

배전계통에 있어서 설비별 배전손실 산정 알고리즘 개발

김미영 · 노대석 · 홍승만
한국기술교육대학교
fssp@kut.ac.kr

The Development of Loss Calculation Algorithm by Equipments in Distribution System

Mi-Young Kim · Dae-Seok Rho · Seung-Man Hong
Korea University of Technology and Education

요 약

최근 석유공급의 불안정과 에너지 소비의 급격한 증가로 인하여, 국가적인 차원에서의 에너지 절약 사업이 주요 시책으로 추진 중에 있으며, 전력사업에서도 에너지 절감이라는 차원뿐만 아니라 경영에 직결되는 중요한 과제로 전력손실에 대한 관심이 높아져가고 있다. 특히, 전력시장 자유화라는 흐름 속에서 전력손실 문제는 전기요금의 산정에 있어서 합리적인 근거를 제시한다는 점에서 중요한 관심 사항이 되고 있다. 본 논문에서는 배전손실을 정확하게 산정하는 방안을 마련하여, 배전사업자가 배전 망을 효과적으로 운용하여 손실을 최소화할 수 있도록 유도하며, 전력공급 전반의 효율성을 향상시킬 수 있도록 한다.

1. 서론

배전계통의 손실은 energy saving과 전기요금 책정이란 면에서 중요한 과제가 되고 있으며, 전기요금 책정에 관련된 상호간에 합의를 위해서는 합리적인 근거 데이터를 제시해야만 한다. 또한 손실관리를 위한 투자대안을 세우기 위해서는 설비별, 부하별 정확한 손실 산정이 필수적이다.

배전계통의 손실은 배전용변전소에서 고압배전선로와 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 부하형태와 부하특성계수, 선로정수 등을 고려한 손실계수를 정확하게 산정하는 것이 필수불가결하기 때문이다. 그러나, 현재 사용하고 있는 값은 60년대 설비와 부하

특성을 기준으로 산정한 것이며, 특히 배전선로의 역률이나 1, 2차전압의 승압, 신기자재의 도입에 따른 설비운용 상황변화를 고려하여 재산정하는 것이 요구되고 있다. 또한, 손실계산에서 가장 중요한 요소인 부하특성계수를 수십년간 동일한 값(0.32)을 사용하여 손실계산의 정확도가 떨어지는 문제점이 있다.

이와 같은 배경하에서 본 논문에서는 부하특성계수 산정 알고리즘과 설비별 배전손실 산정 알고리즘을 제시하고자 한다.

2. 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.

$$LLF = \frac{L_{ave}}{L_{max}} = \frac{\sum I_{ave}^2}{I_{max}^2} \quad \text{-----}(1)$$

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

$$L_{max} = I_{max}^2 \times R \quad \text{-----(3)}$$

여기서 I_{ave} 는 평균전류, I_{max} 는 최대전류를 의미한다. 최대손실에 대한 평균손실의 비로 정의되는 손실 부하율은 식 (1)과 같이 나타내어 질 수 있다.

위의 방법으로 손실 부하율이 계산되면 부하율과 손실 부하율, 부하특성계수 사이의 관계에 의해 식 (4)과 같이 부하특성계수 k값을 산정할 수 있게 된다.

$$k = \frac{LLF - LF^2}{LF - LF^2} \quad \text{-----(4)}$$

SOMAS 데이터로부터 부하율과 손실 부하율을 구하고 이를 이용하여 부하특성계수를 산정하는 알고리즘에 대한 순서도를 그림 1에 나타내었다.

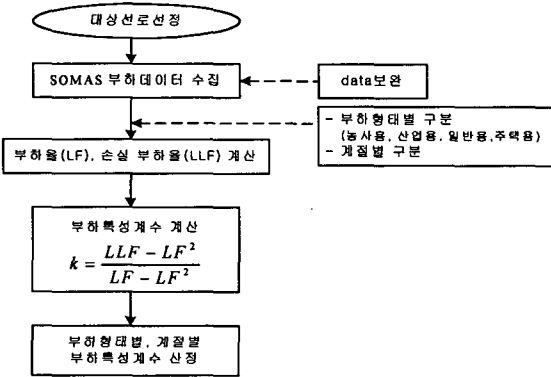


그림 1 부하특성계수 산정 flow chart

부하특성계수의 특성을 이해하기 위하여 그림 2과 같이 부하율과 손실 부하율 및 부하특성계수의 상관관계를 3차원 그래프로 도시하였다.

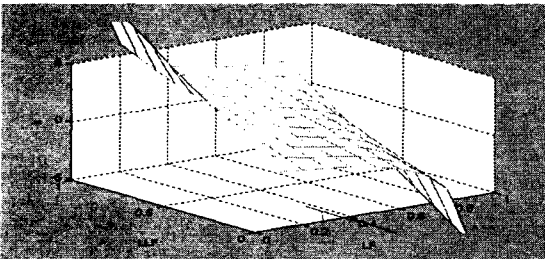


그림 2 부하율 및 손실부하율, 부하특성계수의 관계

3. 설비별 배전손실 산정 알고리즘

본 연구에서는 정확한 배전 손실량을 구하기 위하여, 배전설비를 고압 배전선로와 배전용변압기, 저압 배전선로 등으로 나누어 설비별 배전 손실량을

계산하는 알고리즘을 제시하였다.

