

# 수용가내부 고압배전시스템의 전력손실감소효과

(A Proposed High Voltage Distribution System of the Customer Inside for Reducing Power Loss)

박형준\* · 윤만수 · 정찬수

(Hyung-Joon Park · Man-Soo Yun · Chan-Soo Chung)

## 요 약

에너지절감은 요즘과 같은 고유가의 시대의 전기 설비 분야의 주요 쟁점중 하나이다. 따라서 전력분야의 여러 기관에서 에너지절감과 관련된 방안과 연구가 진행되고 있는데, 본 논문에서는 전기공학의 기본적인 이론을 바탕으로 하여 중용량 이상의 전력 수용가 내부에서 배전시스템을 변경함으로써 전기에너지의 손실을 절감하는 방안을 제시하였다. 이는 고압의 수전전압을 저압으로 변환하여서 상당한 거리에 떨어져 있는 부하에 전력을 공급하는 일반적인 수용가 내부 배전시스템 대신에, 수전전압을 수용가내의 개별 수전단까지 직접 수전하고 여기서 저압으로 변환하는 것을 의미한다. 이와같은 시스템적인 변경을 통해서, 수용가내의 저압선로가 비교적 긴 아파트단지등에서 상당한 전력에너지의 절감효과를 기대할 수 있으리라 사료된다. 본 논문에서는 기존의 수용가내의 배전시스템과 제안한 배전시스템에서의 전압강하율과 선로전력손실을 비교하여 제안한 배전시스템의 효과를 계산하였다.

## Abstract

This paper is about the new distribution system of the electric customer inside. The power loss in the distribution system of the customer 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 inside 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.

Key Words : Distribution system, Power loss, Voltage drop rate, Customer inside

## 1. 서 론

최근 들어 원유가의 폭등으로 특히 전력 계통분야에서 전력의 품질뿐 아니라 경제적인 전력 전송이

욱더 중요한 화두로 대두 되고 있다. 그러나 배전계통에서의 선로전력손실에 대한 관리는 매우 미흡한 실정이다. 현재로는 배전선로의 전력손실을 최소화하기 위한 조정장치의 사용이 미진하고, 또한 일부 경우를 제외하고는 일반적으로 전력을 공급 받는 수용가 역시 별도의 선로전력손실을 줄이기 위한 대책이 거의 없는 실정이다. 따라서 전력회사 뿐 아니라 대전력 수용가에서의 선로전력손실을 최소화하기

\* 주저자 : 숭실대학교 전기공학과 박사과정  
Tel : 02-817-0004, Fax : 02-817-7961  
E-mail : hpark@ssu.ac.kr  
접수일자 : 2005년 3월 21일  
1차심사 : 2005년 3월 23일, 2차심사 : 2005년 5월 3일  
심사완료 : 2005년 5월 12일

수용가내부 고압배전시스템의 전력손실감소요구

위한 대책이 요구되고 있으며, 이를 위해서 본고에서는 수용가내의 시스템의 간단한 변경을 통해서 전력손실을 저감시키는 개선안을 제시한다.

2. 배전시스템의 등가회로

수용가내의 배전선로(저압선)는 거리가 길지 않고, 일반적으로 3상 4선식이며 부하의 말단에 단일부하가 집중된 회로이다. 이의 해석은 간편함을 위해서 회로를 3상 평형회로로 간주하고, 3상중에서 1상분의 회로만 고려하여 단상과 동일하게 계산한 후 이 단상회로를 3상회로로 확대하여 이해 할 수 있다. 따라서 수용가내의 배전선로는 일반 배전선로와 같이 다음 그림 1과 같이 등가적으로 표현할 수 있다[1].

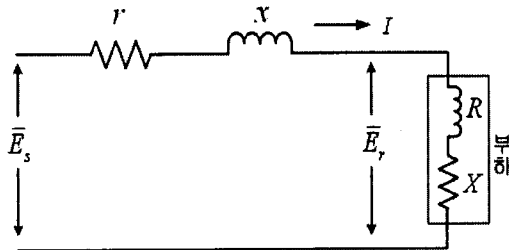


그림 1. 배전선로의 등가회로  
Fig. 1. The equivalent circuit of distribution system

단,  $\overline{E}_s$  : 송전단 전압  
 $\overline{E}_r$  : 수신단 전압

배전선로를 이해하기 위해서 위 그림 1의 배전시스템의 벡터도로 그려서 설명하면, 아래 그림 2와 같다[1][2].

