배전계통에 있어서 최적 손실산정 기법에 관한 연구

論 文
53A-6-5

A Study on the Optimal Method of Loss Calculation in Distribution System

金 美 映* · 盧 大 錫** · 黃 譓 美*** · 金 光 鎬§ · 申 成 秀§§ · 金 在 彦§§§
(Mi-Young Kim · Dae-Seok Rho · Hye-Mi Hwang · Kwang-Ho Kim · Seong-Soo Shin · Jae-Eon Kim)

Abstract - Recently, the needs and concerns for the power loss are increasing according to the energy conservation at the level of the national policies and power utilities's business strategies. Especially, the issue of the power loss is the main factor for the determining the electric pricing rates in the circumstances of the deregulation of electrical industry. However, because of the lacking of management for power loss load factors (LLF), it is difficult to make a calculation for the power loss and to make a decision for the electric rates. And loss factor(k-factor), which is a most important factor for calculation of the distribution power loss, has been used as a fixed value of 0.32 since the fiscal year 1973.

Therefore, This study presents the statistical calculation methods of the loss factors classified by load types and seasons by using the practical data of 65 primary feeders which are selected by proper procedures. Based on the above the algorithms and methods, the optimal method of the distribution loss management classified by facilities such as primary feeders, distribution transformers and secondary feeders is presented. The simulation results show the effectiveness and usefulness of the proposed methods.

Key Words : Power Loss. Power Loss Load Factor, Load Factor, Loss Factor

1. 서 론

최근 전력시장 자유화라는 흐름 속에서 전력손실 문제는 전기요금의 산정에 있어서 합리적인 근거를 제시한다는 점에서 중요한 관심 사항이 되고 있다. 즉 5분(또는 일정 시간) 주기로 전력가격이 책정됨에 있어 해당 기기의 설치 위치에 따른 손실 보정은 대단히 중요한 역할을 하게 되는데 손실보정시의 손실계수 및 보상공식은 전력생산자, 소비자, 계량에 관련된 전력거래소 및 계량사업자 등의 합의를 통해 결정되므로 정확하고 신뢰성 높은 근거 데이터를 제시하지 않으면 상호간의 동의를 끌어내기가 쉽지 않을 것으로 예상된다.

배전계통의 손실은 배전용변전소에서 고압배전선과 주상변압기, 저압배전선로 및 인입선을 거쳐 수용가까지 공급되는 동안에 설비 자체의 고유한 전기적 특성(전류의 제곱과 저항에 비례함)에 의하여 필연적으로 소모되는 전력을 의미한다. 이 손실량의 전체적인 값은 배분단 전력량에서 판매 전력량을 감산하면 손쉽게 구할 수 있으나 각 설비에서 발생하는 손실량을 정확하게 파악하는 일은 간단한 일이 아니다. 왜냐하면, 각 설비의 손실량은 부하특성과 부하 특성계수, 선로정수 등을 고려한 손실계수를 정확하게 산정하는 것이 필수불가결하기 때문이다. 그러나 현재 사용하고 있는 값들은 60년대 설비와 부하특성을 기준으로 산정한 것이며, 특히 배전선로의 역률이나 1, 2차전압의 승압, 신기자재의 도입에 따른 설비운용 상황변화를 고려하여 재산정하는 것이 요구되고 있다.

또한, 한전에서는 NDIS 시스템을 이용하여 고압배전선로와 배전용변압기, 저압배전선로, 인입선, 계량기등의 구간별 손실관리를 수행하고 있지만, 오프라인의 배전계통 정보를 이용하여 미소적이고 국부적인 손실계산만 가능한 실정이다.

이와 같은 배경하에서 본 연구에서는 배전손실을 설비별로 산정하는 알고리즘과 통계적인 방법에 의하여 배전손실계수를 산정하는 알고리즘을 제시하여 배전손실 관리의 정확도를 재고하는 방안을 마련하고자 한다. 구체적으로 말하면, 2장에서는 배전손실에 대한 개념을 정의하고 배전손실 산정시의 문제점에 대하여 분석하였으며, 3장에서는 배전손실 산정에서 가장 중요한 자료 추출 방법과 대상자료의 유효성 검증하는 방법을 제시하였다. 그리고 4장에서는 통계적인 방법에 의한 부하특성계수를 산정하는 알고리즘을 제시하였으며, 배전손실 요소들간의 상호관계를 규명하였고 5장에서는 배전설비별(고압배전선로, 배전용변압기, 저압배전선로) 손실계산 알고리즘을 개발 하였으며 파라메터 분석법에 의하여 배전손실에 영향을 미치는 요인을 평가하였다. 끝으로 6장에서는 우리나라의 2002년 실계통을 대상으로 설비별 손실량을 산정하여, 본 연구에서 제안한 알고리즘의 유효성을 확인하였다.

* 正 會 員 : 韓國技術大 硏究員 · 碩士過程
** 正 會 員 : 韓國技術大 工大 電氣工學科 助敎授 · 工博
*** 正 會 員 : 江原大 工大 硏究員 · 碩士
§ 正 會 員 : 江原大 工大 電氣電子工學部 副敎授 · 工博
§§ 正 會 員 : 忠北大 工大 硏究員 · 碩士過程
§§§ 正 會 員 : 忠北大 工大 電氣工學科 助敎授 · 工博
接受日字 : 2004年 3月 11日
最終完了 : 2004年 5月 3日

2. 배전손실의 개념

2.1 배전손실 정의

배전 손실은 배전 연결점에서부터 최종 수용가에게로 전력이 수송되는 과정에서 발생하는 전력 손실을 전력량 (kWh)으로 나타낸 것으로, 주어진 기간 동안 배전선로로 유입되는 전력량과 수용가에서 사용되는 전력량의 차이로 측정될 수 있다. 배전 손실은 수용가로 전달되어야 할 에너지의 일부가 유출되는 것으로 볼 수 있기 때문에 수용가가 필요로 하는 전력량이 제대로 공급이 되기 위해서 입력(또는 공급)되어야 하는 전력량은, 수용가에서 요구하는 전력량과 배전망에서 발생하는 손실량을 합한 것이 되어야 한다.

예를 들어 상위의 전압계급에서 전력을 공급받아서, 해당 전압계급의 수용가 부하에게만 전력을 판매하는 경우, 가령 220/380V 배전계통의 경우, 식 (1)과 같은 표현이 가능하다.

$$E_{input} = E_{sales} + E_{losses} \tag{1}$$

2.2 배전손실 계수

일정기간 발생하는 배전 손실을 구하는데 있어서, 모든 시간대의 배전 손실을 측정하거나 산출하는 것은 대단히 어려우며, 비효율적인 작업이다. 따라서 부하율(Load Factor)과 동일한 개념을 갖는 손실 부하율(Loss Load Factor)을 이용하여 배전손실을 구하는 것이 일반적이다. 손실 부하율은 정해진 기간의 최대부하시 손실과 평균적인 손실과의 비를 나타내는데, 손실 부하율은 부하율로부터 구할 수 있다. 즉 최대부하시점의 배전망 손실을 구하게 되면 손실 부하율을 통해 해당기간의 평균적인 손실을 알 수 있게 되고, 이에 시간을 곱해서 전체 손실량을 추정할 수 있게 된다.

