

새로운 수용가내의 배전시스템에 대한 연구

(A Study on the New Distribution System of the Customer Inside)

박형준* · 권시현* · 이승환* · 정천수*

(Hyung-joon Park · Si-hyun Kwon · Seung-Whan Lee · Chan-Soo Chung)

Abstract

This paper is about the new Distribution System of the electric customers. The Power loss in the Distribution System is disregarded and rarely managed so far. But, economically, this loss is not small quantity to ignore. So, in this paper, we suggest that the new Distribution System of the electric customer by simply changing the locations of Power Transformer and other power facilities which is located inside of the customer. And we also show that the Power loss is decreased with this systematic changing by approximated calculation.

1. 서 론

최근 들어 원유가의 폭등으로 특히 전력 계통분야에서 전력의 품질뿐 아니라 경제적인 전력 전송이 더욱더 중요한 화두로 대두 되고 있다. 그러나, 배전계통에서의 선로전력손실에 대한 관리는 매우 미흡한 실정이다. 현재로는 배전선로의 전력손실을 최소화하기 위한 조정 장치의 사용이 미진하고, 또한 일부 경우를 제외하고는 일반적으로 전력을 공급 받는 수용가 역시 별도의 선로 전력손실을 줄이기 위한 대책이 거의 없는 실정이다. 따라서, 전력회사 뿐 아니라 대전력 수용가에서의 선로 전력손실을 최소화 하기 위한 대책이 요구되고 있으며, 이를 위해서 본고에서는 수용가내의 시스템의 간단한 변경을 통해서 전력손실을 저감시키는 개선안을 제시한다.

2. 본 론

2.1. 기존 수용가내의 배전시스템

수용가내의 배전선로(저압선)는 일반적으로 3상 4선 식이고 부하의 말단에 단일부하가 집중된 것으로 고려할 수 있다. 이 경우에도 1상분의 회로로 고려한다면 단상과 동일하게 계산할 수 있어서 배전선로는 다음 그림 1과 같이 등가적으로 표현할 수 있다.

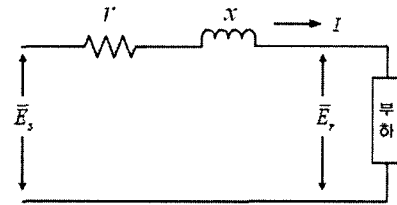


그림 1. 배전선로의 등가회로
Fig. 1. Equivalent Circuit of Distribution System

$\overline{E_s}$: 송전단 전압
단. $\overline{E_r}$: 수신단 전압

따라서, 이를 벡터도로 그리면 다음 그림 2 와 같다.

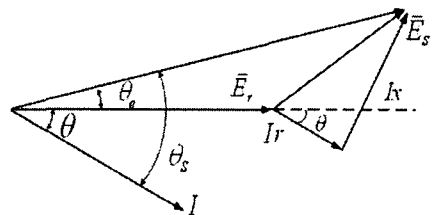


그림 2 수용가내의 배전선로의 벡터도
Fig. 2. Vector Diagram of Distribution System

$$\begin{aligned} \overline{E_r} &= \overline{E_s} - IZ \\ &= (E_s - I r \cos\theta - I x \sin\theta) - j(I x \cos\theta - I r \sin\theta) \end{aligned}$$

배전선로에서 대체로 I_r, I_x 는 매우 작은 값이므로 이 경우 송전단의 전압은 다음과 같이 근사화 될 수 있다.

$$|E_r| \approx E_s - I(r \cos \theta + x \sin \theta) \quad (1)$$

전압강하율 ϵ 는 다음과 같이 정의 된다.

$$\epsilon = \frac{|E_s| - |E_r|}{|E_s|} \times 100[\%] \quad (2)$$

부하가 P[kVA]이고, 역률을 알때 위 (1)식을 사용하여

$$P_r = \operatorname{Re}[\overline{E_r I}^*] = E_r I \cos \theta = E_s I \cos \theta - (r \cos \theta + x \sin \theta) I^2 \cos \theta \quad (3)$$

에서 부하전류 I 를 구한다. 부하임피던스가 $Z = R + jX$ 라고 하면

$$P = I^2 R \quad (4)$$

$$X = R \tan \theta \quad (5)$$

에서 R 과 X를 구할 수 있다.

그림 1에서와 같이 선로 임피던스 Z_l 는 $r + jx$ 이므로

$$\overline{E_r} = (R + jX) \overline{I} \quad (7)$$

$$\overline{E_s} = \overline{E_r} + (r + jx) \overline{I} \quad (8)$$

가 되고 이를 식 (2)에 대입하여 전압강하율을 구할 수 있다.

