

2차 저압 배전방식에 관한 연구

○ 송 일근, 박 구범, 김 영래, 각 희로, 권 동진, 정 용기
* * * * *
**
한국전력공사 기술연구원, 송실대학교 의제전기기술사고시원

A Study on the low voltage secondary distribution method

○ IL-KEUN SONG, GU-PERM PARK, YOUNG-LAE KIM, * * * * *
* * * * *
**
KEPCO RESEARCH CENTER, SOONGSIL UNIV., UI-JAE E P/E ACADEMY

ABSTRACT

In Korea, the low voltage secondary distribution method comprises lots of the maintainable and conservative problems. So, this paper deals with the plans to solve and decide the unification of the low voltage secondary. That is ; for the unification plan of the low voltage secondary must be previously solved the breaking of neutral line in 3 ϕ 4w, 1 ϕ 3w and enacted the flicker criteria in distribution power system. To decide the low voltage secondary should take into consideration by economics, security and future. The flicker fluctuation in the low voltage secondary 7.4% in responsibility limited place and under 10% in Arc welding. To prevent the neutral line in 3 ϕ 4w, 1 ϕ 3w must be throughly constructed, joined the two sleeves.

1. 서 론

우리나라의 1차 배전방식은 현재 일부는 아직도 6.6KV로 운용되고 있으나, 앞으로는 22.9KV-y 3상 4선식 공통 중성선 다중 접지방식으로 단일화 될 전망이다.

그러나 2차 배전전압(92년말 기준 승압율:81.9%)은 단상 110V, 220V, 110/220V, 3상 220/380V 등 다양한 전압으로 사용되고 있는 관계로 저압배전설비의 유지·보수에 여러 문제점이 발생되고 있고, 전력손실 감소와 무효효율 향상을 위해서도 2차 배전방식을 단순화하여야 할 시점이다. 또 다양한 2차 배전전압을 공급하기 위한 주상변압기 결선도 여러가지로 운용되고 있어 많은 문제점들이 도출되고 있어서 2001년 2차배전전압의 승압 완료 시점에 대비하여 우리나라의 저압배전방식이 나아갈 방향 설정이 요구되고, 안정성, 경제성 및 장래성을 감안한 최적 2차 배전방식을 도출할 필요성이 요구되고 있다.

또한, 정밀 가전기기의 확대보급으로 인한 고품질 전기공급 요구수준과 공급신뢰도 요구수준은 날이 높아가고 있으나 3상 4선식, 단상 3선식으로 야기되는 제반 문제점들이 근본적으로 강구되어야 한다.

따라서 3상 4선식 저압중성선의 부하불평형 및 단선사고방지, 등·동 공용변압기의 후리카 방지대책을 검토하여, 저압배전설비 운용에 따른 제반 문제를 중심으로 향후 우리나라 실정에 적합한 2차 저압배전방식을 제시하고, 아울러 앞으로 해결해야 할 과제에 대해 기술하고자 한다.

2. 국내의 저압배전방식의 현황

전기사용자의 전기방식과 현행 사용전압을 변경하는 문제는 안정성, 경제성 및 장래성 등의 문제를 충분히 연구해 가면서 합리적인 절차와 방법으로 추진해야 하며, 각 나라의 전기방식은 단상 3선식과 3상 4선식 등이 대부분이며, 양전압 방식을 선택한 나라는 97% 이상이다.

2.1 우리나라의 배전방식

3상 수용의 저압배전은 3상 변대의 결선기준으로 3상 4선식 220/380V 가 72%, 3상 4선식 110/220V가 22%, 3상 3선식 220V가 6%를 점유하고 있으며, 3상 4선식 220/380V 변대에서는 단상 220V 수용과 3상 380V 수용을 동시 공급하고 있다. 한편 변압기 현황으로 볼때 460/230V 단상변압기 점유율은 58.6%, 230/115V 단상변압기는 37.9%, 210/105V 단상변압기는 3.2% 3상 변압기는 0.3%를 구성하고 있으며, 지중 3상 변압기는 230/115V, 400/230V pad 변압기로 되어 있다.

표 1. 한국의 배전방식

구분	표준 전압(V)	배전방식별 전압			
		단상2선식	단상3선식	3상3선식	3상4선식
저압	110	110	110	-	110/220
	220	220	220	-	-
	380	220	-	220	220/380
	* 440	-	* 440	-	-

주) * 는 부득이한 경우 이외에는 사용하지 않는 전압임

2.2 일본의 배전방식

일본에서는 일반 수용가의 전기사용 요구에 대한 다양화와 고도화의 진행으로 대용량 기기의 사용이 증가하고 있으며, 일반 주택의 옥내배선에서도 단상 3선식의 보급이 급격히 진전되고 있다. 현재 단상 2선식 100V 수용이 60%이며, 단상 3선식 100/200V 양전압 공급이 40%로 구성되어 있다. 그러나 일본에서는 1955년부터 저압 배전선의 표준방식으로 단상 3선식을 채택하였으며, 현재는 100%에 가까운 시설율을 나타내고 있고, 일본의 배전계통 전압과 배전방식은 표 2와 같다.