(1) 부하율

전술한 것처럼 부하율은 배전망 내의 일정 기간동안 최대부하와 평균부하의 비율이고 계통의 부하율은 식 (2)와 같이 특정기간(1년)동안의 최대부하 $P_{\max}$와 평균부하 P_{ave}의 비로써 정의된다.

$$LF = \frac{P_{ave}}{P_{\max}} \tag{2}$$

(2) 손실 부하율

손실 부하율은 일정 기간 중 최대손실 $L_{\max}$에 대한 평균손실 L_{ave}의 비율로 나타내며 관계식은 식 (3)과 같다.

$$LLF = \frac{L_{ave}}{L_{\max}} \tag{3}$$

손실 부하율은 일반적으로 부하율을 이용하여 식 (4)로 계산될 수 있다.

$$LLF = k*(LF) + (1-k)(LF)^2 \tag{4}$$

여기서 상수 k는 부하특성계수라 불리우며, 실제 부하 데이타 계측 및 통계적인 분석을 통해 정하게 된다. 이 값은 부하의 종류나 분포 및 계절에 따라 다양한 특성을 나타내는 것으로 알려져 있다.

2.3 배전손실 계산

일반적으로 배전선로의 배전손실(Loss)은 식 (5)을 사용하여 계산할 수 있다.

$$\text{Loss} = \text{LLF} \times I_m^2 \times R \times T \tag{5}$$

여기서, Loss : 배전선로 손실량(wh)
I_m : 최대전류
R : 저항
T : 시간

상기의 식에서와 같이, 배전손실을 계산하기 위하여 가장 중요한 요소인 부하특성계수는 매년 계산하도록 권유하고 있으나, 우리나라에서는 1973년도에 제작된 "손방효과평가지침"으로부터 k=0.32로 고정하여 사용하고 있는 상황이다. 따라서 부하증가나, 부하의 다양화, 배전설비의 변화등 계통구성의 형태변동에 따라 부하특성별, 계절별 부하특성계수의 정확한 산정이 요구되고 있다.

3. 배전손실 산정을 위한 대상선로 선정

3.1 대상선로 선정 방법에 대한 유효성 검증

우리나라의 배전설비는 2003년 11월 기준으로 총 긍장이 약 $1.64\text{x}10^8$m 이상의 6,631개의 고압배전선로와 150만대 이상의 배전용 변압기, $1.88\text{x}10^8$m 이상의 총 긍장을 가진 저압배전선로, 인입선 등의 막대한 양의 배전설비로 구성되어 있으므로, 배전설비 개개의 손실량을 정확하게 산정하는 일은 간단한 작업이 아니다. 또한, 연간 총 배전 손실량을 계산하기 위해서는 각 배전설비의 시간대별 부하량과 이용률 등을 파악하여야 하므로, 일일이 모든 배전설비의 손실량을 계산한다는 것은 거의 불가능한 일이다.

따라서, 배전계통의 연간 손실량을 정확하게 계산하기 위해서는 표본적인 값에 대하여 손실량을 계산하고, 이것을 전체적인 값으로 환산하는 통계적인 산정 방법이 요구된다. 이 방법에서는 대표성을 가진 표본 값을 산정하는 일이 핵심적인 사항이므로 배전선로의 합리적인 선정이 무엇보다 중요하다. 본 연구에서는 통계학적으로 유효한 표본을 구하여 대상선로의 수를 선정하고, 또한 선정된 대상선로의 합리성을 주요한 파라메타 분석을 통하여 데이터의 유효성을 검증하였다.

(1) 통계학적 검증

대상선로의 표본 추출은 전국의 한전 지점/지사 중에서 대도시와 중소도시, 농어촌 지역을 포함할 수 있도록 각 지점

과 지사를 선정하여 그 결과의 대표성을 가질 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 전체집단의 특성을 나타내기 위한 최소 표본 고압배전선로의 수를 결정하기 위하여 식 (6)을 이용하였다.

$$N = P \times \frac{1}{4} \times (\frac{Z_a}{d})^2 \quad (6)$$

여기서, N : 표본의 크기
P : 전체집단의 수
Z_a : 표본산출을 위한 추정 오차
d : 신뢰범위에 대응한 상수 값

표본의 크기를 산출하기 위하여, 여기에서는 d를 신뢰 범위 95%에 해당하는 1.96으로 하고, 표본 산출을 위한 추정오차인 Z_a를 20%로 하였다. 이에 따라 최소 표본 고압배전선로의 수는 표 1과 같이 전체 선로를 대상으로 한 경우(P = 6,631개)와 4개의 부하특성별로 나눈 경우(P = 1657.8)의 두 가지 값을 산정하였다.

표 1과 같이, 본 연구에서는 통계학적으로 산정된 표본 대상선로수보다 상회하도록 충분한 대상 선로의 수를 결정하도록 하였다. 먼저, 부하특성계수를 산정하기 위한 대상선로 수는 표본 선로수의 약 3배수인 65개 선로를 선정하였으며, 국내의 전체 연간 손실량을 계산하기 위해서는 정확성을 기하기 위하여 부하특성별로 5개씩 총 26개의 선로를 최종적으로 선정하였다.

표 1 대상선로의 표본 선정
Table 1 Selection of Model Feeder Sample

	전체 집단수(개)	통계학적인 표본 선로수(개)	본 연구 추천 선로수(개)	사용 대상
전체 선로	6,631	17.24	65	부하 특성계수
부하 특성별	1,658	4.31(18)	5(26)	연간 손실량 계산

(2) 대상선로의 유효성 검증

본 연구에서는 합리적으로 대상선로를 선정하기 위하여 양적인 면(통계학적으로 표본 값)만이 아니라 질적인 면으로도 충분한 유효성을 확보하기 위하여 다음과 같은 선로 선정 조건을 추가하도록 하였다.

① 대상선로의 표본 추출은 전국의 한전 지사(지점) 중에서 대도시와 중소도시, 농어촌 지역을 포함할 수 있도록 15개 지사를 대상으로 선정하여 그 결과의 대표성을 가질 수 있도록 하였다.

② 국내 배전계통의 저압수용가의 계약종별은 총 10가지(주택용, 일반용, 산업용, 농사용(갑, 을, 병), 교육용, 가로등, 심야전력(갑, 을))이며, 판매전력량을 기준으로 보면 7가지 부하군(주택용, 일반용, 산업용, 농사용, 교육용, 가로등, 심야전력)으로 구분되고 있다. 이들 부하군에서 전체 판매전력량에서 93% 이상을 점유하는 대표적인 4가지 부하군(주택용, 일반용, 산업용, 농사용)을 대상으로 부하특성을 선정하여 합리적으로 부하특성이 배분되도록 하였다.

