

154kV 수전설비의 계량방식

김준오 이근행 이흥호  
한국전력공사 한국전력공사 충남대학교

The 154kV Power Utility Metering

Kim Joon Oh Lee Gun Hang Lee Heung Ho  
KEPCO KEPCO Chungnam Univ.

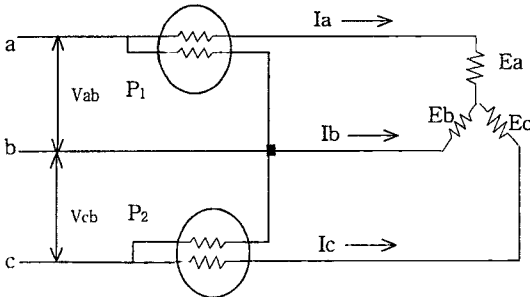
1. 서 론

현재 154kV 전압을 수전하는 설비는 3상 3선식 계량장치 및 3상 3선식 전력량계를 이용하여 전력을 측정하고 있으며, 이때 수전용 변압기의 중성점은 반드시 부동운전하도록 규정되어 있다. 본 논문에서는 이러한 규정의 의미와 중성점 부동운전이 불가능한 경우 올바른 154kV 수전설비의 계량방식에 대하여 기술한다.

2. 본 론

2.1 154kV 수전설비 3상 3선식 계량

154kV 수전설비의 전력은 수전용 변압기의 중성점 부동운전하는 조건에서 3상3선식으로 계량하여 왔다. 3상 3선식 계량방식은 2개의 선간전압과 2개의 상전류를 이용하여 전력을 계량하는 방식으로 [그림 1]과 같은 방법으로 계량한다. 이 방법은 Δ 결선에서도 같은 방법으로 계량할 수 있다.



[그림 1] 3상 3선식 계량

따라서 3상 3선식 전력값은 (식 1)과 같이 표현되며 실제적으로는 3개의 PT(Potential Transformer)와 2개의 CT(Current Transformer)가 필요하다.

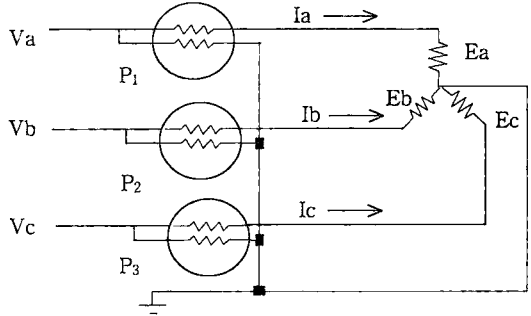
$$P_{3\phi 3W} = P_1 + P_2 = V_{ab}I_a + V_{cb}I_c \quad (\text{식 1})$$

2.2 154kV 수전설비 3상 4선식 계량

3상 4선식 송전계통은 중성점 직접접지방식으로 4선식 계량장치는 [그림 2]와 같이 3개의 상전압과 3개의 상전류를 이용하여 전력을 계량한다.

따라서 3상 4선식 Y결선의 전력값은 (식 2)와 같이 표현되며 실제적으로는 3개의 PT와 3개의 CT가 필요하다.

$$P_{3\phi 4W} = P_1 + P_2 + P_3 = V_a I_a + V_b I_b + V_c I_c \quad (\text{식 2})$$



[그림 2] 3상 4선식 계량

2.3 3상3선식 계량과 3상4선식 계량

(식 1)은 다음과 같이 전개할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{3\phi 3W} &= V_{ab}I_a + V_{cb}I_c \\ &= (V_a - V_b)I_a + (V_c - V_b)I_c \\ &= V_a I_a - V_b I_a + V_c I_c - V_b I_c \\ &= V_a I_a - V_b (I_a + I_c) + V_c I_c \quad (\text{식 3}) \end{aligned}$$

