



- CASE -

154kV 수급 수용가의 거래용 계량기 과·부족전력 계량 발생

A사는 열병합 발전소를 준공하고 시운전중 22.9kV 공사용 수전계통과 154kV 본전력설비를 절체하여 사용할 수 있는 계통으로 구성되어 22.9kV 수전전력과 154kV 수전전력으로 발전소 시운전중 Peak 전력에서 1,220kW의 편차가 발생하였다. 계량장치 및 GIS, 변압기손실 등 관련 전력 설비들을 점검하여 보았으나 이상이 없었다. 본 문제의 해결을 위하여 많은 협조와 자료를 제공하여 주신 미래전기정보의 임형균 사장님과 A사의 S부장님, B과장님께 감사 드립니다.



전 명 수[No.45]
신우디엔시/일렉엔연구소
Tel. 02-554-8787
HP 018-212-4848



김 정 철[No.24156]
(재)한국철도기술공사
Tel. 02-525-6473

1. 현 황

가. A사의 과부족 계량현황

22.9kV계통으로 시운전할 경우 Peak 전력이 1,338kW이고 154kV 계통으로 시운전시 동일한 조건임에도 Peak 전력이 2,568kW로 나타나므로 원인을 추적하였으나 계량장치(CT, PT, 계량기)의 오차, GIS, 변압기 손실전력에는 이상이 없었으며, 전력실측 내용은 아래와 같았다.

A사의 송수전시 실측 DATA

측정일시	송·수전 구분	측정전력		전력 편차	2CT, 3PT방식 과부족	비고
		2CT 3PT	3CT 3PT			
2001년 12월 13일 09시 09분	송전	11136	12436	1300	부족계량	154kV 수전
2001년 12월 13일 09시 10분	송전	11981	13290	1309	부족계량	154kV 수전
2001년 12월 10일 18시 40분	수전	2568	1338	1230	과계량	154V 수전
2001년 12월 10일 18시 39분	수전	2568	1375	1193	과계량	154kV 수전
2001년 12월 10일 18시 40분	수전		1348		154kV-22.9kV = 28kW	22.9kV수전 과 부족없음

나. 전력계통과 계량방식

우리나라의 대동력 수용가 대부분은 154kV 송전계통에서 송·수전하고 초대형 일부 수용가는 345kV 송전계통에서 송·수전하고 있으며, 계통보호와 전력설비의 절연 협조를 위하여 유효접지계통인 3상 3선식으로 운용되고 있다. 배전계통은 22.9kV 3상4선식 다중접지계통으로 운용되며, 10,000kW 미만 수용가의 수급계통으로 이용되고 있으며, 한국전력공사의 전력거래 방식은 22.9kV 계통은 3상4선식(3소자방식)으로 계량되고, 154kV 계통 수용가의 대부분은 3상3선식(2소자방식)으로 계량되고 있다. 따라서 변압기 중점점이 직접접지되고, 2소자방식으로 계량되는 일부 154kV 수급 수용가에는 실제의 사용량보다 거래용 전력량에 과·부족 계량이 발생되어 공정거래에 문제가 발생되고 있다.

다. 154kV 계통의 계량방식

우리나라의 154kV 전력계통은 유효접지 계통으로 계통에 연계되는 변압기의 154kV측 권선은 거의 대부분이 Y 결선으로 되어 중점점을 개방하거나 직접 접지하는 방식으로 운영되고 있다. 154kV 전력계통

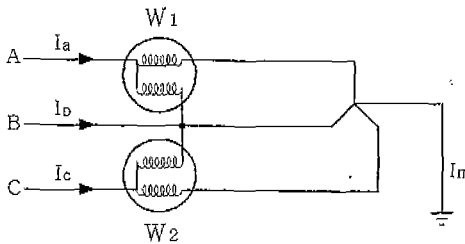
은 3상 3선식으로 구성되어, 발전단과 수전단에 154kV 변압기를 통하여 연계되어 있으며, 발전기가 전력계통과 병렬 운전되는 송전 또는 수전되는 수용가는 계통 연계용 변압기의 154kV측 중성점이 전력계통 보호상 직접 접지되어 운전되고, 일반수용가는 중성점이 Floating 되어 운전되고 있으며, 한국전력공사와의 거래용 전력량계는 3상 3선식(2소자계량)이 주종을 이루고 있다. 근래에 일부 수용가는 3상4선식(3소자계량) 방식으로 변경 되었으며, 전력계통과 연계되는 변압기의 중성점을 접지하여, 사용하는 발전소 또는 수용장소는 3상4선식(3소자계량) 방식으로 교체하고 있는 과정이다.