③ 배전선로의 손실량 계산은 매우 현실적이며, 현장 중심적인 해답을 구하는 것이므로, 현장의 운용 환경과 설비 특성을 가장 잘 파악하고 있는 현장 실무자들의 의견과 감각이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 각 지사의 배전손실 담당자들에게 적정한 대상 선로를 추천(총 180개 선로)받아 이것을 기초 자료로 활용하도록 하였다. 예를 들어, 각 부하특성별 대상선로를 선정함에 있어서 점유비율을 개략적으로 파악하도록 하여 이것을 IMS 데이터와 비교하여 적합한 선로를 최종적으로 결정하여 현장의 감각과 데이터베이스상의 정확도를 반영하도록 하였다.

3.2 대상선로 선정

상기의 대상선로 선정 방법에 근거하여 그림 1과 같이 4단계의 선정 기준에 의하여 대상선로를 합리적으로 결정하였다.

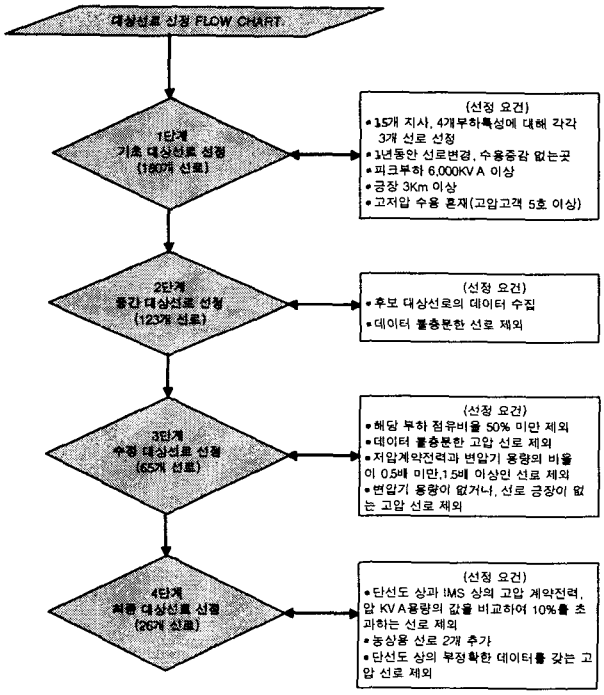


그림 1 대상선로 선정 flow chart
Fig. 1 Flow Chart for Model Feeder Selection

4. 부하특성계수 산정 알고리즘

앞에서 정의한 바와 같이 손실 부하율은 최대손실(L_{max})과 평균손실(L_{ave})의 비율이고 최대손실과 평균손실은 최대전류와 평균전류의 제곱에 관계되므로 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$LLF = \frac{L_{ave}}{L_{\max}} = \frac{\sum I_{ave}^2}{I_{\max}^2} \quad (7)$$

$$L_{ave} = I_{ave}^2 \times R \quad (8)$$

$$L_{\max} = I_{\max}^2 \times R \quad (9)$$

여기서 I_{ave}는 평균전류, $I_{\max}$는 최대전류를 의미한다. 식 (8)은 평균전류와 저항사이의 관계로 얻어진 결과이며, 최대전류에 의한 최대 손실은 식 (9)에 의해 구해진다. 최대손실에 대한 평균손실의 비로 정의되는 손실 부하율은 식 (7)과 같이 나타내어 질 수 있다.

위의 방법으로 손실 부하율이 계산되면 부하율과 손실 부하율, 부하특성계수 사이의 관계에 의해 식 (10)과 같이 부하특성계수 k값을 산정할 수 있게 된다.

$$k = \frac{LLF - LF^2}{LF - LF^2} \quad (10)$$

SOMAS 데이터로부터 부하율과 손실 부하율을 구하고 이를 이용하여 부하특성계수를 산정하는 알고리즘에 대한 순서도를 그림 2에 나타내었다.

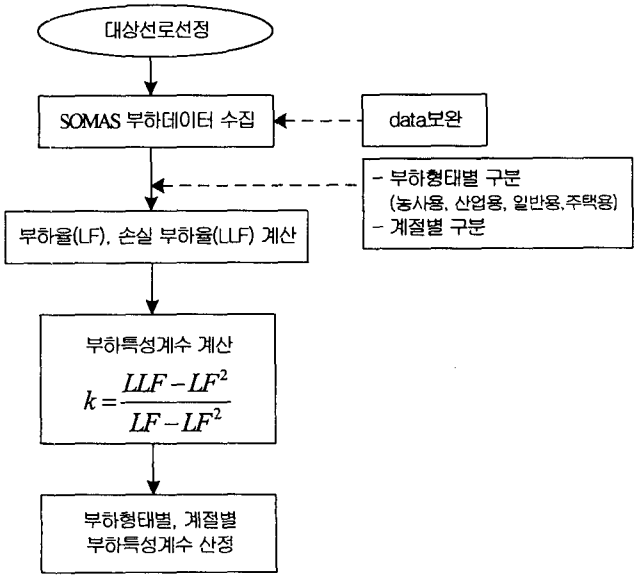


그림 2 부하특성계수 산정 flow chart

Fig. 2 Calculation Flow Chart of Load Characteristic Factor

부하특성계수의 특성을 이해하기 위하여 그림 3과 같이 부하율과 손실 부하율 및 부하특성계수의 상관관계를 3차원 그래프로 도시하였다. 이 그림에서 알 수 있듯이 일정 손실 부하율을 갖는 조건에서 부하율의 증가는 부하특성계수의 감소를 가져오며, 부하율의 변동에 따른 부하특성계수의 변동이 큰 부분과 작은 부분으로 나타나게 된다. 그리고 부하율을 일정하게 고정하고, 손실 부하율의 변동에 따른 부하특성계수의 변동정도를 살펴보면 그림의 기울기가 급한 경우에는 손실 부하율의 변동이 크고 큰 부하특성계수의 변동을 발생시키는 것을 알 수 있다. 반대로 작은 기울기를 갖는 손실 부하율의 변동은 부하특성계수를 미소하게 변동하도록 한다. 따라서 부하특성계수의 변동은 부하율의 변동과 동시에 손실 부하율의 변동에 의해 좌우됨을 이해될 수 있다.