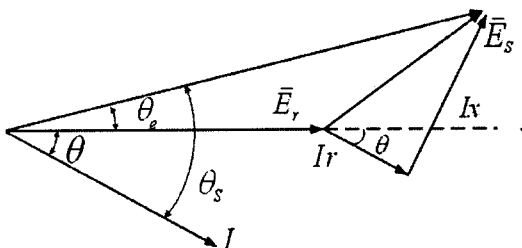


그림 2. 수용가내의 배전선로의 벡터도  
Fig. 2. The vector diagram of distribution system

$$\begin{aligned} \overline{E}_r &= \overline{E}_s - \overline{I}Z \\ &= (\overline{E}_s - I r \cos\theta - I x \sin\theta) \\ &\quad - j(I x \cos\theta - I r \sin\theta) \end{aligned} \quad (1)$$

배전선로에서 대체로  $I r, I x$ 는 매우 작은 값이므로 이 경우 송전단의 전압은 다음과 같이 근사화 될 수 있다.

$$|E_r| \approx E_s - I(r \cos\theta + x \sin\theta) \quad (2)$$

부하가 P[kVA]이고, 역률을 알 때 위 (1)식을 사용하여

$$\begin{aligned} P_r &= \text{Re}[\overline{E}_r \overline{I}^*] \\ &= E_r I \cos\theta \\ &= E_s I \cos\theta - (r \cos\theta + x \sin\theta) I^2 \cos\theta \end{aligned} \quad (3)$$

에서 부하전류 I를 구한다. 부하임피던스가  $Z = R + jX$  이므로

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

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

에서 R과 X를 구할 수 있다.

그림 1에서와 같이 선로 임피던스  $Z_{line}$ 은  $r + jx$ 이므로

$$\overline{E}_r = (R + jX) \overline{I} \quad (6)$$

$$\overline{E}_s = \overline{E}_r + (r + jx) \overline{I} \quad (7)$$

가 되고 이를 식 (2)에 대입하여 전압강하율을 구할 수 있다.

좀 더 이해하기 쉬운 계산을 위해서 위 그림 1에서 선로의 임피던스  $Z_{line} = r + jx$ 를 무시하고, 부하용량(P[KVA])과 역률(cos θ)이 일정하다고 가정하고, 부하임피던스를  $Z = R + jX$  라고 하면

$$\begin{aligned} P &= VI^* = V \frac{V^*}{Z^*} = \frac{|V|^2}{Z^*} \\ Z &= \frac{|V|^2}{P^*} = R + jX \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} R &= Z \cos \theta \\ X &= Z \sin \theta \end{aligned} \quad (9)$$

으로부터 부하의 임피던스를 구할 수 있다[3].

이 경우는 이미 언급한 바와 같이 선로의 임피던스가 고려되지 않았으므로, 선로의 임피던스를  $Z_{line} = r + jx$  으로서 고려하면, 이때의 선로 전류는 다음과 같이 계산된다.

$$I = \frac{|E_s|}{(R+r) + j(X+x)} \quad (10)$$

따라서 선로의 전류가 계산되었으므로 선로의 임피던스  $Z_{line} = r + jx$  에서의 전압강하를 계산할 수 있고, 따라서 선로에서의 전압강하율은

$$\epsilon = \frac{|E_s| - |E_r|}{|E_r|} \times 100[\%] \quad (11)$$

으로 계산하고, 선로의 손실도 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P_{loss} = I^2 r \quad (12)$$

### 3. 수용가내의 선로손실

일반적인 주거용 대단위 수용가 또는 학교 등의 중용량 이상의 배전수용가의 경우, 22.9[kV]의 전원을 공급 받아서 380[V]로 감압하여 수용가내의 여러 건물 또는 부하등으로 전력을 공급하는데, 그 수용가내의 선로의 길이가 경우에 따라 수백[m] 이상에 이르는 경우도 있다. 따라서 비교적 긴 수용가내의 배전선로에서의 이런 선로전력손실을 무시할 수 없으며 이에 대해서 간략히 살펴보기로 한다.