2.2. 수용가내의 전력손실

주거용 대단위 수용가 또는 학교 등의 중용량 이상의 배전수용가의 경우, 22.9kV의 전원을 공급 받아서 380V로 감압하여 수용가내의 여러 건물 또는 부하등으로 전력을 공급하는데, 그 수용가내의 선로의 길이가 경우에 따라 수백m 이상에 이르는 경우도 있다. 따라서, 비교적 긴 수용가내의 배전선로에서의 이런 선로전력손실을 무시할 수 없으며 이에 대해서 간략히 살펴보기로 한다.

그림 3은 수용가내의 배전시스템의 개념도를 나타낸다. 즉, 수용가는 전력회사의 22.9[kV]를 인가받아 변전시스템(변압기, 차단기, 단로기등)을 통해서 개별부하로 전력을 공급한다.

위 경우의 송전, 수전전력 및 전력손실은 다음으로 표현 할 수 있다.

$$P_s = E_s I \cos \theta_s$$

$$P_r = E_r I \cos \theta_r$$

$$P_{loss} = P_s - P_r = I^2 R \quad (9)$$

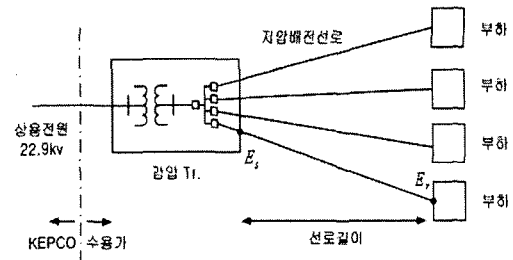


그림 3. 수용가내의 배전시스템의 개념도
Fig. 3. Internal Block Diagram of Distribution System for the Customer

여기서 첨자 s는 감압 Tr. 2차측을 의미하고, 첨자 r은 부하측을 의미한다. 위와 같은 배전시스템에서 부하가 S[kVA]이고, 부하의 역률이 $\cos \theta_r$ 라고 할 때 각 부하의 선로전류와 전압강하율과 전력손실은 식(1)~(7)에 서처럼 구할 수 있다.

2.3. 수용가내의 개선된 배전시스템

위의 수용가 시스템을 변경하여 상용전원의 인입단에는 별도의 변전장치없이 최소화된 전력수용용 장치 및 공간만을 확보한 후, 수용가내의 부하들 가까이에서 변전시스템을 배치시킨다. 이때의 대략적인 수용가의 배전시스템은 다음의 그림 4로 설명 할 수 있다. 즉, 상용공급전원이 간략화된 인입단에서 개별부하들 가까이로 분산공급되고, 감압 Tr.을 통해 전압변환후에 근방의 부하로 저전압의 전력이 공급되는 구조이다. 이때의 감압 Tr.은 부하로부터 매우 가까운 거리에 위치하므로 감압 Tr.로부터 부하까지의 전력손실은 무시할 수 있다.

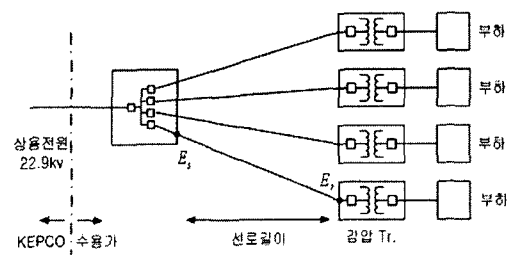


그림 4. 수용가내의 개선된 배전시스템의 개념도
Fig. 4. Internal Block Diagram of Improved Distribution System for the Customer

따라서, 위와 같은 배전 시스템의 경우, 수용가 내의 각부하 근처까지 22.9kV의 상용전원이 유입되므로 선로손실은 2.1절과 2.2절에서 살펴본바와 같이 E_s, E_r 사이에서 대부분 발생한다고 볼 수 있다.

2.4. 특성 비교 및 결과

2.3절에서와 같은 수용가내의 배전시스템은 선로전력손실을 저감할 수 있는 큰 장점이 있다. 또한, 기타 여러 장단점이 있는데, 이를 구분해보면 다음과 같다. 장점으로는 동일부하시의 선로전력손실의 감소, 개별부하의 사고시 사고의 파급을 효과적으로 저감 시킬 수 있다는 점이다. 이에 반해 단점으로는 변압기 및 변전시스템을 개별부하마다 설치해야한다는 것과 고압선로가 수용가의 인입단에서부터 수용가내의 개별 부하 근처까지 지나가야 하므로 이 구간에 걸쳐서 절연레벨을 상승시켜 주어야한다는 것이다.