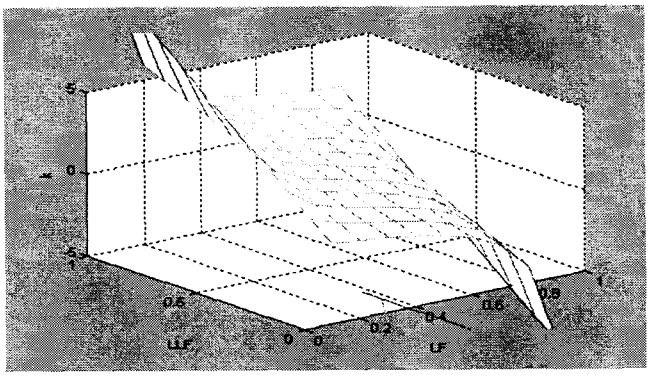


그림 3 부하율 및 손실 부하율, 부하특성계수의 관계

Fig. 3 Relation of Load Characteristic Factor for Load Factor, Loss Load Factor

5. 설비별 배전손실 산정 알고리즘

본 연구에서는 정확한 배전 손실량을 구하기 위하여, 배전설비를 고압 배전선로와 배전용변압기, 저압배전선로 등으로 나누어 설비별 배전 손실량을 계산하는 알고리즘을 제시하였다. 고압배전선로의 손실량을 계산하기 위하여, 대상선로의 회선별단선도와 SOMAS 데이터를 참고로 하여 설비구성도와 부하구성도를 작성하였으며, 우리나라 전체의 총 판매전력량을 부하특성별로 계산하여 4개의 부하특성(주택용, 일반용, 산업용, 농사용)에 대한 판매비율을 산정하여 손실의 구성비율을 구하고, 이에 근거하여 부하특성별 고압배전선로 손실량을 산정하였다. 또한, 배전용 변압기에서는 각 대상선로에 포함된 변압기의 용량별, 형태별 구성비율을 구하여 고압배전선로 손실계산과 동일한 알고리즘으로 4개의 부하특성에 대한 변압기 손실을 구하였다. 한편, 저압배전선로 손실량은 각 대상선로의 저압배전선로 총 긍장(연장)과 공급방식 비율을 구하여, 고압배전선로 손실계산과 동일한 알고리즘으로 4개의 부하특성에 대한 저압배전선로 손실을 구하였다.

5.1 고압배전선로의 피크시 손실계산

① 모델링된 회선별단선도 및 피크전력을 기준으로 고압배전선로의 4개의 부하특성에 대하여 평등부하분포로 고압배전선로 손실을 계산한다.

- 주택용 고압선 손실 = 주택용 고압선 손실 합계 / 9개
  = A-1(kw)
- 일반용 고압선 손실 = 일반용 고압선 손실 합계 / 5개
  = A-2(kw)
- 산업용 고압선 손실 = 산업용 고압선 손실 합계 / 7개
  = A-3(kw)

- 농사용 고압선 손실 = 농사용 고압선 손실 합계 / 5개
= A-4(kw)

② 4개의 부하특성에 대한 총 판매전력(IMS)의 비율을 구한다.
- 주택용 비율 = 주택용 년간 판매전력량 /
총 판매전력량 × 100% = B-1 (%)
- 일반용 비율 = 일반용 년간 판매전력량 /
총 판매전력량 × 100% = B-2 (%)
- 산업용 비율 = 산업용 년간 판매전력량 /
총 판매전력량 × 100% = B-3 (%)
- 농사용 비율 = 농사용 년간 판매전력량 /
총 판매전력량 × 100% = B-4 (%)

③ 우리나라 전체의 각 부하특성별 고압배전선로 손실을 계산한다.
- 주택용 고압선 손실 = A-1 × B-1 = C-1 (kw)
- 일반용 고압선 손실 = A-2 × B-2 = C-2 (kw)
- 산업용 고압선 손실 = A-3 × B-3 = C-3 (kw)
- 농사용 고압선 손실 = A-4 × B-4 = C-4 (kw)
- 기타 손실 = 심야용 + 교육용 + 등 = C-5 (kw)

④ 피크시의 고압배전선로의 총 손실을 계산한다.
- Lptotal = C-1 + C-2 + C-3 + C-4 + C-5

5.2 배전용 변압기의 피크시 손실계산

① 각 대상선로에 포함된 변압기의 용량별 구성비율과 형태별 구성비율(변압기 자료)을 구하고, 각각의 철손과 동손데이터를 계산한다.
- 용량별 구성비율 : 8가지 용량(10k, 20k, 30k, 50k, 75k, 100k이상, 지중200k 이하, 지중 200k이상)
- 형태별 구성비율 : 3가지 형태(일반형, 저손실형, 아몰포스형), 내염형은 일반형에 포함시킨다.
- 각 고압배전선로에 포함된 8가지의 용량별 변압기 수를 구하고, 이 값에 3가지 형태별 구성비율을 곱하여 선로별 변압기 손실(철손 + 동손)을 계산한다.

② 고압배전선로와 동일한 알고리즘으로 4개의 부하특성에 대하여 부하특성별 변압기의 손실을 계산한다.

③ 고압배전선로와 동일한 알고리즘으로 4개의 부하특성에 대한 부하특성별 총 판매전력(IMS)의 비율을 구한다.

④ 고압배전선로와 동일한 알고리즘으로 우리나라 전체의 각 부하특성별 변압기 손실을 계산한다.

⑤ 고압배전선로와 동일한 알고리즘으로 피크시의 주상 변압기의 총 손실을 계산한다.

5.3 저압배전선로의 피크시 손실계산

① IMS 자료로부터 각 대상선로의 총 저압연장(또는 긍장)을 구하고, 공급방식별 총 연장을 계산한다.
- 공급방식(3가지) : 1상 2선식, 1상 3선식, 3상 4선식 (3상 3선식 포함)
- 공급방식 비율 : 공급지역별 및 결선별 변압기 통계 자료를 이용하여 점유 비율을 계산한다.
- 저압배전선로의 총 긍장에서 점유비율에 따른 공급방식별 총 연장을 구한다.

② 저압배전선로의 손실을 계산하기 위한 조건을 가정한다.
- 저압선로의 선종은 전등용(1상)은 38㎟으로 하고 동력용(3상)은 60㎟ 으로 한다.
- 저압선로의 부하 분포는 말단집중부하분포와 평등부하분포로 한다.

③ 평균적인 저압배전선로의 전류를 계산한다.
- IMS 데이터로부터 각 대상선로의 8가지 용량별 주상 변압기의 대수를 구한다.
- 변압기의 이용율은 변압기 용량별(KVA) 이용율을 적용하여, 8가지 용량별로 피크 전력을 구한다.
- 각 대상선로의 용량별 주상변압기의 평균적인 전류를 구한다. 이때, 공급방식은 상기의 점유비율을 고려한다.

④ 고압배전선로와 동일한 알고리즘으로 4개의 부하특성에 대하여 부하특성별 저압배전선로의 손실을 계산한다.

⑤ 고압배전선로와 동일한 알고리즘으로 4개의 부하특성에 대한 부하특성별 총 판매전력(IMS)의 비율을 구한다.

⑥ 고압배전선로와 동일한 알고리즘으로 우리나라 전체의 각 부하특성별 저압배전선로의 손실을 계산한다.

⑦ 고압배전선로와 동일한 알고리즘으로 피크시의 저압배전선로의 총 손실을 계산한다.

5.4 연간 손실 전력량 계산

① 4개의 부하특성에 대하여 고압배전선로 단위로 피크시의 부하특성별 손실을 구한다.

② 전체 고압배전선로와 부하특성별 판매전력량을 고려하여 부하특성별 선로 개수를 구한다.

③ ①, ②항을 곱하여 부하특성별로 피크시의 총 손실을 구한다.

④ 손실부하율 계산식에 의하여 부하특성별로 손실부하율을 계산한다.

- $LLF = k \times (LF) + (1-k)(LF)^2$

(k는 부하특성계수, LF는 부하율)

⑤ 부하특성별로 손실부하율을 고려하여 부하특성별 총 손실량을 계산한다.