(식 3)에서 3상 3선식의 비접지 계통이나 3상 4선식 부동운전의 경우와 같이 영상전류가 존재하지 않는 경우 즉,  $I_a + I_b + I_c = 0$ 인 경우에는  $I_a + I_c = -I_b$ 가 되어 (식 3)은 (식 4)와 같이 변환되어 3상 3선식 계측과 3상 4선식 계측이 동일한 값을 계측하는 결과를 가져온다.

$$\begin{aligned} P_{3\phi 3W} &= V_a I_a - V_b (I_a + I_c) + V_c I_c \\ &= V_a I_a - V_b (-I_b) + V_c I_c \\ &= V_a I_a + V_b I_b + V_c I_c = P_{3\phi 4W} \quad (\text{식 4}) \end{aligned}$$

만약에 어떠한 이유에 의해서 영상전류가 존재하는 경우 즉,  $I_a + I_b + I_c = I_n$ 인 경우에는 (식 5)와 같이 전개할 수 있다.

$$\begin{aligned} I_a + I_b + I_c &= I_n \text{ 이면} \\ I_a + I_c &= I_n - I_b \text{ 이고,} \\ P_{3\phi 3W} &= V_a I_a - V_b (I_a + I_c) + V_c I_c \\ &= V_a I_a - V_b (I_n - I_b) + V_c I_c \\ &= V_a I_a + V_b I_b + V_c I_c - V_b I_n \\ &= P_{3\phi 4W} - V_b I_n \quad (\text{식 5}) \end{aligned}$$

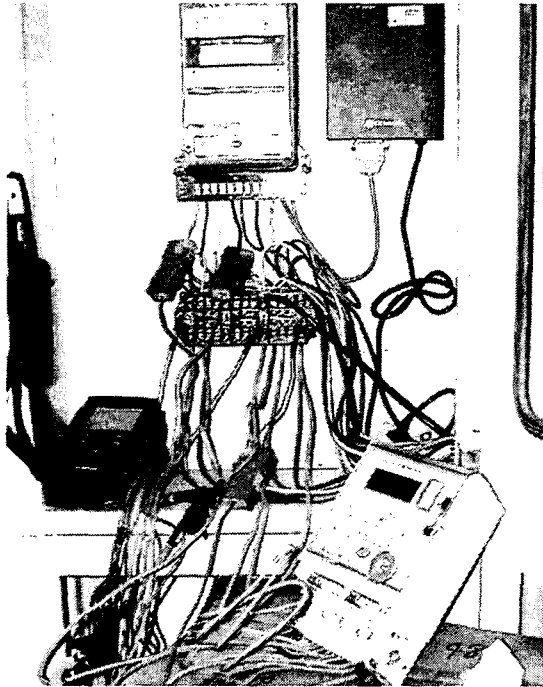
즉, 영상전류  $I_n$ 이 존재하는 경우 3상 3선식 계량방식과 3상 4선식 계량방식 사이에는  $|V_b I_n|$ 의 차이가 발생한다.

일반적으로 22.9kV 수전설비와는 달리 154kV 수전설비 주변압기의 1차측에는 부하의 불평형에 의한 영상전류는 발생하지 않는다. 그 이유는 주변압기를 Y $\Delta$ - $\Delta$ Y 결선으로 운전하고 있기 때문이다. 부하측에 부하의 불평형에 의한 영상분 전류가 있다하여도  $\Delta$ 결선을 통과하여 전원측에 전달할 수 없으므로 전력을 계량하기 위한 계기용 변성기 설치점에서는 불평형 전류는 발생할 수 있으나 영상전류  $I_n$ 은 존재하지 않는다. 또한 중성점을 부동운전하면 영상전류를 근원적으로 차단할 수 있으므로 3상3선식 계량과 3상4선식 계량은 정확히 일치하게 되어 154kV 수전설비 3상3선식 계량은 값비싼 계기용 CT 한 개를 절감할 수 있는 이점 때문에 널리 사용되어 왔다.