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

이때의 송전, 수전전력 및 전력손실은 이미 살펴본 바와 같이 마찬가지로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_s &= E_s I \cos \theta_s \\ P_r &= E_r I \cos \theta_r \\ P_{loss} &= P_s - P_r = I^2 r \end{aligned}$$

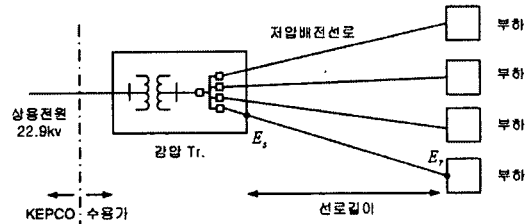


그림 3. 수용가내의 배전시스템의 개념도  
Fig. 3. Internal block diagram of distribution system for the customer inside

여기서 첨자 s는 감압 Tr. 2차측을 의미하고, 첨자 r은 부하측을 의미한다. 위와 같은 배전시스템에서 부하용량을 알고, 부하의 역률을 알 때 각부하의 선로전류, 전압강하율과 전력손실은 2.1절에서와 같이 구할 수 있다.

### 4. 수용가내 배전시스템의 개선방안

이제 전 절에서 살펴 본 그림 3의 수용가 시스템을 변경하여 상용전원의 인입단에는 별도의 변전장치 없이 최소화된 전력수급용 장치 및 공간만을 확보한 후, 수용가내의 부하들 가까이 배전시스템을 배치시킨다. 이때의 대략적인 수용가의 배전시스템은 다음의 그림 4로 설명할 수 있다.

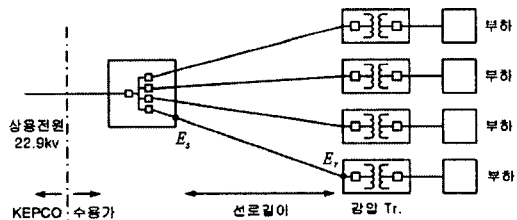


그림 4. 수용가내의 제안된 배전시스템의 개념도  
Fig. 4. Internal block diagram of proposed distribution system for the customer inside

즉 상용공급전원이 간략화된 인입단에서 개별부하들 가까스로 분산공급되고, 감압 Tr.을 통해 전압

## 수용가내부 고압배전시스템의 전력손실감소효과

변환후에 근방의 부하로 저전압의 전력이 공급되는 구조이다. 이때의 감압 Tr.은 부하로부터 매우 가까운 거리에 위치하므로 감압 Tr.로부터 부하까지의 전력손실은 무시할 수 있다.

따라서 위와 같은 배전 시스템의 경우, 수용가내의 각부하 근처까지 22.9[kV]의 상용전원이 유입되므로 선로손실은 2.1절과 2.2절에서 살펴본바와 같이 E, E' 사이에서 대부분 발생한다고 볼 수 있다.

### 5. 특성 비교 및 결과

2.3절에서와 같은 수용가내의 배전시스템은 선로 전력손실을 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 설치해야 한다는 것과 고압선로가 수용가의 인입단에서부터 수용가내의 개별 부하 근처까지 지나가야 하므로 이 구간에 걸쳐서 절연레벨을 상승시켜 주어야 한다는 것이다.

위에서 살펴 본 바를 실 계산하기 위해서 기존의 수용가내의 배전시스템의 경우와 제안된 배전시스템의 경우로 나누고, 선로의 전압 강하율과 선로손실을 계산해보았다. 중규모의 APT건설현장을 예로 하여서, APT단지내의 중앙변전소로부터 22개의 수전단까지의 거리를 측정하고(변전소로부터의 거리는 각각 97, 108, 117, 142, 143, 181, 184, 200, 218, 254, 266, 268, 272, 274, 285, 289, 310, 340, 344, 356, 359, 359[m]) 기존의 배전시스템, 제안된 배전시스템의 경우로 나누어서 이 선로에서의 손실을 계산하였다. 다음의 표 1은 이때 계산에 사용된 배전선의 굵기에 따른 저압용(380[V]) 배전선의 임피던스와 고압용(22.9[kV]) 전선의 임피던스를 나타낸 것이다[4].

위 두 가지 배전시스템에 대한 전압강하와 선로전력손실 대해서 비교정리하면 다음의 표 2, 3과 같다. 즉 수용가의 용량을 일정하다고 할 때, 수용가의 거리별, 전선굵기별로 구분하여 각각의 경우에 대해서 선로의 전압강하와 선로전력손실을 계산하였다.