표 2. 일본의 배전방식

계통	부하 또는 수용기	전압 및 배전방식
저압선	전 동(동력)	100V(200V) 단상 2선식 100V/200V 단상 3선식
	동·동 공용	100V/200V 3상 4선식 V 115V/200V 3상 4선식 Y (240V/415V 3상 4선식 Y)

주) 1. 400V 배전의 표준전압을 ()내로 표시
2. 400V 배전이 필요한 경우에는 본사와 협의하여 계획함

표 3. 세계 주요도시의 저압 배전방식

나라 및 도시	공칭 전압 (V)	주파수	배전선수
한국 서울	110/220, 220/380	AC 60	2, 3, 4
북한 평양	220/380	AC 60	2, 3
미국 워싱턴	120/240, 120/208	AC 60	2, 3, 4
프랑스 파리	127/220, 220/380	AC 50	2, 4
중국 베이징	220/380	AC 50	2, 4
영국 런던	240/415	AC 50	2, 3, 4

3. 배전계통의 후리카 방지대책

전압변동에 영향을 가장 크게 주는 요소는 임피던스 변동이 심한 제강용 아크로가 있으며, 이밖에 도 X선장치, 전동기, 용접기, 유도모 및 저항로 등이 있다. 배전계통에서의 후리카 허용치는 그림 1의 불유폐 한계곡선이 많이 사용된다.

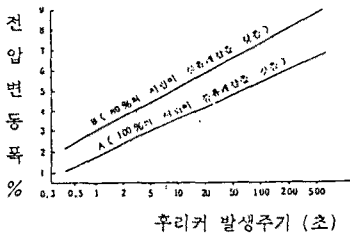
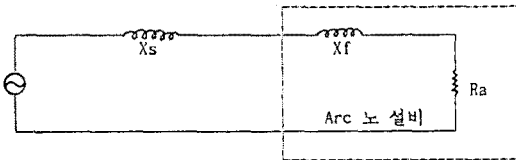


그림 1. 후리카 불유폐 한계곡선

사람의 눈에 제일 민감한 주파수는 10Hz의 정현파 상전압 변동의 진폭으로 나타났으며, 후리카의 표시방법으로는 10Hz의 변동전압으로 표시한다.

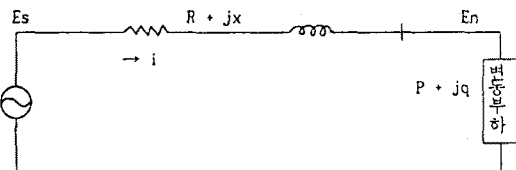
3.1 후리카의 개념

아크로 설비의 리액턴스 X_f 가 50%라고 가정할 경우 그림 2의 부하곡선에서 보는 바와 같이 전류는 0 으로부터 정격전류의 2 배 까지 변화함을 알 수 있다.



P : 유효전력, Q : 무효전력 $\sqrt{P^2 + Q^2}$: 피상전력
그림 2. 아크로의 결선도

또, 부하에 의한 전전전압강하는 그림3의 등가회로에서 고려하면



P + jx: 전압변동을 문제로 하는 전원측 계통 임피던스(*)
P + jq: 부하의 크기

그림 3. 아크로의 등가회로

전압강하 $\Delta V = rp + xq$ (%) 로 된다.

전압강하 ΔV 는 아아크 저항의 변화로 일정하게 나타나지 않을뿐만 아니라 변동주기 또한 불규칙하여 매초 1회 이상 (수 HZ - 7HZ) 변동주파수로서 전원계통에 후리카를 발생한다.

즉, 부하전류가 불규칙하게 변화함에 따라 전원의 전압강하는 불규칙하게 나타난다. 따라서 이 전원계통에 접속된 수용가의 조명기구 밝기가 변화하여 불쾌감을 줄때 이를 후리카라고 정의한다.

10Hz 정현파상의 후리카의 등가식은 다음과 같다.

$$\therefore \text{후리카 } \Delta V_{10} = \sqrt{\Sigma (af \cdot \Delta Vf)^2}$$

여기서 af : 어떤 주파수의 시각도 계수
 ΔVf : 주파수의 전압변동 크기

3.2 교류용접기 및 인입선의 결정

용접기 공급변압기와 인입선 용량은 용접기 등가 연속용량 po 및 전압강하 ΔV 를 산정하여 아래조건을 만족토록 선정하여야 하며, 결정조건은 다음과 같다.