⑥ 상기의 부하특성별 총 손실량을 합산하고, 여기에 8,760시간을 곱하여 우리나라 전체의 연간 총 손실전력량을 구한다.

5.5 설비별 배전 손실 계산 플로우 차트

설비별 플로우 차트는 그림 4~그림 6과 같다.

(1) 고압배전선로 손실

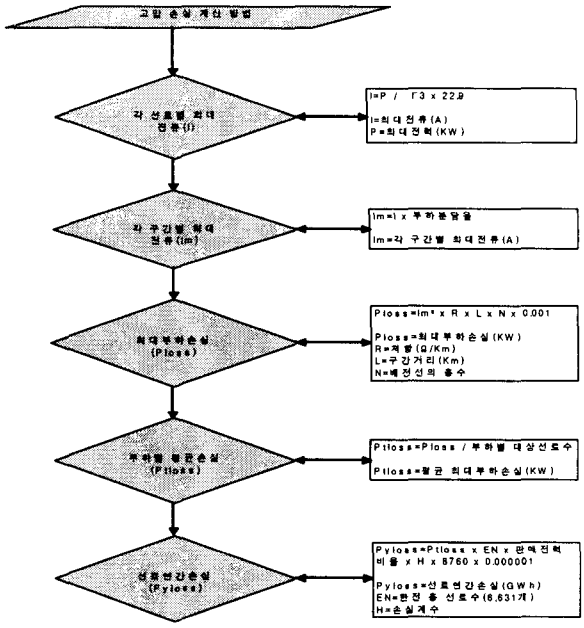


그림 4 고압배전선로 손실 계산 flow chart

Fig. 4 Flow Chart for Loss Calculation of High-Voltage Feeder

(2) 배전용변압기 손실

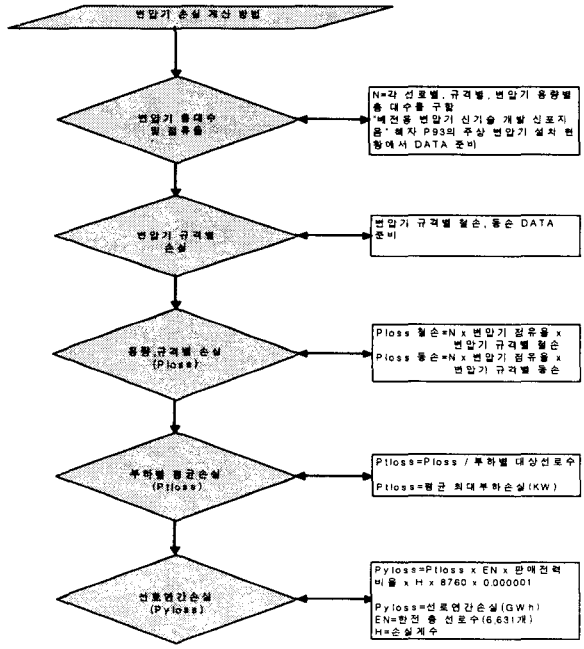


그림 5 변압기 손실 계산 flow chart

Fig. 5 Flow Chart for Loss Calculation of Transformer

(3) 저압 배전선 손실

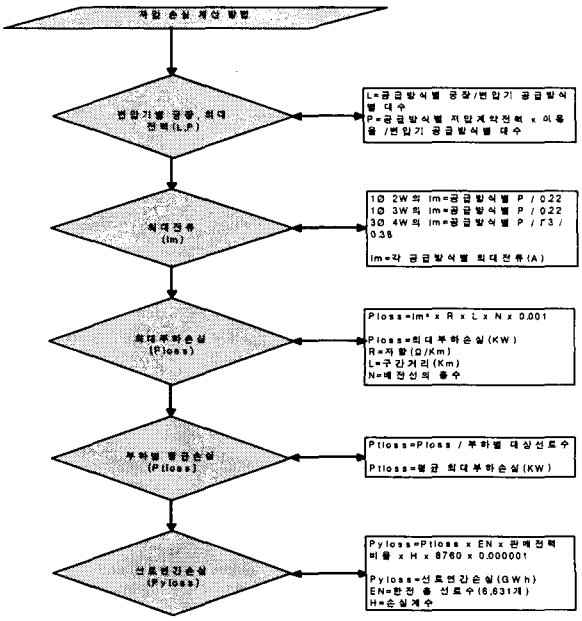


그림 6 저압배전선로 손실 계산 flow chart

Fig. 6 Flow Chart for Loss Calculation of Low-Voltage Feeder

5.6 파라메터 분석법에 의한 배전 손실 요인 평가

배전계통의 손실관리는 배전계통의 어떤 구성 요소가 손실을 얼마나 발생시키고, 어느 정도의 영향을 끼치며, 어떻게 개선시킬 수 있는가를 진단할 수 있는 중요한 운용의 척도라고 할 수 있다. 또한, 손실관리가 적정하게 이루어지면, 배전설비의 각 구성요소의 손실 특성을 정확하게 파악할 수 있으므로 어떤 설비에 대하여 손실 향상을 위하여 일정한 금액을 투자하면, 손실이 얼마나 개선되어 어느 정도의 효과를 유발시키는지를 정량적으로 파악할 수가 있다.

따라서 표 2와 같이 배전 손실에 영향을 끼치는 4개의 손실관리 파라메터를 변화시켜 연간 배전 손실량을 비교, 분석한다.

표 2 손실계산시 파라메터 값 비교

Table 2 Parameter Comparision in Loss Calculation

종 류	내 역		비고
부하분포	평등 부하분포	말단 집중부하분포	
변압기 이용률	KVA당 이용률 (8가지)	0.80	
저압선 선종	38, 60㎟	100㎟	
계통형태	삼상 일괄 (회선별단선도)	단상, 삼상	간선과 지선비율
긍장 보완	회선별단선도 기준	평균 긍장 보완	

6. 시뮬레이션 결과 및 분석

상기의 알고리즘으로 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레

이션 결과를 요약하면 다음과 같다.

6.1 대상선로 선정

(1) 선정 결과

정확한 손실량을 계산하기 위하여 합리적이고 유효한 데이터가 필수적이어서 전국의 15개 지사로부터 대상 선로를 추천받아 3장의 알고리즘에 근거하여 대상선로를 선정하였다.

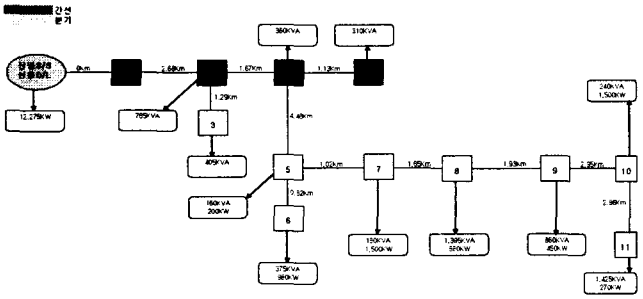
먼저, 부하특성계수를 산정하기 위하여 65개의 고압배전선로를 선정하였고, 우리나라의 년간 배전손실량을 구하기 위하여 26개(주택용 9개, 일반용 5개, 산업용 7개, 농사용 5개)의 고압배전선로를 선정하였다.

