

## 기록형 전자식전력량계 오결선 해석

김태윤, 김석곤, 배경호  
한국전력 전력연구원

### An Analysis of Wrong Wire Connection for the Static Electronic Watt-hour Meter

Tae-Yoo Kim, Seok-Gon Kim, Keong-Ho Bae  
KEPRI, KEPCO

**Abstract** - 본 논문에서는 현재 한전에서 사용 중인 고압 '기록형 전자식전력량계'에 대한 오결선 분석을 하였다. 급년도에 준공된 전력계량시험센터 내의 특고압 수전설비를 이용하여 한전 배전사업소에서 전자식전력량계 결선시에 실수로 발생할 수 있는 오결선 실험을 하였다.

그리고 계량값이 기존에 알고 있는 기계식 전력량계 오결선 해석 때 사용하던 벡터해석과는 약간 다르다는 것을 알 수 있다. 그 이유는 현재 기록형 전자식전력량계 구매 규격서의 계량방식이 단방향으로 정의되어 있어, 수전방향이 아닌 송전방향일 경우에는 계량오차가 발생한다. 현장 담당자들이 계량오차 해석 및 판단시 도움이 되도록 오결선 사례별로 실험을 하여 벡터도와 비교분석하였다..

## 1. 서 론

현재 국내의 전자식 전력량계는 1993년 도입 이후로 약 15년 동안 사용되어 왔다. 처음 고압 전자식 전력량계를 시작으로 2002년 저압 역률전자식 전력량계 도입으로 명실공히 고·저압 전자식 전력량계 붐을 형성하고 있다. 그리고 한전의 『중장기 전력량계 Master Plan』에 의거 2015년 까지는 전량 전자식화 할 계획이다.

그러므로, 공정한 전력거래를 하기 위한 매체인 전력량계의 오결선에 의한 계량실수는 전기사업자인 한전과 고객과의 신뢰를 훼손시키는 중대한 문제가 아닐 수 없다. 더욱이 안정적인 전자식화를 도입하기 위해서는 계량오차는 발생되지 않아야 한다.

본 논문에서는 급년도에 준공된 전력계량시험센터에 설치된 특고압 수전설비를 이용하여 일부하 상태에서 고압전자식 전력량계 오결선 실험을 하였다. 우선, 기계식 및 전자식 전력량계의 계량원리 및 한전 배전사업소의 내선계기파트의 담당자들이 고압 전자식 전력량계를 결선하면서 발생할 수 있는 오결선을 사례별로 분석하고, 정결선과 오결선의 경우에 계량값이 어떻게 차이가 나는지를 살펴보고자 한다.

## 2. 본 론(전력량계 계량원리)

### 2.1 전자식 전력량계 계량원리

기계식 전력량계는 전압코일과 전류코일로 된 구동소자와 영구자석과의 자계에 의한 회전력 발생원리를 이용하여 유도원판이 회전하여 계량되는 방식으로 3상 모두가 서로에게 영향을 미친다. 반면에 전자식 전력량계는 각상별 전자식 소자에서 전압과 전류를 측정하여 전력량에 비례하는 출력력을 발생시키는 계측장치로서 각상이 서로에게 영향을 미치지 않고 독립적이고 계량방식에는 다음과 같은 방법이 사용되고 있다.

#### 2.1.1 RMS 승산 방식

임의의 신호 순시치로 제곱을 한 주기동안 적분하고 이에 주기로 나누어 평균을 취하고 루트를 하면 이것이 임의의 신호  $s(t)$ 의 RMS값이 된다.

$$\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T s^2(t) dt}$$

RMS 승산방식은 실제 파형의 형태를 샘플링하여 전력량으로 표현하기 때문에 파형의 종류에 의존하지 않고 정확한 전력계측이 가능하고 H/W부품에 의한 승산방식이 아니므로 온도 영향

을 적게 받으며, 최근에 디지털 반도체 및 소프트웨어 기술발전과 함께 가장 널리 사용된다.