구 분	선 정 용 량	전압강하 배분
주상변압기	$P_i \geq P_s \times 1/K$	$\Delta V_i = 10 V$ 이내
인입선 (저압간선 포함)	전선굵기=허용전류 $\times I_s$	$\Delta V_L = 7 V$ 이내
배전선	-	$\Delta V_s = 3 V$ 이내
전압강하 합계		$\Delta V = \Delta V_i + \Delta V_L + \Delta V_s$

(주) P_i : 공급변압기 용량 (KVA)

P_s : 용접기 등가 연속용량 (KVA)

K : 공급변압기 과부하 한도(130%)

I_s : 용접기 등가 연속전류 (A)

ΔV_i : 220V측 환산의 변압기 전압강하 (V)

ΔV_L : 용접기에서 인입선 취부점 (수용가측)까지의 전압강하 (V)

ΔV_s : 220V측 환산의 배전선 전압강하 (V)

즉, 전동 수용가에 후리카의 영향을 주지 않기 위해서는 특수 기기장치의 사용빈도를 고려하여 특수기기 소유수용가의 인입선 취부점 (재산책임 분계점)에 있는 전압변동율을 7.4%(위의 조건을 만족하면 7.4% 이하가 유지됨)로 하여야 한다.

3.3 후리카 경감대책

후리카의 경감대책은 원칙적으로 수용가측에서 실시하는 것이 원칙이나, 방지대책이 없는 경우와 불충분한 경우는 전력회사에서 고려하여야 하며, 이 경우 전력회사에서 실시할 후리카 경감대책은 후리카의 영향범위를 감안하여 다음 방법에 의한다. 또한 대책후는 필히 실측하여 사용상 오차가 초과되지 않는 것인가를 확인하여야 하며, 요소별 후리카 경감대책은 아래와 같다.

○ 배전용 변전소 모선의 전압후리카 대책 : 배전용 변전소의 모선전압이 동요로 인한 전압후리카는 그 영향범위가 크고, 영향을 받는 수용가 호수도 많아지기 때문에 신중한 취급이 필요하며, 구체적인 대책으로서는 송변전 부분과 협조를 같이하여서 행하도록 한다.

○ 고·저압 배전선의 전압후리카 대책 : 전송선 또는 준전용선에 의한 공급, 부하절체, 케이플화 및 전선교체 등에 의해서 대책을 구체적으로 검토하여 적절한 방법을 적용한다.

4. 단상 3선식 저압배전선의 부하불평형

단상 3선식은 한선을 중성선으로 하여 접지하고, 이것과 양측 전압선간에 부하를 접속하는 방식이며, 단상 2선식과 같은 대지 전위를 유지하면서도 실제로는 전압을 2배로 격상한 효과를 얻을 수 있으므로 전압강하와 전력손실의 경감 및 배전거리의 중대 등 많은 장점이 있다. 그러나 이방식에서는 부하 불평형시 중성선이 단선될 경우 사고점 이후의 전압 불평형으로 수용가에

대한 가전기기의 손손과 공급신뢰도 저하로 전력회사의 손실이 예상되며, 사고원인을 검토한후 과전압 유입사고의 감소를 위한 적절한 대책을 제시하여야 한다.

4.1 부하불평형에 의한 과전압 유입사고 분석

단상 3선식 선로에서 부하불평형에 의한 과전압 유입사고의 감소대책을 위하여 필요한 기초자료를 '91. 1. 1 ~ '91. 12. 31 (12개월) 동안에 발생된 과전압 유입사고의 현황을 분석하면 그림 4과 같다.

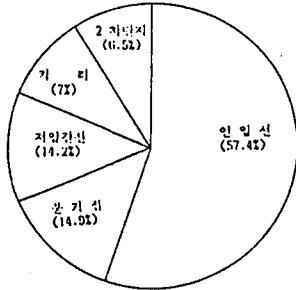


그림 4. 사고발생 개소별 현황

현 데이터를 기준으로 볼때 1φ3W 110/220V 를 1φ3W 220/440V 로 승압시에는 인입선 사고(57.4%)로 인한 과전압 유입사고는 확실히 감소가 예상되고, 분기점 사고[14.5%]도 절반이상 감소가 예상되는바 최소한 약 65% 정도는 사고가 줄어들 것으로 예상된다.

4.2 부하 불평형 방지대책

단상 3선식 저압 배전방식에서 부하불평형 사고를 방지할 수 있는 대책으로는 "중성선 단선시의 부하불평형 대책"과 "중성선 방지대책을 위한 설비강화"로 크게 대별된다. 중성선 단선시의 부하불평형을 억제하기 위한 대책으로는 저압간선 말단 근처에 차단사 설치, 말단주의 중성선 접지, 과전압 유입시 회로차단, 부하의 평형 등을 제시할 수 있으나 차단사 설치, 말단주의 중성선 접지, 과전압 유입시의 회로차단 등은 현실적으로 적용하기가 어렵고, 부하의 평형유지는 단상 3선식 불평형율이 40%로 되어 있으므로, 신·중설 부하설비시 적절한 부하안배가 요망된다. 또한 부하 불평형은 직접적으로 전압불평형에 관계되므로 부하의 평형유지는 매우 중요하다.