(2) 대상선로 모델링

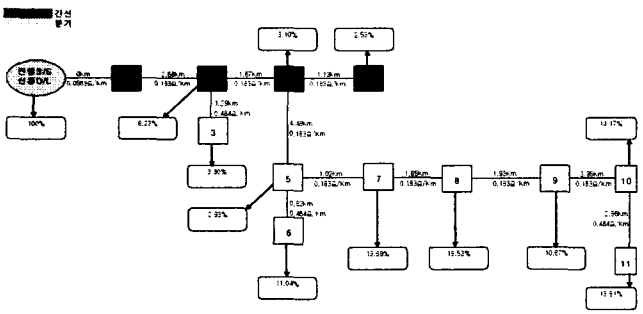
대상선로의 모델링 조건은 다음과 같다.

① 전선의 종류나 규격이 다른 경우 노드 분리한다.
② 변전소 인출구는 노드를 분리한다.
③ 단상 10개 노드는 무시한다.
④ 역률은 1을 적용한다.
⑤ 간선을 중심으로 노드를 먼저 분리한 후 분기선 노드를 분리 한다.

상기의 모델링 조건에 근거하여, 선정된 대상선로에 대하여 회선별 단선도를 모델링 하여 그림 7의 선로구성도와 부하구성도를 작성한다.



(a) 선로구성도



(b) 부하구성도

그림 7 부산지점, 진영S/S, 신용D/L 선로구성도, 부하구성도
Fig. 7 Feeder Configuration and Load Distribution for SINYONG D/L, JINYOUNG S/S, PUSAN Branch

6.2 부하특성계수 재 산정

본 절에서는 SOMAS의 전력 사용량을 이용하여 65개 대상선로에 대해 주택용, 일반용, 산업용, 농사용 등 다양한 부하특성으로 분류하여 부하특성계수 k을 계산하였다. 부하특성계수 산정기법으로는 전절에서 제시한 계산방식을 사용하였다.

(1) 부하특성을 고려한 부하특성계수 산정

표 3은 전절에서 계산된 여러 부하특성계수들 중에서 각각의 다양한 형태별 특성을 반영할 수 있는 가장 좋은 부하특성계수를 취하는 몇 가지 방법에 따른 결과를 나타낸 것이다. 일정한 부하 형태를 가지는 여러 선로들의 부하특성계수를 하나의 대표 값으로 결정하는데 있어 단순히 산술적인 평균만으로 계산하는 것은 큰 의미가 없는 것으로 판단되어, 다음의 방법과 같이 부하특성별 특성을 적절히 반영할 수 있는 대표 값 결정 기법 들을 고려하였다. 표 3에서 평균값은 전체 부하특성계수의 합을 대상선로로 나누어서 계산되며, 중앙값은 최대값부터 최소값까지 일렬로 나열했을 때의 중앙에 위치하는 값을 의미한다. 그리고 최빈값은 부하특성계수를 일정구간으로 나누고 이 구간 내에 가장 많은 빈도수를 나타내는 부하특성계수들의 평균을 의미한다. 마지막으로는 정규분포와 표준 편차를 이용한 정규분포 평균으로, 여기서는 형태별 부하특성계수의 평균에서 표준 편차 범위내의 계수 값들에 대한 평균을 취한다. 부하특성계수 산정 결과 산업용이 가장 큰 대표 값을 가지며 다음으로 농사용, 일반용, 주택용 순으로 나타났다.

표 3 부하특성별 부하특성계수의 대표 값
Table 3 Representative Value of Load Characteristic Factor for Load Type

	평균값	중앙값	최빈값	정규분포 평균
주택용	0.066901	0.060937	0.067832	0.0636
일반용	0.099477	0.096732	0.084516	0.0995
산업용	0.137438	0.143794	0.145911	0.1352
농사용	0.120021	0.127957	0.127645	0.1314

(2) 계절별 부하특성을 고려한 부하특성계수 산정

주택용, 일반용, 산업용, 농사용 4개의 부하특성에 대하여 봄, 여름, 가을, 겨울의 계절별 부하특성계수 k을 산정한 결과는 표 4와 같다. 부하특성계수 산정기법으로는 전절에서 제시한 계산방식을 사용하였다.

본 논문에서 부하특성별 부하특성계수들이 0.32보다 작게 나타나는 계산결과는 다음과 같이 크게 두 가지 원인으로 설명될 수 있는데, 전절에서 언급했듯이 부하특성계수 k는 부하율 LF와 손실 부하율 LLF에 의해 그 값이 결정되므로 1973년 이전의 전력 소비량과 지금의 전력 소비량은 많은 차이가 있을 것이고 부하의 패턴 역시 변했을 것임을 감안할 때, LF의 변동은 불가피하게 되고 여기에서 부하특성계수가 작아진 원인을 찾을 수 있다.

표 4 정규분포 평균을 이용한 부하특성계수
Table 4 Load Characteristic Factor by Regulative Distribution Average

구분	부하특성계수(k)				
	평균치	계절			
		봄	여름	가을	겨울
주택용	0.06298	0.073042	0.062319	0.073328	0.07549
일반용	0.0996	0.110204	0.149321	0.115746	0.101266
산업용	0.13191	0.135498	0.159476	0.162419	0.152606
농사용	0.12003	0.11869	0.04384	0.1047	0.14169

(3) 대표 부하특성계수

본 연구에서의 부하특성 계수 재산정은 부하특성별 및 계절별로 구분하여 수행되었으며 각각의 결과를 앞절에서 기술하였다. 앞절의 연구 계산 결과를 바탕으로 우리나라 전체 배전선로에 동일하게 적용할 수 있는 부하특성계수를 제시하였다. 여기서는 각각 산정된 주택용, 일반용, 산업용, 농사용 부하특성계수에 부하특성별 가중치를 적용함으로써 단일 부하특성계수를 산정하였다. 우리나라의 계약종별 판매량 비율이 주택용 15.6%, 일반용 20.62%, 산업용 54.3%, 농사용 2.27%이므로 이를 가중치로 적용하여 대표 부하특성계수를 계산하였으며, 산정 결과를 표 5에 제시하였다. 표에서와 같이 수용가의 부하조건을 고려한 대표 부하특성계수는 0.1172로 산정되었다.