#### 2.1.2 홀소자 승산 방식

부하전류를 전자식의 코일에 연결하여 부하전류에 비례하는 자장이 발생하게 되고, 전원 전압을 반도체에 연결하여 전압에 비례하는 전류를 홀 소자에 흐르게 하면 부하전류와 전원전압에 비례하는 Hall-voltage가 발생한다. 이 홀 전압을 이용하여 전력계 및 전력량계에 응용한 것이 홀 소자 승산방식이다.

#### 2.1.3 시분할 승산 방식

시분할 승산방식은 RMS계측방식과 기본호름은 동일하나, 전압과 전류를 승산하여 이에 비례하는 전류신호로 변환하는 W/I 변환기와 전류신호를 펄스신호로 변환하는 I/F변환기가 시분할 방식의 핵심이다. 시분할 방식에서는 연산부분을 하드웨어에 의존하므로 CPU의 부담이 적다.

## 2.2 전력량계 오결선 분석

현재 고압 전력량계는 고전압, 대전류를 자가용 수전설비의 계기용변성기를 통해 시험용단자대를 거쳐 나온 저전압, 소전류의 계량신호를 통해 고객의 전력사용량을 측정한다. 기계식은 전류 전압코일의 전자기 현에 의해 유도원판이 회전하면서 계량되므로 각상의 전압 및 전류, 부하 평형, 위상각등에 의해 밀접하게 서로 영향을 받는다.

#### 2.2.1 2S~3S 교차결선

전압 P1, P2, P3는 정상결선하고, 전류 2S와 3S를 교차 결선한 경우로, 전력량은 식(1), 식(2), 위상각은 식(3)으로 전력량계에서는 각상의 전압, 전류가 삼상평형을 이룬다고 가정할 경우, 식(4)를 대입하면 전력량계는 식(5)와 같이 무계량되고 정지한다.

$$P = P_1 + P_2 + P_3, \quad \text{식(1)}$$

$$P_1 = V_1 * I_1 * \cos \theta_1,$$

$$P_2 = V_2 * I_2 * \cos \theta_2, \quad \text{식(2)}$$

$$P_3 = V_3 * I_3 * \cos \theta_3,$$

그리고 위상각은

$$\theta_1 = \phi,$$

$$\theta_2 = 120 + \phi, \quad \text{식(3)}$$

$$\theta_3 = 120 - \phi,$$

전류와 전압이 평형이라면

$$V_1 = V_2 = V_3 = V \quad \text{식(4)}$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = I$$

결국, 전력량은

$$P = 0, \quad \text{식(5)}$$

#### 2.2.2 P1~P2 교차결선

전압 P1과 P2를 교차결선하고, 전류1S, 2S, 3S는 정상 결선하였을 경우로 각상의 전압과 전류가 평형이라면 벡터해석에 의해 회전하지 않고 무계량된다. 현실적으로 부하상태에 따라 전력량계는 정지 또는 역회전, 정회전할 수 있으므로 미소 계량된다.

#### 2.2.3 P1~P2, 2S~3S 교차결선

이 경우에는 위와 같이 전압, 전류가 삼상평형일 경우 전력량계는 정지하여 전력량은 계량되지 않는다.

**2.2.4 1S→1L 교차결선**

전압 P1, P2, P3는 정상결선하고 전류 1S와 1L를 교차결선 하였을 경우

$$P_1 = V_1 * I_1 * \cos\theta_1$$

$$P_2 = V_2 * I_2 * \cos\theta_2$$

$$P_3 = V_3 * I_3 * \cos\theta_3 \quad \text{--- 식(6)}$$

이고  $\theta_1 = 180 + \phi, \theta_2 = \theta_3 = \phi$  --- 식(7)

각상의 전압과 전류가 평형이라면 식(4), 식(7)을 식(6)에 대입하면 벡터 해석에 의해 정상계량치의 1/3만 계량된다.