라. 154kV 현장측정 결과

현장조사건수	발전		수전		비고
	건수	과부족전력 (kW/h)	건수	과부족전력 (kW/h)	
L-POWER, T화력 D공단 외 7	7	70 ~ 1,600	2	500 ~ 1,220	

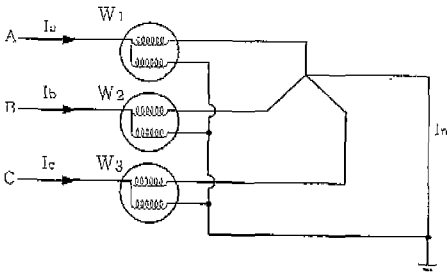
마. 154kV 계통 거래용 계량방식 결선도

1) 3상3선식 (2소자방식)



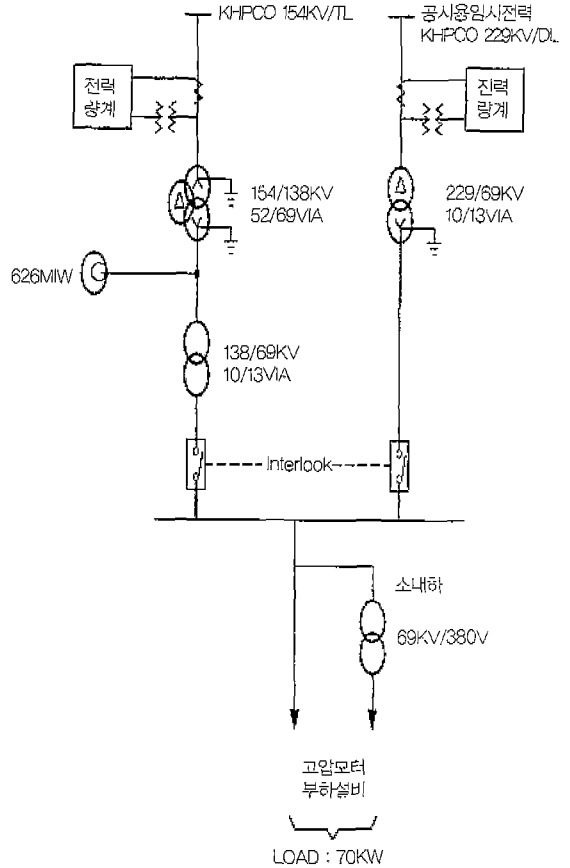
$$\begin{aligned}
 W &= W_1 + W_2 \\
 &= V_{ab}I_a + V_{cb}I_c \\
 &= \sqrt{3} V_{ab}I_a \quad (\text{단, } I_n = 0 \text{ 일 때는 3상 4선식의 방식과 동일하다})
 \end{aligned}$$

2) 3상4선식 (3소자방식)



$$\begin{aligned}
 W &= W_1 + W_2 + W_3 \\
 &= V_a I_a + V_b I_b + V_c I_c \\
 &= 3 V_a I_a = \sqrt{3} V_{ab} I_a
 \end{aligned}$$

바. A사의 급전계통도



2. 과부족 계량 원인 분석

우리나라의 154kV 전력계통은 유효접지 계통으로 구성되며, 계통 연계용 변압기의 154kV측 중성점을 접지하면 대지를 귀로로하는 회로가 구성되어 3상 4선식(공급선로 3 + 대지 1) 공급계통이 되므로 3상 3선식(2소자방식) 계량방식은 곤란하다. 왜냐하면 전력계통의 완전한 대지는 어려우므로, 중성점 접지계통의 경우 3상 3선식 계통방식은 아래와 같은 원인으로 중성점 영상전류와 B상 전압의 상관 관계로에 해당하는 과·부족 전력량이 계량 된다.