표 5 대표 부하특성계수
Table 5 Representive Load Characteristic Factor

구분	부하 특성계수	계약종별 판매 전력량	가중치 적용		대표 값
주택용	0.0630	15.60%	16.81%	0.0106	0.1172
산업용	0.1319	54.30%	58.52%	0.07719	
일반용	0.0996	20.62%	22.22%	0.02213	
농사용	0.1200	2.27%	2.45%	0.00294	

6.3 설비별 배전 손실 계산

총 고압배전선로에서 50% 이상을 차지하는 산업용 고압배전선로와 저압배전선로의 손실은 다른 부하특성 표준선로에 비하여 절대적인 비중을 차지하고 있으나, 변압기 손실은 산업용 고압배전선로가 일반용, 주택용 고압배전선로와 비슷한 비율을 차지함을 알 수 있다. 한편, 설비별 연간 손실량인 그림 8을 살펴보면, 고압배전선로의 손실이 30%이고, 배전용변압기 손실이 48%, 저압배전선로 손실이 22% 정도임을 알 수 있었다. 구체적인 내역을 살펴보면, 상기의 알고리즘에서 계산된 연간 총 배전 손실량(2,202.2GWh)과 2002년도 총 계약종별 판매전력량(190,982.2GWh, 10MW이상 직거래 수용가 제외)의 비율을 계산하면 약 1.15% 정도이다. 그러나, 본 연구의 손실계산 알고리즘에서는 회선별단선도를 기준으로 고압배전선로의 연간 손실량을 산정하였지만, 회선별단선도 상에 나타나지 않은 분기선 부분의 단상부하를 고려하지 않으면 안 된다. 삼상 부하(68%)와 단상부하(32%)의 비율을 고려하여 연간 총 배전 손실량을 구하면 3,238.5GWh으로서, 약 1.70%정도가 된다. 또한, 상기의 연간 총 배전 손실량은 4개의 부하특성만을 대상으로 하여 구한 값이므로, 기타 계약종별(교육용, 심야용, 농사용)이 점유하는 비율 (총 7.21%, 233.5GWh)을 고려하면 상기의 비율은 1.82% 정도가 된다. 여기에 인입선이나 계기의 손실량과 비 기술적인 손실인 누전 등의 손실량을 고려하면 실질적인 총 배전 손실율이 계산될 수 있다

고압배전선로, 배전용변압기, 저압배전선로의 설비별 배전손실 및 년간손실을 계산하면, 표 6, 7과 같다.

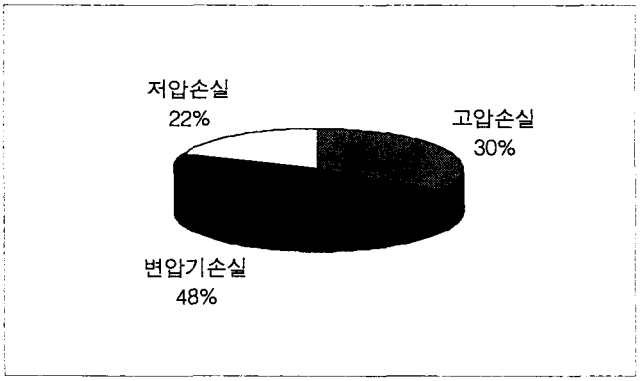


그림 8 설비별 년간 손실량 분포
Fig. 8 Yearly Distribution Loss Quantity of Each Equipment

표 6 부하특성 대상 선로별 배전손실 계산 내역
Table 6 Distribution Loss Calculation of Each Load Characteristic Model

부하종류	고압배전선로 손실합계(KW)	변압기 손실 합계(KW)	저압배전선로 손실합계(KW)	부하총 손실(KW)
주택용	4.98	20.67	9.37	35.02
일반용	2.91	24.36	3.83	31.09
산업용	29.14	20.00	16.10	65.24
농사용	4.43	1.10	2.04	7.57
선로 손실 합계	41.47	66.13	31.33	138.93
설비별 손실 비율	29.85%	47.60%	22.55%	100%

표 7 설비별 년간 배전손실 계산 내역
Table 7 Yearly Distribution Loss Calculation of Each Equipment

부하종류	고압배전선로 손실합계(KW)	변압기 손실 합계(KW)	저압배전선로 손실합계(KW)	부하총 손실(KW)
주택용	72.52	300.86	136.35	509.72
일반용	39.20	327.98	51.51	418.69
산업용	523.17	359.02	288.99	1,171.17
농사용	60.10	14.93	27.61	102.64
설비별손실 합계	694.97	1,002.79	504.46	2,202.22
설비별손실 비율	31.56%	45.54%	22.91%	100%

6.4 파라메터별 분석에 의한 배전 손실 비교

(1) 부하분포

배전선로의 부하분포는 선로의 전류를 변화시켜 고압과 저압배전선로의 손실 계산 시에 큰 영향을 끼칠 수 있다. 여기에서는 부하분포를 앞 절에서 기준으로 한 평등부하분포와 말단에 부하가 집중되었다고 가정한 2가지 경우를 비교해 보았다. 평등부하분포시의 연간 총 배전 손실량은 2,202.2GWh이고, 말단집중 부하분포시의 연간 총 배전 손실량은 표 8과 같이 4,601.1GWh으로서, 약 109%정도의 오차가 발생함을 알 수 있다. 따라서 부하분포 특성이 손실량을 계산하는데 중요한 파라메타임을 확인할 수 있었다.

(2) 변압기 이용률

변압기 이용률은 부하의 사용정도에 따라 변압기 동손에 영향을 주고, 또한 저압선의 부하전류에 큰 영향을 끼친다. 따라서 이용률의 영향을 평가하기 위하여 KVA당 변압기의 이용률과 일정 값(0.8)의 이용률에 대하여 비교해 보았다. 전자의 KVA당 변압기의 이용률에 의한 연간 총 배전 손실량은 2,202.2GWh이고, 일정 값의 이용률에 의한 연간 총 배전 손실량은 표 8과 같이 3,147.1GWh으로서, 약 43%정도의 오차가 발생함을 알 수 있다. 따라서 변압기의 이용률 파라메타가 손실관리에서 중요한 요소임을 확인할 수 있었다.

(3) 저압배전선로 선종

본 연구의 손실계산 알고리즘에서는 저압배전선로 선종을 공급방식에 따라 동력용(3상 3선식, 3상 4선식)에서는 60㎟를 사용하고, 전등용(단상 2선식, 단상 3선식)은 38㎟를 기준으로 저압배전선로의 손실량을 산정하였다. 그러나, 일부 저압배전선로에서는 100㎟의 선종도 사용되고 있으므로 두 가지 경우를 비교해 보았다. 전자의 공급방식에 따른 저압배전선로 선종의 연간 총 배전 손실량은 2,202.2GWh이고, 100㎟의 저압배전선로 선종에 의한 연간 총 배전 손실량은 표 8과 같이 1,899.9GWh으로서, 약 13.7%정도가 줄어듬을 알 수 있다. 따라서 저압배전선로의 선종이 손실관리에서 중요한 파라메타임을 확인할 수 있었다.

(4) 계통형태(분기선고려)

본 연구의 손실계산 알고리즘에서는 회선별단선도를 기준으로 고압배전선로의 연간 손실량을 산정하였지만, 회선별단선도상에 나타나지 않은 분기선 부분의 단상부하를 고려하지 않으면 안 된다. 여기에서는 삼상부하와 단상부하의 비율을 고려하여 연간 총 배전 손실량을 구하면 표 8과 같이 2,529.3GWh으로서, 약 15%정도의 오차가 발생함을 알 수 있다. 따라서 분기선을 고려하는 것이 손실관리에서 중요한 파라메타임을 확인할 수 있었다.