**2.2.5 P1→P0 교차결선**

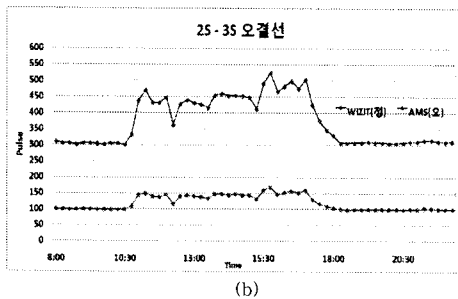
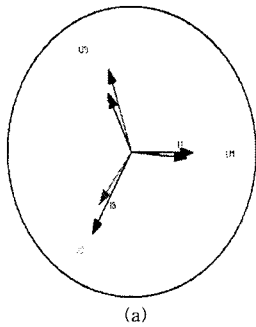
전압 P1단자와 P0단자를 교차 결선하였을 경우는 전압, 전류가 3상 평형일 경우 정결선의 2/3만 계량되는 결과를 갖는다.

**2.3 기록형 전자식 전력량계 오결선 분석**

전자식 전력량계의 오결선 해석을 위해 오차시험을 통과하고 배전사업소 현장에서 사용되는 기록형 전자식 전력량계 2대를 전력계량시험센터내의 고압계량 장치반에서 비교계량을 하였다. 계통방식은 3상4선식, 전압 삼상 109 ~ 110[V], 전류 삼상 0.45 ~ 0.65[A], A, B상 전상, C상 지상으로 운전되고 있으며, 현장에서 자주 발생하는 경우의 사례를 다루었다. 기록형 전자식 전력량계는 계량방식이 단방향 계량방식(수전방향만 계량)이라 역방향은 제로 처리한다.

**2.3.1 2S→3S 교차결선**

전류단자 2S와 3S를 교차결선하면, 전력량은  $P = P_1 + P_2 + P_3$ 에서  $P_2 = V_2 * I_3 * \cos\theta_2$  그리고  $P_3 = V_3 * I_2 * \cos\theta_3$ 은 위상각  $\frac{\pi}{2} < \theta_2, \theta_3 < \pi$ 가 '-값'이므로 단방향 계량방식에서는 '0'처리하여 계량되지 않는다. 오결선의 펄스량은 정결선 펄스량에 비해 평균 33%를(31.3 ~ 33.03 %) 계량하였다. <그림 1>에서 벡터도와 펄스량 차이를 보여주고 있다. 이것은 양방향 계량방식인 기계식이 각 상별로 전자기적인 힘에 의해 서로의 영향에 의해 계량이 되지 않는데 반해, 기록형 전자식은 각상별 영향을 주지 않는다.

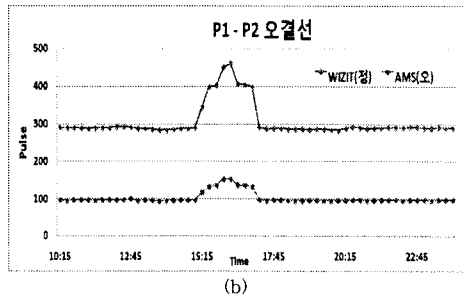
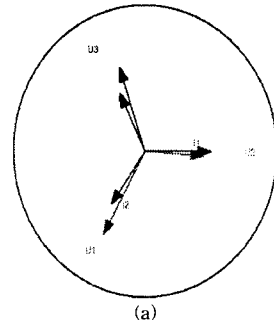


<그림 1> 2S→3S (a)벡터도, (b)계량값

**2.3.2 P1→P2 교차결선**

전압단자 P1과 P2를 교차결선하면,  $P_1 = V_2 * I_1 * \cos\theta_1$  그리고  $P_2 = V_1 * I_2 * \cos\theta_2$ 는 위상각  $\theta_1, \theta_2$ 이  $\frac{\pi}{2}$ 를 초과하고  $\pi$  미만이므로  $P_1$  과  $P_2$  의 값은 '- 값'으로 기록형 전자식 전력량계의 단방향 계량방식에 의해 '0'처리가 될 것이고  $P_3$  값만 계량된다.