3.1 고압배전선로의 피크시 손실계산

① 앞에서 모델링된 회선별단선도 및 피크전력을 기준으로 고압선로의 4개의 부하특성에 대하여 평등부하분포로 고압선로 손실을 계산한다.

- 주택용 고압선 손실=주택용 고압선손실 합계/9개=A-1(kw)
- 일반용 고압선 손실=일반용 고압선손실 합계/5개=A-2(kw)
- 산업용 고압선 손실=산업용 고압선손실 합계/7개=A-3(kw)
- 농사용 고압선 손실=농사용 고압선손실 합계/5개=A-4(kw)

② 4개의 부하특성에 대한 총 판매전력(IMS)의 비율을 구한다.

- 주택용 비율 = 주택용 연간 판매전력량 / 총 판매전력량 × 100% = B-1 (%)
- 일반용 비율 = 일반용 연간 판매전력량 / 총 판매전력량 × 100% = B-2 (%)
- 산업용 비율 = 산업용 연간 판매전력량 / 총 판매전력량 × 100% = B-3 (%)
- 농사용 비율 = 농사용 연간 판매전력량 / 총 판매전력량 × 100% = B-4 (%)

③ 우리나라 전체의 각 부하특성별 고압선로 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)

④ 피크시의 고압선로의 총 손실을 계산한다.

$$- L_{ptotal} = C-1 + C-2 + C-3 + C-4 + C-5$$

3.2 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 200k이하)
- 형태별 구성비율 : 3가지 형태(일반형, 저손실형, 아물포스형), 내염형은 일반형에 포함시킨다.
- 각 고압선로에 포함된 8가지의 용량별 변압기 수를 구하고, 이 값에 3가지 형태별 구성비율을 곱하여 선로별 변압기 손실(철손 + 동손)을 계산한다.

② 고압배전선로와 동일한 알고리즘으로 피크시의 주상 변압기의 총 손실을 계산한다.

3.3 저압 배전선로의 피크시 손실계산

① IMS 자료로부터 각 대상선로의 총 저압연장(또는 공장)을 구하고, 공급방식별 총 연장을 계산한다.

- 공급방식(3가지) : 1상 2선식, 1상 3선식, 3상 4선식 (3상3선식 포함)

- 공급방식 비율 : 공급지역별 및 결선별 변압기 통계 자료를 이용하여 점유 비율을 계산한다.

- 저압선로의 총 공장에서 점유비율에 따른 공급방식별 총 연장을 구한다.

② 저압선의 손실을 계산하기 위한 조건을 가정한다.

- 저압선로의 선종은 전등용(1상)은 38mm²으로 하고 동력용(3상)은 60mm²으로 한다.

- 저압선로의 부하 분포는 말단집중부하분포와 평등부하분포로 한다.

③ 평균적인 저압선의 선로 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 피크시의 저압 배전선로의 총 손실을 계산한다.

3.4 연간 손실 전력량 계산

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

- 주택용 D/L 손실=고압선손실+변압기손실+저압선손실=H-1
- 일반용 D/L 손실=고압선손실+변압기손실+저압선손실=H-2
- 산업용 D/L 손실=고압선손실+변압기손실+저압선손실=H-3
- 농사용 D/L 손실=고압선손실+변압기손실+저압선손실=H-4

② 고압선로의 부하특성별 선로 개수를 구한다.

- 주택용 D/L 개수 = 전체 고압선로의 총 수 × 주택용 판매 전력량 비율 = K-1
- 일반용 D/L 개수 = 전체 고압선로의 총 수 × 일반용 판매 전력량 비율 = K-2
- 산업용 D/L 개수 = 전체 고압선로의 총 수 × 산업용 판매 전력량 비율 = K-3
- 농사용 D/L 개수 = 전체 고압선로의 총 수 × 농사용 판매 전력량 비율 = K-4

③ 부하특성별로 우리나라 전체의 피크시의 총 손실을 구한다.

- 주택용 D/L 총 손실 = H-1 × K-1 = M-1
- 일반용 D/L 총 손실 = H-2 × K-2 = M-2
- 산업용 D/L 총 손실 = H-3 × K-3 = M-3
- 농사용 D/L 총 손실 = H-4 × K-4 = M-4

④ 손실부하율 계산식에 의하여 부하특성별로 손실부하율을 계산한다.

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

(k는 부하특성계수, LF는 부하율)

⑤ 부하특성별로 손실부하율을 고려하여 부하특성별 총 손실량을 계산한다.

- 주택용 연간총손실량=M-1×주택용손실부하율=N-1
- 일반용 연간총손실량=M-2×일반용손실부하율=N-2
- 산업용 연간총손실량=M-3×산업용손실부하율=N-3

- 농사용 연간총손실량=M-4×농사용손실부하율=N-4

⑥ 우리나라 전체의 연간 총 손실전력량을 구한다.