우선 위 두 가지 배전시스템에 대한 전압강하와 선로전력손실 대해서 비교정리하면 다음의 표 1, 2와 같다. 즉, 수용가 부하의 역률별, 부하용량별로 구분하여 각각의 경우에 대해서 선로의 전압강하와 선로전력손실을 계산하였다.

표 1은 기존 수용가내의 배전시스템에서의 전압강하율과 전력 손실을 설명한 표이다. 이 경우, 선로의 손실은 감압Tr. 2차측의 저압선로에서 발생하게 된다. 325[sq]의 전선을 사용할 때 선로의 임피던스는 $Z_a = 0.064 + j0.0912[\Omega/km]$ 이므로 선로의 길이가 200[m]인 경우로 가정하면 선로임피던스는 $Z_{II} = 0.0128 + j0.01824[\Omega]$ 이다.

표 2는 2.3절의 새로운 수용가내의 배전시스템으로 바꾼 경우의 전압강하율과 전력 손실을 설명한 표이다. 이때는 전력손실이 고압선로(22.9kV)에서 발생하게 되는데, 22[sq]의 전선을 사용할때 선로의 임피던스는 $Z_{I2} = 0.8170 + j0.1076[\Omega/km]$ 이므로 마찬가지로 수용가내의 선로의 길이를 200[m]로 간주하면, 실제 선로의 임피던스는 $Z_{Ih} = 0.16304 + j0.02152[\Omega]$ 가 되고 이 임피던스에 근거하여 선로의 전압강하와 전력손실을 계산하였다. (* 표에서 부하용량이 크거나, 계산상의 오차로 인하여 전압강하가 송전전압이상인 경우는 제외하였다.)

결과로 새로운 수용가내의 배전시스템에 의해서 수용가내의 배전선로에서의 전력손실이 크게 감소함을 알 수 있다. 또, 이 표들에서 각 용량별, 역률별 전력손실과 전압강하율의 그래프를 그리면 아래의 표 3, 4, 5, 6과 같다. 이미 고려한바와 같이 동일부하용량에서 새로운

수용가내의 배전시스템에서의 선로전력손실이 크게 감소함을 알 수 있다.

표 1. 그림 3의 수용가 배전 시스템에 의한 부하역률별, 부하용량별 전압강하율 및 전력손실
Table 1. The Power losses of Distribution System for the Customer Inside

역률	부하(kVA)	50	80	100	150	200
0.7	전압강하율(%)	12.59	21.98	29.24	52.31	86.42
	전력손실(W)	462.37	1199.92	1892.29	4359.79	7943.78
0.75	전압강하율(%)	11.64	20.18	26.71	46.97	75.73
	전력손실(W)	402.05	1042.19	1642.26	3775.93	6864.74
0.8	전압강하율(%)	10.83	18.65	24.57	42.61	67.36
	전력손실(W)	352.76	913.43	1438.29	3300.57	5988.11
0.85	전압강하율(%)	10.12	17.34	22.75	38.98	60.62
	전력손실(W)	311.95	806.91	1269.64	2908.05	5265.42
0.9	전압강하율(%)	9.49	16.19	21.17	35.90	55.06
	전력손실(W)	277.77	717.70	1128.43	2579.60	4661.21
0.95	전압강하율(%)	8.94	15.18	19.79	33.24	50.37
	전력손실(W)	248.80	642.04	1008.62	2300.68	4147.67
1	전압강하율(%)	8.43	14.26	18.52	30.80	46.07
	전력손실(W)	223.59	575.50	902.50	2049.33	3677.29

표 2. 그림 4의 개선된 수용가 배전 시스템에 의한 부하 역률별, 부하 용량별 전압강하율 및 선로전력손실

Table 2. The Power losses of Improved Distribution System for the Customer Inside

역률	부하(kVA)	50	80	100	150	200
0.7	전압강하율(%)	0.046	0.073	0.091	0.137	0.183
	전력손실(W)	1.59	4.07	6.36	14.31	25.44
0.75	전압강하율(%)	0.043	0.068	0.085	0.128	0.171
	전력손실(W)	1.38	3.54	5.54	12.46	22.16
0.8	전압강하율(%)	0.040	0.064	0.080	0.120	0.160
	전력손실(W)	1.22	3.12	4.87	10.96	19.48
0.85	전압강하율(%)	0.038	0.060	0.075	0.113	0.151
	전력손실(W)	1.08	2.76	4.31	9.70	17.25
0.9	전압강하율(%)	0.036	0.057	0.071	0.107	0.142
	전력손실(W)	0.96	2.46	3.85	8.66	15.39
0.95	전압강하율(%)	0.034	0.054	0.067	0.101	0.135
	전력손실(W)	0.86	2.21	3.45	7.77	13.81
1	전압강하율(%)	0.032	0.051	0.064	0.096	0.128
	전력손실(W)	0.78	1.99	3.12	7.01	12.45