가) 수전단이 비접지된 부하설비의 경우 2전력계법

(2CT, 3PT)에 의해 측정한다면

역률 100%일 경우 ($\cos \theta = 1$)

$$W_1 = V_{ab}I_a = (V_a - V_b)I_a$$

$$W_2 = V_{cb}I_c = (V_c - V_b)I_c$$

$$W = W_1 + W_2$$

$$= (V_a - V_b)I_a + (V_c - V_b)I_c$$

$$= V_a I_a + V_c I_c - V_b(I_a + I_c)$$

$$= V_a I_a + V_c I_c + V_b I_b$$

$$= (V_{an} + V_n)I_a + (V_{bn} + V_n)I_b + (V_{cn} + V_n)I_c$$

$$= (V_{an}I_a + V_{bn}I_b + V_{cn}I_c) + V_n(I_a + I_b + I_c)$$

키르히호프(Kirchhoff's)의 전류법칙에 의하여

$I_a + I_b + I_c = 0$ 가 되므로

$$W = (V_{an}I_a + V_{bn}I_b + V_{cn}I_c) = 3V_{an}I_a = 3V_{ab}I_a \text{ 가 되며}$$

V_n 크기(불평형부하)에 관계없이

3상전력 $W = V_{an}I_a + V_{bn}I_b + V_{cn}I_c$ 가 측정된다.

이와 같은 원리에 의해 수전단이 비접지일 경우 부하 결선방식(Y·Δ결선) 또는 부하 불평형에 불구하고 2전력계법(2CT, 3PT)에 의해 측정하여도 정확한 전력이 측정된다.

나) 수전단이 중성점 접지된 부하설비일 경우

역률 100%일 경우 ($\cos \theta = 1$)

$$W_1 = V_{ab}I_a = (V_a - V_b)I_a$$

$$W_2 = V_{cb}I_c = (V_c - V_b)I_c$$

$$W = W_1 + W_2$$

$$= V_{ab}I_a + V_{cb}I_c$$

$$= (V_a - V_b)I_a + (V_c - V_b)I_c$$

$$= V_a I_a + V_c I_c + V_b(I_b + I_n)$$

$$= (V_{an} + V_n)I_a + (V_{cn} + V_n)I_c + (V_{bn} + V_n)(I_b + I_n)$$

$$= (V_{an}I_a + V_{bn}I_b + V_{cn}I_c) + V_n(I_a + I_b + I_c) + V_{bn}I_n + V_n I_n$$

한편 $I_a + I_b + I_c$ 가 $-I_n$ 이 되므로

$$W = (V_{an}I_a + V_{bn}I_b + V_{cn}I_c) + V_{bn}I_n \text{ 이 되어 2전력계}$$

법으로 측정할 경우 3상 $V_{an}I_a + V_{bn}I_b + V_{cn}I_c$ 전력에 $V_{an}I_a + V_{bn}I_b + V_{cn}I_c$ 중성점 영상 전류 (중성점접지 변압기)로 인한 $|V_{bn}I_n|$ 만큼이 추가 계량 되므로 참값 $V_{an}I_a + V_{bn}I_b + V_{cn}I_c - V_n I_n$ 과 비교 해 볼 때 $|V_{bn}I_n + V_n I_n| = |V_b I_n|$ 만큼 과·부족 계량이 된다. 따라서 수용가 또는 한국전력공사 어느 측인가는 손해를 보게 되며, 수전할 경우 과계량인 경우는 역송할 때에는 부족계량이 되므로 손해를 보는 측은 송전·수전 어떠한 경우에도 손해를 보게 되며, 이익을 보는 측은 송전·수전 어떤 경우에도 이익을 보게 되는 불합리한 점이 있다.

다) 3상 전력의 3CT 3PT 방식(3상4선식)에 의한 계

량값(참값)