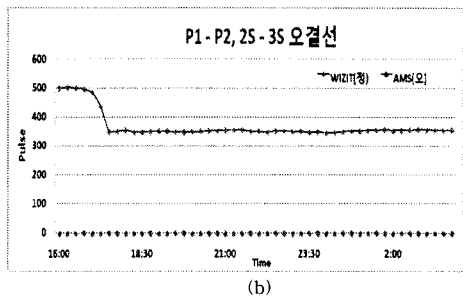
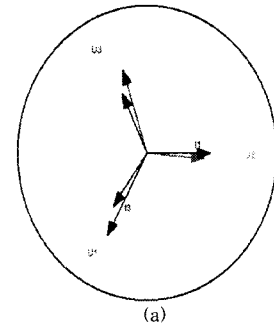
그러므로 오결선된 전력량계는 평균 33%(32.99 ~ 34.48%)를 계량하였다.



<그림 2> P1→P2 (a)벡터도, (b)계량값

**2.3.3 P1→P2, 2S→3S 교차결선**

위의 두가지 사례를 조합하여 오결선 해석을 하였을 때  $P = P_1 + P_2 + P_3$ 의 값은 <그림 3>에서 보는 것과 같이 오결선된 전력량계의 펄스량은 제로이다. 이것은 각상별 전압과 전류의 위상값이  $\frac{\pi}{2}$ 를 초과하여 상별 전력량은 모두 '-로' '0'처리되어 무계량된다.

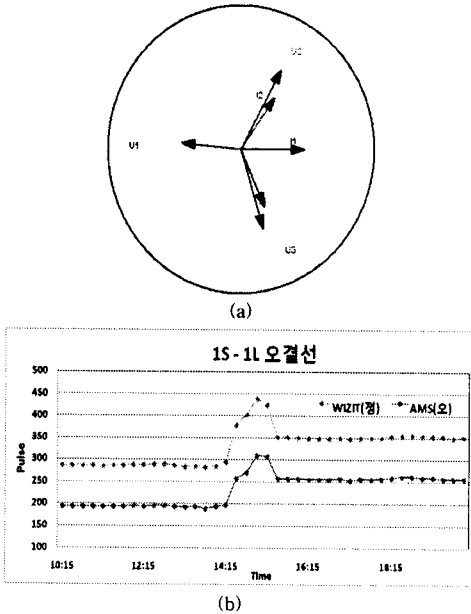


<그림 3> P1→P2, 2S→3S (a)벡터도, (b)계량값

**2.3.4 1S→1L 교차결선**

A상의 전류단자와 전압단자를 교차결선 하였을 경우, 현재 한 전 기록형 전자식 전력량계 구대규격에 의해  $P_1 = V_1 * I_1 * \cos\theta_1$ 은 '-값'으로 제로 처리되므로 계량은 B상과 C상에서 계량되는

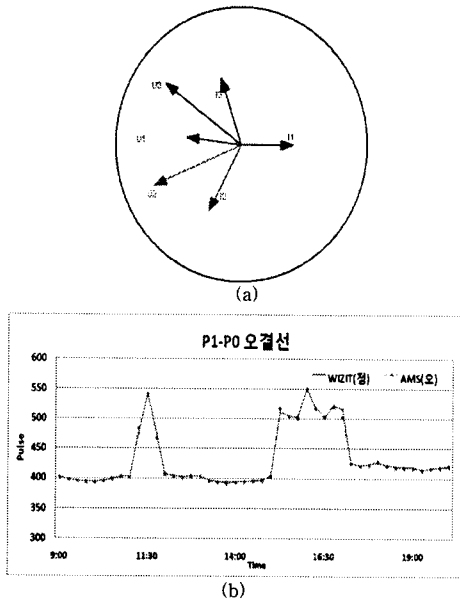
값이다. <그림 4>에서 오결선 계량 펄스량은 정결선의 평균 67%(67.59 ~ 73.99)이다. 양방향 계량방식으로 평형일 경우 한상 33%만 계량된다.