표 1. 배전선규격에 따른 배전선의 임피던스(4)  
Table 1. Impedance of the cable by means of Industrial standard

		선로 임피던스 [ $\Omega/km$ ]	
전선규격 [ $mm^2$ ]		R	X
저압용 (380[V])	100	0.8178	0.0968
	150	0.1279	0.0968
	200	0.0989	0.0938
	250	0.0810	0.0915
고압용 (22.9[kV])	60	0.3890	0.1580
	100	0.2340	0.1459
	150	0.1570	0.1368
	200	0.1180	0.1312

표 2는 기존 수용가내의 배전시스템에서의 선로의 전압강하율과 전력 손실을 설명한 표이다. 이 경우, 선로의 손실은 수용가내의 감압 Tr. 2차측의 저압선로에서 발생하게 된다. 중앙변전소로부터 수용가의 수전단까지의 거리는 위에서 언급한바와 같이 97[m]에서 359[m]까지이고 이 중 일부를 표로 정리하였다.

표 2. 수용가내의 일반 배전시스템과 제안된 배전시스템의 거리별, 전선규격별 전압강하율 비교(단위 : %)  
Table 2. The power losses of distribution system for the customer inside

전선규격 ([mm])	저압	100	150	200	250
		고압	60	100	150
97		1.419	1.078	0.916	0.821
		0.0008	0.0005	0.0004	0.0003
143		2.092	1.589	1.350	1.211
		0.0011	0.0008	0.0006	0.0005
200		2.927	2.222	1.889	1.694
		0.0016	0.0011	0.0008	0.0006
254		3.717	2.882	2.399	2.151
		0.0020	0.0013	0.0010	0.0008
274		4.010	3.044	2.588	2.321
		0.0022	0.0014	0.0011	0.0009
310		4.536	3.444	2.928	2.626
		0.0024	0.0016	0.0012	0.0010
359		5.254	3.989	3.391	3.042
		0.0028	0.0019	0.0014	0.0012

표 3은 2.3절에서 설명한 제안된 수용가내의 배전 시스템으로 바꾼 경우의 전압강하율과 선로 전력손실을 설명한 표이다. 이 경우에는 수용가의 수전전압인 22.9[kV]의 전압이 수용가내의 개별부하의 수전반까지 직접 도달함으로 인해서 수용가내의 배전 선로에서의 전압강하가 매우 작고, 전력 손실역시 현저히 줄어들게 된다.

표 3. 수용가내의 일반 배전시스템과 제안된 배전시스템의 거리별, 전선규격별 선로전력손실 비교(단위 : (W))

Table 3. The power losses of distribution system and proposed distribution system for the customer inside

거리(m)	전선규격 ([mm <sup>2</sup> ])	저압	100	150	200	250
		고압	60	100	150	200
97			1127	841	653	536
			0.720	0.433	0.290	0.218
143			1785	1228	954	784
			1.061	0.638	0.428	0.322
200			2456	1696	1321	1086
			1.484	0.892	0.599	0.450
254			3072	2129	1661	1368
			1.884	1.133	0.760	0.572
274			3295	2286	1785	1471
			2.032	1.223	0.820	0.617
310			3690	2567	2007	1655
			2.299	1.383	0.928	0.698
359			4216	2942	2303	1901
			2.663	1.602	1.075	0.808

결과로 새로운 수용가내의 배전시스템에 의해서 수용가내의 배전선로에서의 전력손실이 크게 감소함을 알 수 있다. 또 이 표들로부터 배전선로의 길이 별, 전선규격별 전력손실과 전압강하율의 그래프를 그리면 아래의 그림 5, 6, 7, 8과 같다. 이미 고려한바와 같이 동일부하용량에서 제안된 수용가내의 배전 시스템으로 선로전력손실이 크게 감소함을 알 수 있다.

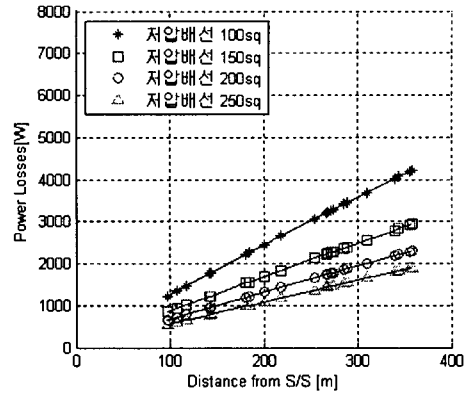


그림 5. 수용가내 일반 배전시스템의 선로전력손실  
Fig. 5. The diagram of power losses of the distribution system for the customer inside