역률 100%일 경우($\cos \theta = 1$)

$$W_1 = V_a I_a \cos \theta = (V_{an} + V_n)I_a$$

$$W_2 = V_b I_b \cos \theta = (V_{bn} + V_n)I_b$$

$$W_3 = V_c I_c \cos \theta = (V_{cn} + V_n)I_c \text{ 가 되며}$$

각상 전압은 $V_{an} = Z_a I_a$, $V_{bn} = Z_b I_b$, $V_{cn} = Z_c I_c$ 가 되므로 V_n 은 중성점 잔류전압으로 나타나므로

$$W = W_1 + W_2 + W_3$$

$$= (V_{an} + V_n)I_a + (V_{bn} + V_n)I_b + (V_{cn} + V_n)I_c$$

$$= V_{an}I_a + V_{bn}I_b + V_{cn}I_c + V_n(I_a + I_b + I_c) \text{ 가 되며}$$

키르히호프의 전류법칙에 의하여 $I_a + I_b + I_c = -I_n$ 이 되므로 중성점 잔류전압 V_n 의 크기에 따라 $V_n(I_a + I_b + I_c)$ 는 $-V_n I_n$ 이 되므로 $W = (V_{an}I_a + V_{bn}I_b + V_{cn}I_c) - V_n I_n$ 에서 각상의 상전압과 상전류가 평형일 경우

$$|V_{an}| = |V_{bn}| = |V_{cn}| \Rightarrow V_a$$

$$|I_a| = |I_b| = |I_c| \Rightarrow I_a$$

$$W = 3V_a I_a \text{ 가 되며 선간전압 } V_{ab} = \sqrt{3}V_a \text{ 이므로}$$

$$W = \sqrt{3}V_{ab} I_a \text{ 가 된다.}$$

라) 송·수전시 과부족 계량

2전력계가 수전의 경우는 $(V_{bn}I_n + V_n I_n)$ 송전시는 $-(V_{bn}I_n + V_n I_n)$ 이 되는 것은 I_n 의 방향이 수전의 경우와 송전의 경우에 반대로 되기 때문이며, I_n 이 I_a, I_b, I_c 값에 의해서 결정되어지는 것이 아니고 I_n 값에 따라 선전류 I_a, I_b, I_c 값이 변하기 때문이다. 이것은 I_a, I_b, I_c 가 "0", 즉 무부하인 경우에도 I_n 은 전력계통 구성 상태에 따라 거의 일정하게 흐르게 되기 때문이며, I_n 값에 비해 I_a, I_b, I_c 값(송전, 또는 수전량)이 적을 경우는 $V_{bn}I_n + V_n I_n$ 의 전력이 전체 전력의 크기를 좌우하게 된다. 따라서 수전시 $(V_{bn} + V_n)(+I_n) = (V_{bn}I_n + V_n I_n)$ 이 되고 송전시는 $(V_{bn} + V_n)(-I_n) = -(V_{bn}I_n + V_n I_n)$ 이 되므로 수전시 과계량일 경우는 송전시에는 부족계량이 되게 되며, 수전시 부족계량일 경우는 송전시에는 과계량이 되게 된다.

3. 문제점

가. 계량방식 문제

우리나라의 154kV 전력계통은 유효접지 계통으로 송·수전 장소의 변압기 154kV측의 중성점이 접지된 장소는 3상 4선식이 되므로 3상 3선식(2소자방식) 계량장치로는 V_{bLn} 만큼의 과·부족 계량이 되어 공정거래가 될 수 없다.

나. 개선에 필요한 정전과 추가비용

현재 사용중인 설비의 개선을 위해 154kV급의 CT1대 추가 및 전력량계 교체에 따른 비용과 정전이 필요하며, 정전이 불가능한 곳에는 매우 곤란한 문제 발생.

다. 과거 발생한 과·부족 전력량의 정산

송·수전설비(발전 또는 수전) 설치 당시부터 존재되었던 전력 과·부족 전력량을 추정하여 정산하기 위하여, 과거의 전력계통 상태를 추정 확인 하기에는 어려움이 있으며, 전력 계통은 계속 변화되고 있다.

라. 과·부족 전력량 측정방법

우리나라 전력 거래상 처음 발생하는 계량 System에 의한 과·부족 전력 발생 현상이므로 기존의 오차 확인 방법으로는 측정방법이 없으며, 유사하게 적용할 수 있는 비교 계량 방법이 있었으나, 계량 배율이 수만에서 수십만배가 되므로 수십 ~ 수천 kW 정도의 과·부족 전력은 계량 장치의 범정 허용 오차 범위 내에 속하는 경우가 많으며, 또한 이럴 경우에는 154kV CT 1대 추가 및 전력량계 설치 공사가 선행되어야 하며, 정전에 따른 생산 차질 및 2 ~ 3억원 정도의 공사 비용이 발생하므로 과·부족 전력이 경미한 수용가는 이의 시정을 위한 개선 공사가 곤란한 실정임.