### 2.4 열병합발전소의 계량

열병합 발전소는 대규모 택지에 난방용 온수를 공급하기 위하여 운영되고 있으며 기동·정지가 빈발한 특징을 가지고 있다. 최근에는 전력산업의 구조개편과 더불어 발전소의 전력거래가 이루어지고 있으며 민간사업자의 발전사업 참여로 이러한 거래는 더욱 증가할 전망이다.

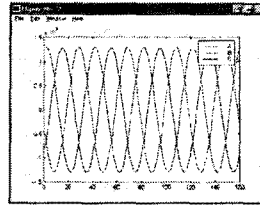
열병합발전소는 일반적으로 동일한 주변압기와 154kV 선로를 이용하여 송전과 수전을 반복하며 수많은 보호장치와 제어장치의 기준전위 설정을 위하여 주변압기의 부동운전이 불가능한 현실이다. 이러한 경우 3상3선식 계량방식이 가져올 수 있는 문제점에 대하여 실측파형을 기반으로 고찰하였다.



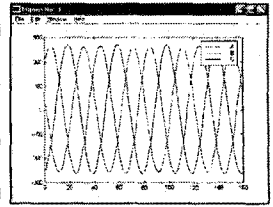
[전력량계에 유입되는 전압과 전류의 측정]

### 2.5 A 열병합 발전소의 송전(발전)시 전력

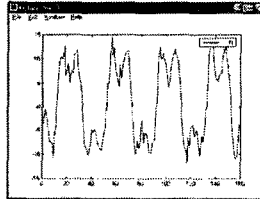
A 열병합 발전소가 전력을 발전하여 한전계통에 송전하고 있을 때 거래용 전력량계에 입력되는 각상의 전압과 전류를 Sampling하여 3상3선식 계량방식과 3상4선식 계량방식으로 재구성하였다.



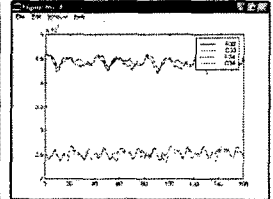
[그림 3] 전압파형



[그림 4] 전류파형



[그림 5] 영상전류



[그림 6] 전력

[표 1]은 각상 전류파형의 실효치 크기와 상대적인 위상을 나타낸 것이다. 계기용 CT는 3,000A/5A의 대용량 CT로써 발전 중임에도 전류치는 CT의 정격전류에 상당히 못 미치는 전류값을 나타내고 있다. 특이한 점은 상전류의 약 3.5%에 이르는 영상전류가 중성선에서 검출되었다. 이러한 파형을 근거로 전력량을 계산하면 [표 2]의 결과를 얻을 수 있다. 두 방식의 전력값은 약 0.75%의 오차를 보여 매우 근사한 계량결과를 보이고 있다.

[표 1] 발전시 전압·전류의 크기와 위상

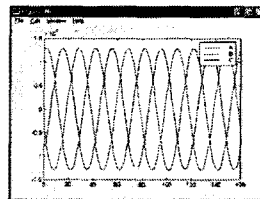
구분	A상		B상		C상		N상	
	크기	위상(°)	크기	위상(°)	크기	위상(°)	크기	위상(°)
전압[kV]	128.63	-126.72 (120.93)	128.99	112.35 (120.64)	129.61	-8.29 (118.43)	-	-
1차전류[A]	266.24	-157.88 (117.52)	258.06	84.60 (120.70)	263.48	-36.10 (121.78)	9.14	173.13
2차전류[A]	0.44	-157.88 (117.52)	0.43	84.60 (120.70)	0.44	-36.10 (121.78)	0.015	173.13