따라서 주상변압기의 이용률 향상과 부하불평형에 의한 변압기 손손 및 중성선 단선에 의한 수용가 가전기기 파급 사고방지를 위하여 현재의 변태관리를 상별 부하관리로 전환하면 부하관리의 정확도 향상으로 인한 사고방지에 기여할 수가 있다. 현재의 동·동 공용변압기는 3φ4W 220/380V-Y가 27.2% (동일용량 21.8%, 상이용량 5.4% ; 2.037 벵크수) 3φ4W 110/220V-V가 21.4%(1,603 벵크수)로 총 48.6%를 점유하고 있으며,

$$\text{현재 변압기 이용률(\%)} = \frac{1/3 (P_1 + P_2) \times D}{\text{변압기 용량}} \times 100$$

P_1 : 단상부하 용량(KVA) , P_2 : 삼상부하 용량(KVA)

D : 전류 감소율

로 산출할 수 있다. 그러나 신규 전동부하 공급시 일률적으로 부하를 1/3 씩 배분하고 있는 관계로 각 변압기의 이용률이 다를수 밖에 없고 이로 인한 사고발생의 원인이 되고 있다.

따라서 3φ4W (220/380V) Y 결선 동일용량 변압기의 이용률 산출방법을 아래와 같이 변경하여 적용한다. (단상 동력변압기도 동일하게 적용함)

표4. 변압기별 단상부하 공급현황

변압기	단 상 전 등			
	수용가번호 계기	계약 종별	사용량 [KVA]	부 하 배분비
A			a f g .	
	부 하 계		a+f+g ...	$\frac{a+f+g}{a^+...+i}$
B			b e h .	
	부 하 계		b+e+h ...	$\frac{b+e+h}{a^+...+i}$
C			c d i .	
	부 하 계		c+d+i ...	$\frac{c+d+i}{a^+...+i}$
	합 계		a+...+i	1

(주) 변압기별 단상부하 배분기준 및 작성

(1) 부하의 크기

- 단상전등: a>b>c>d>e>f>g>h>i>

- 단상전력: ㄱ>ㄴ>ㄷ>ㄹ>ㅁ>ㅂ>ㅅ>ㅇ>ㅈ,

(2) 부하배분 순서에 유의할 것

(동력배분 순서는 전등과 반대순으로 배분)

(3) 각 변압기별 이용률 계산

$$\text{A 변압기 이용률(\%)} = \frac{P1 \cdot A + P2 \cdot A + 1/3 \cdot P3 \cdot D}{\text{변압기 용량 [KVA]}} \times 100$$

$$\text{B 변압기 이용률(\%)} = \frac{(P1 \cdot B + P2 \cdot B + 1/3 \cdot P3) \times D}{\text{변압기 용량 [KVA]}} \times 100$$

$$\text{C 변압기 이용률(\%)} = \frac{(P1 \cdot C + P2 \cdot C + 1/3 \cdot P3) \times D}{\text{변압기 용량 [KVA]}} \times 100$$

5. 결 론

본고에서 언급한 바와 같이 각 나라의 전기방식은 단상 3선식과 3상 4선식이 대부분임을 알 수 있으며, 우리나라의 부하특성은 동력수용의 급증에 따른 부하의 고밀도화로 인한 3상 4선식 220/380V-Y 공급이 증가 추세에 있다. 또 수요밀도가 높은 단상 2선식 공급지역도 부하가 증가됨에 따라 공급능력의 한계성도달이 예상되고 단상 3선식 110/220V 지역 역시 공급능력의 한계성도달이 예상되는 바, 단상 3선식 220/440V (440V는 Floating) 승압의 필요성이 요구되고 있다. 따라서 동·동 공용변압기에서 발생하는 우리나 문제와 부하 불평형에 의한 중성선 단선사고 문제를 심도있게 검토하여야 하며, 향후 우리나라의 2차 배전전압은 주로 3상3선식 220/380V (고밀도 지역), 단상3선식 220/440V로 공급하여야 한다.

참고 문헌

1. 송일근, 홍순학, 장정태, "향후 우리나라의 2차 배전전압" 대한전기학회지, 1993. 1
2. WORLD VOLTAGE, 일본 해외규격 동인사, 1986
3. Distribution Construction Standards Overhead, Dp & L, 1986
4. Distribution Engineering Manual, Cp & L
5. Distribution System, GE, pp 19-45, pp 345-364
6. Power Distribution System, GE, 1982
7. 배전기술 종합 매뉴얼, 오음사, 1991.11