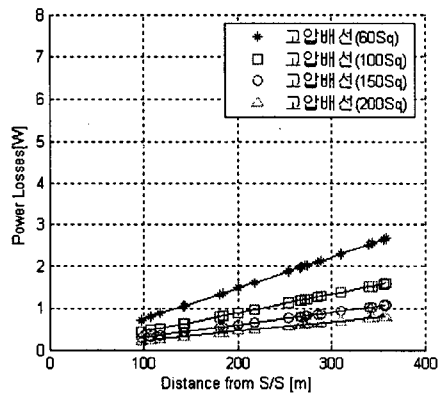


그림 6. 제안된 수용가내 배전시스템의 선로전력손실  
Fig. 6. The diagram of power losses of the proposed distribution system for the customer inside

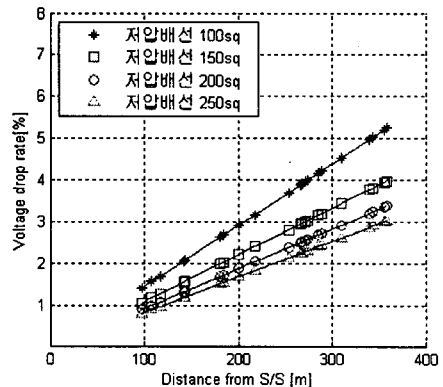


그림 7. 수용가내 일반 배전시스템의 전압강하율  
Fig. 7. The diagram of the voltage drop rate of the distribution system for the customer inside

## 수용가내부 고압배전시스템의 전력손실감소효과

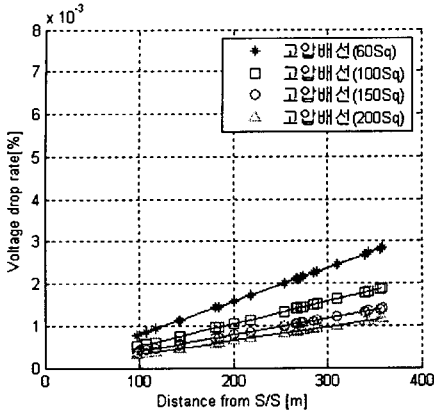


그림 8. 제안된 수용가내 배전시스템의 전압강하율  
Fig. 8. The diagram of the voltage drop rate of the proposed distribution system for the customer inside

## 6. 결 론

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. 즉 중앙변전소로부터 다양한 거리에 있는 용량 100[kVA], 역률이 0.85인 부하를 상정하고, 일반적인 수용가내의 저압배전전인 경우와 제안한 배전선로인 경우로 나누어서 전력손실과 전압강하를 계산 하였는데, 200[m]거리에 있는 부하를 예로들면, 전체 선로전력손실은 2,456[W]에서 1.48[W]로 크게 감소하였고, 전압강하율은 같은 경우에 2.9[%]에서 0.01[%]이하로 크게 개선되었음을 보였다. 또한 앞으로 제안한 고압배전의 방식의 효과를 입증하기 위해서 실제 수용가내에서의 실측자료를 사용한 비교, 검토가 필요하며, 또한 선로손실과 전압강하율 이외에 전력선가격과 포설비용등의 경제성 검토가 필요하며, 이는 향후 수행 예정으로 있다.

## References

- [1] 송길영 “최신 송배전 공학”, 동일출판사.
- [2] 박형준, 정찬수 외 “새로운 수용가내의 배전시스템에 대한 연구”, 한국 조영·전기설비학회 학계 학술대회논문집 p.229. 2004.
- [3] H.Saadat, “Power System Analysis”, 2nd ed. McGraw-Hill, 2002.
- [4] 전기설비 기술계산 핸드북, 도서출판 기다리.

## ◇ 저자소개 ◇

### 박형준 (朴亨俊)

1969년 9월 26일생. 1992년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994~2000년 (주)효성 중공업연구소 책임연구원보. 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.  
E-mail : hpark@ssu.ac.kr

### 윤만수 (尹萬銖)

1954년 1월 7일생. 1981년 동아대학교 전기공학과 졸업. 1997년 서울산업대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 숭실대학교 대학원 전기공학과 박사과정(수료). 현재 정수기능대학 전기과 교수.

### 정찬수 (鄭讚壽)

1949년 8월 10일생. 1972년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1980년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 숭실대학교 전기공학과 교수.  
E-mail : chung@ee.ssu.ac.kr