[표 2] 각 방식별 전력량

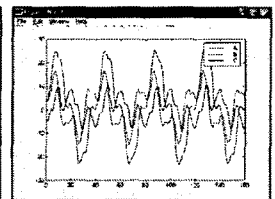
구분	유효전력	무효전력	역률
3 $\phi$ 3W (2CT)	44,032[kW]	25,366[kvar]	0.867
3 $\phi$ 4W (3CT)	44,370[kW]	24,837[kvar]	0.873

### 2.5 A 열병합 발전소의 수전시 전력

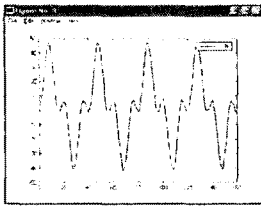
발전소가 전력생산을 멈추고 계통으로부터 수전하는 경우의 거래용 전력량계에 입력되는 전압 및 전류의 파형과 영상전류 및 계산된 전력을 [그림 7-9]에 나타내었다.



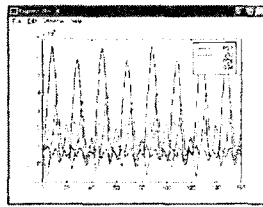
[그림 7] 전압파형



[그림 8] 전류파형



[그림 9] 영상전류



[그림 10] 전력

[표 3]은 측정된 파형의 크기와 위상을 나타낸 것이다.

[표 3] 수전선 전압·전류의 크기와 위상

구분	A상		B상		C상		N상	
	크기	위상(°)	크기	위상(°)	크기	위상(°)	크기	위상(°)
전압[kV]	128.40	-128.00 (116.99)	129.03	115.01 (122.27)	129.84	-7.26 (120.74)	-	-
1차전류[A]	5.15	-122.34 (251.22)	9.88	-13.56 (51.22)	19.83	-64.78 (57.56)	28.98	-58.14
2차전류[A]	0.0086	-122.34 (251.22)	0.016	-13.56 (51.22)	0.033	-64.78 (57.56)	0.048	-58.14

[그림 8]의 전류파형은 심하게 일그러진 모양을 나타내고 있으며 각상 전류의 위상차는 251°, 51°, 58°로 동상에 가까운 현상을 보이고 있다. [그림 9] 및 [표 3]의 영상전류는 28.98[A]로 상전류 실효치 5.15[A], 9.88[A], 19.83[A]보다 크게 나타난다.

[표 4] 측정파형의 고조파 성분

구분	A상	B상	C상	N상
기본파 [A]	5.15	9.88	19.82	28.98
제3고조파 [A]	4.46	6.03	5.00	15.21
제5고조파 [A]	2.24	1.77	2.35	0.54

[표 5] 각 방식별 전력량

구분	유효전력	무효전력	역률
393W (2CT)	2,482[kW]	1,354[kvar]	0.878
394W (3CT)	621[kW]	1,562[kvar]	0.369

3상3선식 계량과 3상4선식 계량을 비교하여 보면 유효전력은 3상3선식 계량이 3상4선식 계량에 비하여 300% 많이 계산되며 이는 전류의 위상이 많이 왜곡되어 나타나는 현상이다. 또한 무효전력은 3상3선식 계량이 3상4선식 계량에 비하여 6.9% 적게 계산된다.

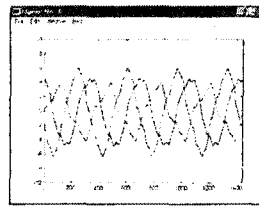
역률은 유효전력이 매우 작기 때문에 3상4선식 계량일 경우 매우 낮아진다. 이것은 3상의 합성전류가 상전류보다 크기 때문에 나타나는 현상이다.

## 2.6 B 열병합 발전소의 수전선 전력

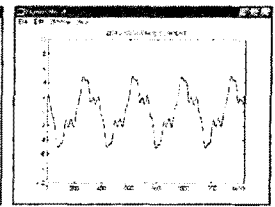
[그림 11]은 열병합 발전소가 154[kV] 선로로 수전하여 소내 부하에 전력을 공급하고 있을 때의 전류파형이다. CT 2차 회로에 유도되는 노이즈를 배제하기 위하여 GIS(Gas Insulated Switchgear)에 설치되어 있는 CT 단자를 단락하고 전류를 측정한 후 약 100(m) 떨어진 전력량계 설치점에서 다시 전류를 측정하는데 두 전류파형은 동일하였다.

