

배전손실계수 산정에 관한 기초 연구

노 대 석, 김 미 영, 홍 승 만
한국기술교육대학교 정보기술공학부

A Basic Study on the Optimal Factor Of Distribution Loss

Daeseok Rho, Mi Young Kim, Seungman Hong
Korea University of Technology and Education

요 약

최근 석유공급의 불안정과 에너지 소비의 급격한 증가로 인하여, 국가적인 차원에서의 에너지 절약사업이 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 올바른 배전 손실 계수를 적용하여 배전사업자가 배전망을 효과적으로 운용하여 손실을 최소화할 수 있도록 유도하며, 전력공급 전반의 효율성을 향상시킬 수 있도록 손실관리 가이드라인을 제시하고자 한다.

1. 서 론

배전계통의 손실은 배전용변전소에서 고압배전선과 주상변압기, 저압배전선 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 부하 특성계수, 선로정수 등을 고려한 배전 손실 계수를 정확하게 산정하는 것이 필수불가결하다.

그러나, 현재 사용하고 있는 값은 60년대 설비의 선로특성을 기준으로 산정하였으며, 특히 배전선로의 역률이나 1, 2차전압의 승압, 신기자재의 도입에 따른 설비운용 상황변화를 고려하여 재산정하는 것이 요구되고 있다

2. 배전 손실 계수의 정의

2.1 배전 손실의 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 전력의 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 손실을 합한 것이 되어야 한다.

예를 들어 상위의 전압계급에서 전력을 공급받아서, 해당 전압계급의 수용가 부하에게만 전력을 판매하는 경우, 가령 220/380V 배전계통의 경우, 다음 식과 같은 표현이 가능하다.

$$E_{input} = E_{sales} + E_{losses}$$

2.2 배전 손실 계수의 개념 및 적용

배전 손실은 단순히 수용가의 에너지 혹은 전력

수요에 따른 공급을 위해 시스템에 전달되는 에너지나 전력량의 차이로 정의할 수 있는데, 일반적으로 크게 물리적인 손실과 기타 비 물리적인 손실로 나눌 수 있다. 이 중 물리적인 손실은 시스템의 구성과 시스템에서의 전류의 흐름과 관련한 손실로 전류의 제곱과 회로 소자의 저항에 비례하는 직렬 저항 손실과, 변압기내의 철손 및 동손, 회전기기의 자화손실, 케이블내의 와전류에 의한 병렬 손실로 구성된다. 기타 비 물리적인 손실은 물리적인 손실과는 불법적인 접속, 계량의 오차, 청구 부족분, 세입 징수에 의해 발생하는 세입과 관련한 손실을 의미한다.

배전 손실 계수는 단순히 정의한다면 배전망에서 발생하는 손실을 고려하여 배전망의 인입점에서 구매해야 할 전력량을 구하기 위해, 수용가에서 필요로 하는 전력량에 곱해야 하는 계수를 말한다. 일반적으로 배전 손실 계수는 1 보다는 큰 값으로 갖으며, 1을 초과하는 계수는 실제 판매 전력량을 공급받을 때, 발생하는 배전망 손실량을 의미하게 된다. 이때 손실계수는 다음의 2가지 방법이 적용될 수 있다.

- 한계 손실 계수 (marginal loss factor : MLF)
단위 부하 또는 전력량 증가당 발생하는 손실의 변화분으로 나타낸다.

$$MLF=1+\frac{\text{손실의 변화분}}{\text{부하 또는 전력량의 변화분}}$$

- 평균 손실 계수 (average loss factor : ALF)
일정 기간동안 발생하는 평균 손실과 평균 부하의 비로 나타낸다.

$$ALF=1+\frac{\text{일정기간의 손실 평균치}}{\text{일정기간의 부하 또는 전력량 평균치}}$$

일반적으로 데이터 수집 및 산출의 어려움에 의해 배전 손실계수에는 평균 손실 계수가 사용된다. 배전 손실 계수를 적용하는 방법으로는 지역별로 차등화된 손실 계수를 적용하는 것과 전압별로 서로 다른 손실 계수를 적용하는 방법, 2가지가 적용 가능하다.