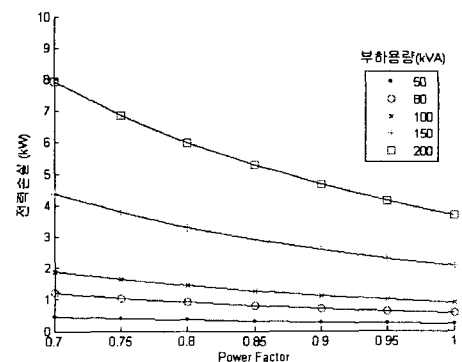


그림 5. 수용가내 배전 시스템의 선로전력손실
Fig. 5. The Diagram of Power losses of the Distribution System for the Customer Inside

3. 결론

본 논문에서는 개별적인 배전 수용가내의 선로전력손실을 저감시키기 위해 고압배선 방안을 제안하였다. 수용가내의 비교적 긴 배전선로의 경우, 전력손실을 무시할 수 없으므로, 상용 수전전압을 수용가내의 부하 근방까지 바로 연결하여 배치함으로써 수용가내의 배전선로의 전력손실을 저감하는 방안을 제안하였고, 부하용량과 역률에 따른 선로의 전압강하와 전력손실에 대해서 비교하였다. 개선된 수용가내의 배전시스템에 의해 전체 선로전력손실은 부하가 200[kVA]이고 역률이 0.85인 경우 5,265[W]에서 17[W]로 크게 감소하였고, 전압강하율은 같은 경우에 60.6[%]에서 15.1[%]로 크게 개선되었음을 보였다.

참고 문헌

- (1) 송길영 “최신 송배전 공학”, 동일출판사
- (2) 김진오 외 “배전계통 운영비용의 최소화에 의한 분산전원의 최적용량과 위치결정”, 전기학회 하계학술대회논문집, vol.A, p.360, 2003.

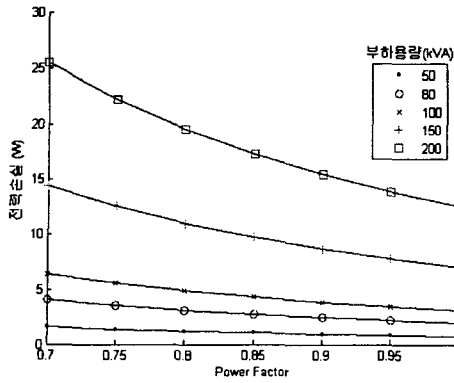


그림 6. 개선된 수용가내 배전시스템의 선로전력손실
Fig. 6. The Diagram of Power losses of the Improved Distribution System for the Customer Inside

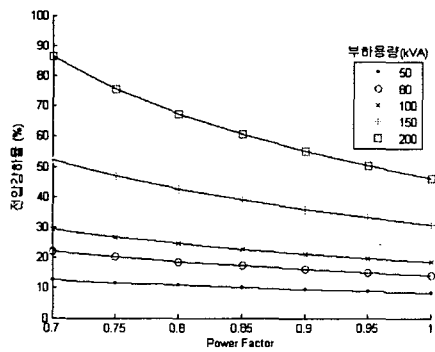


그림 7. 수용가내 배전 시스템의 전압강하율
Fig. 7. The Diagram of the Voltage drop rate of the Distribution System for the Customer Inside

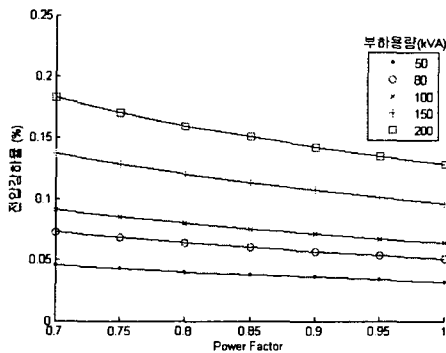


그림 8. 개선된 수용가내 배전 시스템의 전압강하율
Fig. 8. The Diagram of the Voltage drop rate of the Improved Distribution System for the Customer Inside