이러한 측정결과로부터 측정된 영상전류는 변류기의 2차측에 유기된 노이즈가 아니며 실제로 154kV 전력선에 존재하는 성분임을 알 수 있다.

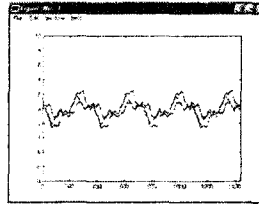
또한 주변압기의 2차측을 개방하고 변압기만 가압된 무부하 상태에서는 [그림 13]의 무부하 전류가 측정되었다.



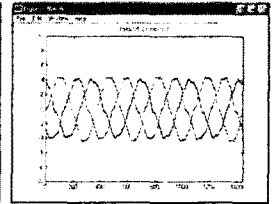
[그림 11] 무부하전류



[그림 12] 영상전류



[그림 13] 무부하 전류



[그림 14] 부하전류

[그림 11]의 무부하전류는 A 발전소 같이 위상이 크게 틀어져 있지는 않으나 왜곡된 형태를 보이고 있으며 [그림 11]의 부하전류에서 부하를 분리하고 주변압기를 가압한 상태에서 측정된 [그림 13]의 무부하전류를 분리하면 [그림 14] 실제의 순수한 부하전류를 추출할 수 있다. 이 또한 영상전류가 존재함으로써 해서 두 가지 계량방식의 오차를 초래한다.

또한 [그림 8]과 [그림 13]은 그 크기만 다를 뿐 매우 유사한 모양을 하고 있어 무부하전류는 주변압기에서 소비되는 무부하 손실분으로 추정할 수 있다. 무부하손실은 철심에서 발생하는 철손과 여자전류에 의한 1차 권선의 저항손 및 유전체손을 들 수 있는데 대용량 변압기의 경우 이 비용만 연간 수억원에 달할 것으로 추정된다.

## 3. 결론

본 논문에서는 154kV 수전설비의 올바른 계량을 위하여 운전조건에 따라 나타날 수 있는 문제점의 가능성을 수식과 실측파형을 근거로 제시하였다.

결론적으로 154kV 수전설비의 올바른 계량을 위해서는 다음의 조건을 만족하여야 한다.

- ① 적정한 변성비의 CT를 선택하여야 한다. 이는 최대전력을 사용할 때는 물론 통상적인 최소전력을 사용할 때도 CT와 전력량계의 오차 보증범위를 만족하여야 한다. 특히 열병합 발전소와 같이 송수전 전력의 차이가 대단히 클 경우에는 이러한 점을 신중하게 고려하고 대책을 세워야 한다.
- ② 통상적인 154kV 수전설비에서 주변압기의 중성점을 부동운전할 수 있는 조건이라면 3상 3선식 계량방식을 사용하여도 정확한 계량을 할 수 있다.
- ③ 발전소와 같이 주변압기의 중성점을 부동운전할 수 없는 경우에는 3상 4선식의 계량방식을 채택하는 것이 계량의 오차를 줄일 수 있다.
- ④ 열병합 발전소와 같이 정지시간이 상대적으로 긴 발전소는 소내전력을 사용할 때 작은 용량의 수전용 변압기를 구비하는 것이 장기적으로 경제적이다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 김준오, 임성일 "중성점 접지제통의 계량방식 검토", 한국전력공사 기술 보고서, 2002
- [2] 김준오 "전차식 및 IV형 전력량계의 경년특성과 수명예측에 관한 연구(중간보고서)", 한국전력공사, 2001.