4. 대 책

가. 계량방식

모든 측정 기기는 오차를 0%로 할 수 없으므로 법정 허용 오차가 정해져 있으나 계량방식에 따른 System 오차는 없어야 하는 것이 원칙이므로 증성점이 접지 되는 변압기를 사용하는 154kV 수용가는 3상 4선식 (3소자 계량방식)으로 교체하거나, 기존의 3상 3선식 (2소자 계량방식)과 과·부족 전력량 계량 장치를 설치하여 합산하는 방식을 고려 할 수 있다.

나. 과거에 발생된 과부족 전력량의 추정

전력 계통이 완전 대칭되면 $V_b I_n$ 의 과·부족 전력에서 이 "0"이 될 것이므로 3상3선식으로 계량하여도 문제가 없으며, 전력 계통은 점차 안정화 추세이므로 값은 점점 안정화(감소)가 예상되므로 과거값을 추정하기는 점점 어렵게 된다. 따라서 과·부족 전력의 추정을 위하여는 될 수 있는대로 조속한 시일내에 과·부족 전력 측정값의 확보가 필요할 것임.

다. 과·부족전력 계량(측정) 방법

1) 비교계량 방법

3상 3선식(2소자계량)과 3상 4선식(3소자계량)을 비교 계량하여 그 편차값을 과·부족 전력으로 적용함.

2) 직접계량(측정) 방법

V_b 와 I_n 값을 이용하여 3상 3선식과 3상 4선식(참값)의 계량편차 (과·부족전력)만을 직접 계량하여 적용하는 방법.

3) 측정방법별 장단점 비교

방법별	장점	단점
비교 계량 방식	<ul style="list-style-type: none"> ○ 동일한 조건에서 기존 계량 방식(3φ 3W)과 정상 계량 방식(3φ 4W)을 비교하여 산출하므로 객관성이 있는 기존의 정산방법이므로 기존 규정 적용이 용이함. ○ 장기간 측정이 가능하므로 평균값 산정이 가능. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 특고설비(GIS등)에 CT추가 설치가 필요하므로 정전 및 추가 비용 2~3억 소요. ○ CT비의 과다로 계량값에 대한 배율이 수만에서 수십만배가 되므로 수백~수천kW 과·부족 전력은 법정오차 범위에 해당하므로 System 편차에 의한 과·부족량 측정 곤란.
직접 계량 (측정) 방식	<ul style="list-style-type: none"> ○ 특고압 설비(GIS등)에 CT 추가 설치가 필요 없으므로 정전 및 추가 비용이 불필요하고 조기에 과·부족량 측정이 가능함. ○ 비교계량방식과 동일조건 (부하변동 시간대별 등)으로 계량 System 오차만을 측정하므로 신뢰도가 높다. ○ 장기간 계량이 가능하므로 과·부족 평균 전력값의 측정이 가능. ○ 노값에 적합한 전류비의 CT 사용으로 오차율이 낮고 신뢰도가 높은 과·부족량의 측정이 가능. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 처음 사용하는 방식으로 기존의 규정에 없는 방식이므로 관련 규정 적용에 어려움 있음.

5. 결 과

전력거래의 공정성과 국가 통계자료(발전, 판매, 손실율 등) 등의 올바른 관리를 위하여 증성점이 접지 되는 154kV 신규설비는 3상 4선식 계량 방식으로 설치하고, 기존 수용가의 경우 여건이 허용하는 곳은 3상 3선식(기존방식)에서 3상 4선식으로 개선(특고압 CT 1대 추가 전력량계 교체)하고 개선비용(2~3억) 및 정전이 곤란하거나 기타 현장 여건상 개선이 어려운 대상 수용가는 여건이 허용 할 때까지 기존의 계량 방식(3상 3선식)을 사용하고 계량 System 차에 의한 과·부족 전력만을 측정 할 수 있는 직접 계량장치(상기 개선 비용의 1/15 미만, 무정전 설치-개발완료)를 설치하여 합산 하여 사용 하므로써 불필요한 비용(2~3억)과 정전에 따른 생산 감소 등을 방지하는 것이 바람직 할 것으로 판단 된다. -끝-