림2]

[그림2]에서 「t」는 권수비이고, 「Xeq」는 등가임피

던스이다. 여기서, 기준의 변압기(2차측 전압이 161kV인 변압기)의 계 정수 환산방법은 다음과 같다.

○ 등가임피던스(Xeq)

$$X_{eq} = t_j^2 \times X_s \times (V_j \text{명판} / V_j \text{기준})^2 \times (MVA \text{기준} / MVA \text{명판}) = 1 \times X_s \times (161/154)^2 \times r = 1.093 \times X_s$$

여기서, Xs는 명판기록 기준 퍼센트 임피던스임

따라서, 계통해석시 기준의 변압기의 등가임피던스는 현재 적용하고있는 임피던스보다 1.093배 큰 값을 적용해야 정확하다.

○ 권수비(t) = 2차측이 1일 경우 1차측 탭

$$t = (t_i/t_j) \times (V_i \text{명판} / V_i \text{기준}) / (V_j \text{명판} / V_j \text{기준}) = 154/161 = 0.95652 \text{ (중앙탭 기준)}$$

권수비는 변압기가 중앙탭 운전시 1.2차의 탭을 1로 고려하고 있으나, 기준의 변압기의 경우는 1차 탭을 0.95652로 적용해야 실제 운전상태의 전압과 대응이 된다. 한편 변압기의 부하시점절환장치 최대탭은 현재 탭간격 수가 16개이고, 전압조정범위가 ±10%이므로 탭 간격은 0.0125pu를 적용하고, 최고 탭에서의 전압을 1.1pu, 최저 탭에서의 전압을 0.9pu로 적용하고 있으나, 기준의 변압기의 경우는 아래와 같이 환산 적용해야 정확한 모의를 할 수 있다

○ 최고 탭(tmax)

$$t_{max} = t_{max} / t_j \times (345/345) / (161/154) = (1.1/1) \times 0.95652 = 1.0522$$

○ 최저 탭(tmin)

$$t_{min} = t_{min} / t_j \times (345/345) / (161/154) = (0.9/1) \times 0.95652 = 0.8609$$

○ 탭간격(step)

$$= (0.0125/1) \times (345/345) / (161/154) = 0.01196$$

즉, 조류계산시 변압기 탭의 조정범위를 0.9~1.1pu에서 0.9609~1.0522pu로 변경하고, 1개 탭의 조정범위도 0.0125pu에서 0.01196pu로 변경 적용해야 한다.

### 2.2.3 변압기 데이터 보정 전·후 해석결과 비교

기준의 변압기 데이터 적용방법 개선 후 효과를 알아보기 위해 2003년 6월15일 15시 실제 계통운영 실적 자료를 조사하였다. 조사 대상자료는 발전기 단자전압 및 유·무효출력, 계통데이터로 변압기 탭, 당시 모션전압 및 계통분리개소 등 당시 운전상태 등을 조사하였고, 부하데이터는 154kV 변전소 모션별 유·무효전력을 조사하였다. 조사결과 발전기 단자전압은 전체적으로 1.0pu 근처에서 운전되고 있었으나 지역별로 차이가 매우 커서 우리가 피크계통 모의시 통상 적용하고 있는 발전기 단자전압도 개별 특성을 고려해야할 필요가 있음을 알 수 있었다. 이렇게 조사된 운전실적 데이터를 기준으로 계통모의용 데이터를 기존의 방법으로 입력하여 본 결과 지역별로 운전실적과 모의해석 결과가 상당한 차이가 있음을 알 수 있었다. 특히, 모션전압은 지역에 따라서는 6~7kV 정도까지도 차이를 보였고, 변압기 탭의 위치도 실측치와 모의치간 상당한 차이가 있었다. 아래 [표3]에 주요모선의 전압 실측치 및 조건별 모의치를 나타내었다.

모션명	보정전 데이터	실측치	보정후 데이터	비고
의정부	358	351	352	단위는 kV
동서울	360	353	355	
서서울	351	349	348	
신제천	358	353	354	
아산	352	349	350	
신광주	352	351	351	
서대구	354	351	351	
북부산	357	355	356	
신마산	352	348	352	

[표3]

위 [표3]에서 나타냈듯이 기준의 변압기 데이터 미 보정시 오차가 크게 발생함을 알 수 있고 보정 후에는 해석결과와 실측치가 상당히 일치함을 알 수 있다. 한편 고장전류도 실측치는 측정이 불가능하여 실측치와 비교는 할 수 없지만 기준의 변압기 데이터 보정 후가 기존의 방법으로 계산한 것보다 다소 작게 나타나는데 이는 기준의 변압기의 실제 임피던스가 기존 해석시 통상적으로 적용해온 계통 공칭전압 기준의 값보다 큰 데 기인한다.