- 연간 총 손실량=(N-1+N-2+N-3+N-4)×8,760(kWh)

3.5 설비별 배전 손실 계산 플로우 차트

설비별 플로우 차트는 그림 3~그림 5와 같다.

(1) 고압배전선로 손실

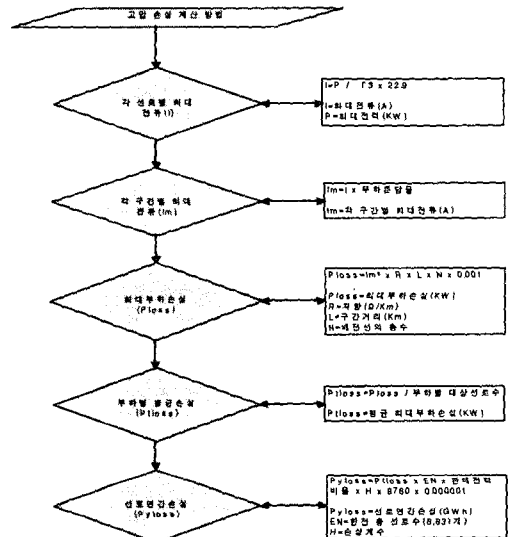


그림 3 고압배전선로 손실 계산 flow chart

(2) 배전용변압기 손실

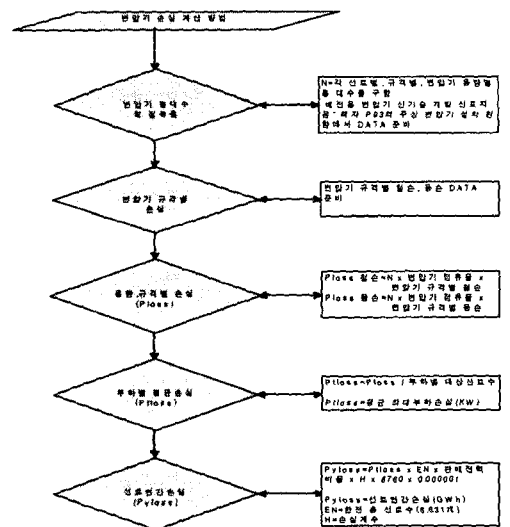


그림 4 변압기 손실 계산 flow chart

(3) 저압 배전선 손실

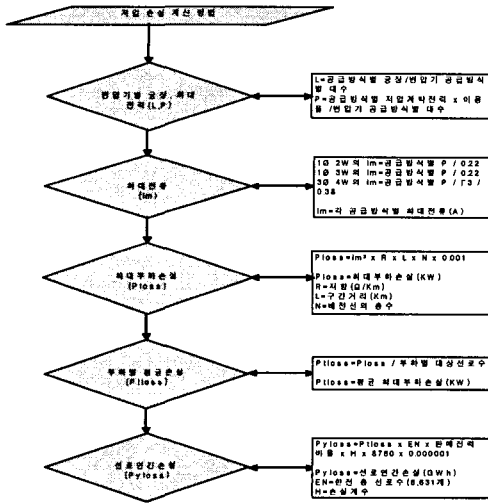


그림 5 저압배전선로 손실 계산 flow chart

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

설비별(고압배전선로, 배전용변압기, 저압배전선로) 손실량을 계산하기 위하여, 한전의 15개 지사를 대상으로 4개의 부하특성(주택용, 일반용, 산업용, 농사용)에 대하여 각각 3개의 고압선로를 선정하도록 하였다. 대상으로 선정된 180개의 선로 가운데, 가장 합리적으로 생각되는 26개의 대상선로를 최종 결정하여, 대상선로를 모델링하여 설비별 손실량을 계산하였다.

앞 절의 계산 알고리즘에 의한 부하특성계수 산정 결과는 표 1과 같으며, 설비별 배전손실은 표 2와 같고 설비별 배전손실 비율은 그림 6과 같다

표 1. 대표 부하특성계수

구분	부하 특성계수	계약종별 판매 전력량	가중치 적용	대표값
주택용	0.0630	15.60%	16.81%	0.0106
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

표 2. 부하특성 모델 선로별 배전손실 계산 내역

부하종류	고압 손실 합계(KW)	변압기 손실 합계(KW)	저압선 손실 합계(KW)	부하 총 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%

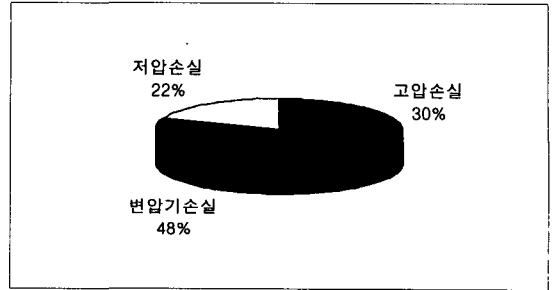


그림 6 설비별 연간 손실량 분포

5. 결론

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.

② 정확하고 합리적인 부하특성계수를 산정하기 위하여, 선정된 대상선로 65개를 이용하여 부하 형태에 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, 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 알고리즘의 유효성을 확인할 수 있었다

참고문헌

- [1] 한국전력공사, “한전표준주매시방서”
- [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