<그림 4> 1S→1L (a)벡터도 (b)계량값

2.3.5 P1→P0 교차결선

전압단자 P1과 중성선 P0를 교차결선 하였을 경우는, A상 전압, 전류의 위상각은 173°, B상, C상의 위상각은 각각 -39°, 35°로, 전압은 A상 109[V], B, C상은 각각 189, 190[V]으로  $P_1 = V_1 * I_1 * \cos \theta_1$ 은 0로 제로 처리되어 계량되지 않는다.  $P_2, P_3$ 의 전력은 정결선  $P_1$  1.5배가 계량되어 정상결선과 동일하다. <그림5>에서 오결선과 정결선의 펄스 계량값은 같다.

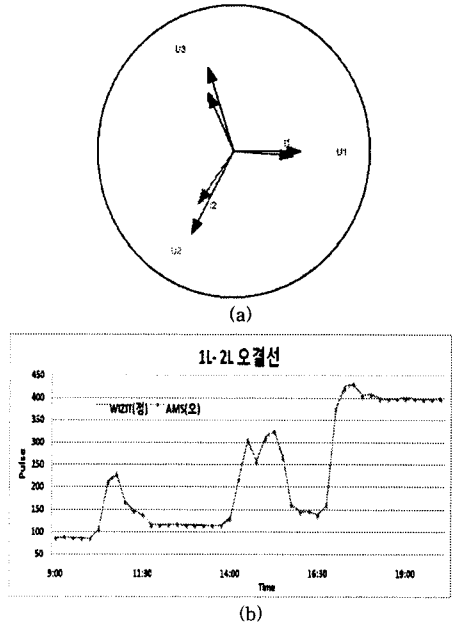


<그림 5> P1→P0 (a)벡터도, (b)계량값

2.3.6 1L→2L 교차결선

현장에서 역상시 자주 발생하는 1L과 2L를 바꾸지 않았을 경우에 계량값은 차이가 발생하지 않는다는 것을 알 수 있다. 그

이유는 내부에서 1L, 2L, 3L, P0를 common하기 때문이다.



<그림 6> 1L→2L (a)벡터도, (b)계량값

3. 결 론

본 논문에서는 배전사업소에서 발생하는 여러 가지 오결선 사례를 살펴보고, 벡터도 해석과 달리 차이가 발생하는 원인은 현재 사용중인 '기록형 전자식 전력량계'는 단방향 계량방식이기 때문이다. <표 1>에서 오결선 상태에 따른 단방향과 양방향방식의 계량 양을 비교하였다. 한전이 전기사업자로서 전기를 생산하여 고객에게 판매할 경우에는 문제가 되지 않았으나, 전기사업법 개정으로 태양광, 조력, 풍력 등의 분산전원이 송배전망에 연계하여 전기를 공급할 경우에는 조류가 발생되어 정확한 계량을 하기에는 무리가 있다. 전력량계의 디스플레이 및 계량자료에 오결선 계량값 이상유무를 표현하도록 하는 것이 필요하다고 사료된다.

<표 1> 오결선 계량상태

오결선 항목	상변 계량상태(양, 음)			단방향방식 계량 양(%)	양방향방식 계량 양(%)	비고
	A	B	C			
2S→3S	+	-	-	33	0	전압, 전류 3상
P1→P2	-	-	+	33	0	
P1→P2, 2S→3S	-	-	-	0	0	
1S→1L	-	+	+	66	33	평형일 경우
P1→P0	-	+	+	100	66	
1L→2L	+	+	+	100	좌동	

[참 고 문 헌]

[1] 전력연구원 배전연구소 기술지원(2007-I-200-1), "발전고객 수전용 전력량계 과다계량 원인분석", 2007. 6  
 [2] 전력연구원 배전연구소 기술지원(2007-I-050-1), "CT부 전력량계 오결선 분석결과 분석", 2007. 3  
 [3] 전력연구원 배전연구소 기술지원(2008-I-257-1), "저역률 민원에 따른 전력량 분석결과 분석", 2008. 6  
 [4] 한국전력공사 배전운영처, "전기계기업무절차서", 2008. 4  
 [5] 대한전기학회, "최신배전시스템공학", 2006. 9  
 [6] 한국전력공사 "기록형전자식전력량계 구매시방서", 2002. 2