#### 2.2.4 기타 변압기 데이터 적용시 고려사항

위에서 기준의 변압기 데이터의 처리방법에 따라 계통해석결과가 어떻게 달라질 수 있는가에 대해 살펴보았다. 그 외에도 보다 정확한 계통해석을 위해 고려해야 할 사항으로는 각 상별로 다른 변압기 임피던스 중 어느값을 적용할 것인가에 대한 문제이다. 우리계통에 적용하고 있는 345kV급 변압기는 단권변압기로 각 상별로 임피던스가 상이하다. 반면에 현재 우리가 사용하고 있는 계통해석 프로그램은 상별 데이터 입력값을 쓰지 않고 대칭분 값을 적용하고 있어 3상중 임의의 대푯값을 적용해야 하는데 통상적으로 A $\phi$  임피던스를 사용하고 있다. 그러나 변전소에 따라서는 상별 임피던스 차가 큰 경우도 있어 계통해석 결과의 오차가 커질 수가 있다. 따라서, 실제통과와의 오차를 줄이기 위해서는 해석 목적에 따라 변압기 임피던스를 달리 적용할 필요가 있는데, 조류계산과 같은 통상적인 해석시에는 3상의 평균값을 적용하는 것이 바람직하다. 또, 검토 목적상 해석결과 오차 발생시 실제로 문제가 발생할 수도 있는 고장해석과 같이 어느 정도의 여유도 고려가 필요한 경우는 변압기 임피던스는 3상중 최소치를 적용하는 것도 하나의 방법이 될 수 있을 것이다.

#### 2.3 선로정수 보정

부하역율, 변압기 임피던스 외에도 계통해석의 정확도에 영향을 미치는 요소로 송전선로 정수가 있다. 송전선로 정수는 계통계획시에는 선로 제작사에서 제시하는 통상적인 값(km당 저항, 리액턴스, 어드미턴스값)을 적용하고, 실제 시설된 선로의 정수는 선로정수 산정프로그램을 사용하여 시공여건, 전선규격 등의 자료를 입력하여 계산된 결과를 이용하고 있다. 보다 정확한 계통해석을 위해서는 이 송전선로 데이터에 대한 검증도 필요하다. 본 연구에서 현재 설치되어 있는 송전선로를 기준으로 선로정수산정 프로그램에 의해 계산된 값과 Typical 값과의 차이 분석을 통하여 데이터의 적정성 여부를 검증하여 본 결과 대체로 실용상 문제가 없는 것으로 나타났으나 345kV 선로로는 영서-영동포간 선로의 어드미턴스 값이 차이가 비교적 컸고, 154kV 선로의 저항 값은 평균 오차율이 87.4%로 매우 큰 차이를 보여 데이터 보정이 필요한 것으로 조사되었다. 이에 대한 검증을 위해서는 보다 많은 실적 데이터의 분석 및 재계산이 필요하다. [표4]에 그 결과를 간략하게 나타내었다.

전압별	R	X	Y	비고
345kV선로	4.7%	2.6%	4.2%	
154kV선로	87.4%	9.7%	40.6%	

[표4-선로정수 오차율]

### 3. 결 론

이상에서 살펴본 바와 같이 계통해석의 정확도 향상을 위해서는 부하역율, 변압기 임피던스, 선로정수 등 해석프로그램의 데이터 입력에 대한 보다 면밀한 적용이 필요하다. 비록 본 연구가 실적데이터에 대한 비교 케이스가 적어 타당성에 대한 추가 검증이 필요하겠지만 앞서 제시한 방법을 적용하면 다소나마 계통해석의 정확도 향

상이 가능하리라 생각되며, 추후로 발전기 및 Stepup 변압기 등에 대한 분석을 시행하여 보다 종합적인 계통해석 정확도 향상을 시도할 필요 있을 것이다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 대한전기학회, "부하역율 분석 및 적용에 관한 연구", "하계학술대회 논문집", A권 P41, 2002.7
- [2] PTI "PSS/E Program Application Guide Vol I,II
- [3] 전력연구원, "전력계통 안정도 정밀해석을 위한 적정 부하 모델에 대한 연구", 2001.3