표 8 파라메터별, 설비별 년간 배전손실 계산 내역
Table 8 Results Based on the Parameter Analysis

파라메터 비교	부하종류	고압 손실 합계(GWh)	변압기 손실 합계(GWh)	저압 손실 합계(GWh)	부하 총손실(GWh)
말단집중 부하분포 적용	설비별 손실합계	2,084.92	1,002.79	1,513.37	4,601.09
	설비별 손실비율	45.31%	21.79%	32.89%	100%
변압기 이용률 0.8 적용	설비별 손실합계	694.97	1,947.63	504.46	3,147.06
	설비별 손실비율	22.08%	61.89%	16.03%	100%
저압배전 선로선종 100㎟ 적용	설비별 손실합계	694.97	1,002.79	202.13	1,899.89
	설비별 손실비율	36.58%	52.78%	10.64%	100%
분기고려	설비별 손실합계	1,022.02	1,002.79	504.46	2,529.27
	설비별 손실비율	40.41%	39.65%	19.94%	100%

7. 결 론

본 연구에서는 배전손실을 산정하는 최적 방안을 제안하기 위하여, 대상선로 선정 방법 및 부하특성계수 산정, 설비별 손실계산 알고리즘을 개발하였으며, 수행한 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 정확한 손실량을 계산하기 위하여 합리적이고 유효한 데이터가 필수적이어서 전국의 15개 지사로부터 대상 선로를 추천받아 가장 유효한 26개의 대상선로를 합리적인 기준 하에서 최종 선정하였다. 선정된 대상선로의 유효성을 검증하기 위하여 본 연구에서는 통계적인 방법에 의하여 표본수를 산출하여 정확도를 제고하였다.

(2) 정확하고 합리적인 부하특성계수를 산정하기 위하여, 선정된 대상선로 65개를 이용하여 부하 형태(주택용, 일반용, 산업용, 농사용)에 따른 선로의 부하특성계수를 계산하였으며, 대표 부하특성계수 값이 기존의 값(0.32)에 비하여 상당히 작은 값(0.12)임을 알 수 있었다

(3) 정확한 배전 손실량을 파악하기 위하여, 배전설비를 고압배전선로와 배전용변압기, 저압배전선로 등으로 나누어 설비별 배전 손실량을 계산하는 알고리즘을 제시하였다. 이 알고리즘과 상기에서 산정된 부하특성계수를 이용한 계산결과를 살펴보면, 현재 우리나라의 배전손실율이 1.8% 정도인데 이 수치와 근접한 결과(1.82%)를 보여주어 제안한 방법의 유효성을 확인할 수 있었다

(4) 파라메터별 손실량을 비교해 보면, 부하분포 특성, 변압기 이용률, 저압배전선로의 선종, 분기선 고려 등의 파라메터가 손실 관리에서 중요한 요소임을 확인할 수 있었다.

앞으로는 배전자동화 Data와 NDIS의 실시간 Data를 활용하여, 배전손실 산정시의 정도를 개선하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] 한국전력공사, "한전표준구매시방서"
[2] 한전, 수요관리처,"직접구매 도입 및 배전분할 대비 배전/판매부문 요금전략 연구", 2003.2
[3] 한전, 배전처, "배전손실 관리지침", 1985.6
[4] 한전, 배전처, "손방효과평가지침" 1960
[5] 송길영, "전력공학연습", 2000, 동일출판사
[6] 세키네, "배전기술종합매뉴얼", 일본 오무사,
[7] 한전 전력연구원, "배전용변압기 신기술개발 심포지움" 2003. 8
[8] 한국전력공사," 중장기연구개발계획 "1995년
[9] 한국전력공사 기술기획처, " 2010년을 향한 전력기술 발전계획 " 1997.9
[10] 한국전력공사 기술연구원 "고신뢰성 배전계통에 관한 연구" 1988.6
[11] 한국전력공사 영업처,"특수수용의 공급조건에 관한연구" 1997.1
[12] Korean Industrial Standards
[13] 일본전기서원, "전기설비기술계산핸드북",
[14] William H. Kersting and W. Howard Phillips ,"Distrib-ution Feeder Line Models", IEEE Trans. On Int. Application, vol. 31. no 4, 1995.
[15] Hadi Saadat, "Power system Analysis". Chapter4. TRANSMISSION LINE PARAMETERS, pp102-119
[16] 한국전력공사, "해외전력통계", 2002
[17] David Gnen" Electric Power Distribution System Engineering, Mcgraw-hill, 1986
[18] Marcel-Dekker, James Burke, "Power Distribution Engineering", 1994
[19] 대한전기학회지, " 전기기술 25 Event ", 1997년 7월호 특집
[20] 일본전기학회지, " 전력계통기술의 새로운 조류 ", 1997년 6월호, 117권 6호
[21] " Power Distribution Planning Reference Book ", 1997년, MARCEL DEKKER, INC.

저 자 소 개

김 미 영 (金 美 映)

1971년 8월 5일생. 1994년 충북대학교 물리학과 졸업. 2003년 한국기술교육대학교 대학원 전기공학과 석사과정 재학중.
Tel : 041-560-1167
E-mail : fssp@kut.ac.kr

노 대 석 (盧 大 錫)

1962년 2월 21일생. 1985년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 3월 일본 북해도대학교 전기공학과 졸업(공박). 1987년~1998년 한국전기연구소 선임연구원 근무. 1999~현재 한국 기술교육대 학교 정보기술공학부 전기 전공 조교수.
Tel : 041-560-1167
E-mail : dsrho@kut.ac.kr

황 혜 미 (黃 譓 美)

1979년 7월 9일생, 2002년 강원대학교 전기공학과 졸업, 현재 동 대학원 전기공학과 석사.
Tel : 033-254-0312
E-mail : hyemi@kwnu.kangwon.ac.kr

김 광 호 (金 光 鎬)

1966년 1월 17일생. 1988년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1995년~현재 강원대학교 전기전자정보통신공학부 부교수. 2001년~현재 차세대전력기술 연구센터
Tel : 033-250-6298, Fax : 033-241-3775
E-mail : khokim@kangwon.ac.kr

신 성 수(申 成 秀)

1976년 10월 25일생. 2004년 2월 충북대 전기전자컴퓨터공학부 전기전자전공 졸업(학사). 2004년 3월~현재 충북대학교 대학원 전기공학과 석사과정 재학중.
Tel : 043-261-2423
E-mail : dracoss@hanmail.ne

김 재 언 (金 在 彦)

1959년 7월 17일생. 1982년 한양대 공대 전기공학과 졸업, 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1984년3월1일~1998년8월31일 한국전기연구소 근무. 1996년 일본 교토대 전기공학과 졸업(공박). 배전계통운용, MW급 전지전력저장 시스템설계 및 운용, 분산전원 계통연계 해석 및 운용, 복합에너지시스템, 자율분산 배전계통, 전력품질 해석 및 진단, Custom Power Devices, Micro-grid 등의 연구분야에 종사. 1995년도 일본 일본전기학회 전력·에너지부문대회 우수논문발표대상 수상. 현재, 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 전기공학전공 조교수.
Tel : 043-261-2423, Fax : 043-263-2419
E-mai l: jekim@chungbuk.ac.kr