2.3 손실 부하율

일정기간 발생하는 배전 손실을 구하는데 있어서, 모든 시간대의 배전 손실을 측정하거나 산출하는 것은 대단히 어려우며, 또한 비효율적인 작업이다. 이를 구하는데 사용되는 것이 부하율(Load Factor)과 동일한 개념을 갖는 손실 부하율(Loss Load Factor)이다. 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. 부하율과 손실 부하율과의 관계는 다음에 자세히 설명이 된다.

2.3.1 부하율

전술한 것처럼 부하율은 배전망 내의 일정 기간 동안 최대 부하와 평균 부하의 비율이고, 손실 부하율은 해당 기간의 최대 부하시 손실과 평균적인 손실로 나타낸다. 계통의 부하율은 특정기간(그림의 경우는 1년)동안의 최대 부하 P_{max} 와 평균부하 P_{ave} 의 비로써 정의된다.

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

2.3.2 손실 부하율

손실 부하율은 일정 기간중 최대부하시의 손실 L_{max} 에 대한 평균손실 L_{ave} 의 비율로 나타내며 관계식은 다음과 같다.

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

손실 부하율은 일반적으로 부하율을 이용하여 다음 식으로 계산될 수 있다.

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

여기서, 상수 k는 실제 부하데이터 측정 및 통계적인 분석을 통해 정하게 되며, 이 값은 지역별로 부하 구성에 따라 달라지게 된다. 따라서 부하율과 손실 부하율을 구한다면 전체적인 손실량과 손실계수를 산출할 수 있게 된다

3. 배전 손실 계수 산정 방법

우리나라의 배전계통은 고압(22.9kV)과 저압(220/380V)의 2단계로 구분할 수 있어서, 상대적으로 배전 손실 계수 산정이 간단하다고 할 수 있다. 여기서는 배전손실 계수의 차등을 고압수용가(22.9kV 배전선로 접속)와 저압수용가(220/380V)로 구분하고 각각에 대해서 배전 손실 계수를 산정하는 방법을 기술한다. 이 경우 고압수용가에게 적용되는 배전손실계수는 22.9kV 배전선로에서 발생하는 배전손실을 통해 산정이 되고, 저압수용가에게 적용되는 배전손실계수는 22.9kV 배전선로에서 발생하는 배전손실과 배전용변압기에서 발생하는 손실의 합으로 산정이 된다. 저압선로에서 분기되어 나가는 저압수용가에 대해서는 손실 계수 산정 방법의 일반화가 어렵고, 손실의 계산한다고 하더라도 지나치게 많은 계산이 요구되기 때문에 별도의 차등을 두지 않도록 한다. 각 배전계통 구간에 대한 손실계수는 다음과 같이 각각 산출하게 된다.

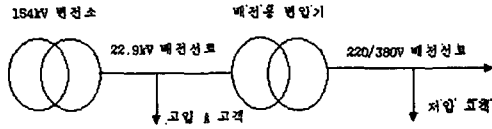


그림 3.1 한전 배전계통 모델

배전용 변압기에서의 손실계산은 복잡한 단계를 거치지 않고, 배전용 변압기에서 제공하는 손실을 이용하여 최대 수요(MD)일 때의 연간 손실, 연간 부하율, 연간 손실부하율을 계산한다. 이때는 사용된 변압기의 종류와 용량에 따른 각 변압기의 연간 손실을 정하고 배전용 변압기 전체의 연간 총 손실을 구하게 된다.

3.1 고압 배전선의 손실

고압 배전선의 손실을 구하기 위해서는 기본적인 배전선의 Topology와 관련한 다양한 데이터를 사용하여야 한다. 배전선에 대한 데이터를 이용하여 다음의 표와 같이 단계적으로 연간 손실을 구해낼 수 있다. 특정 지역변전소(ZSS1)에 접속되어 있는 도시지역(Urban)의 고압 배전선의 손실을 구하는 예를 표에 나타내었다.

표 3.1 연간 손실 구하는 방법

지역 변전소명	배전선의 종류	평균배전선의 길이	배전선의 총수	지역 변전소의 최대부하	배전선별의 평균적인 최대부하 (MD)	최대부하시 손실 (L_{MD})	해당 지역변전소의 도시지역 공급 배전선 연간손실 (L_{ZSS})
ZSS1	도시 지역	L_f	N_{ZSS1}	MD_{ZSS1}	MD_{ZSS1} / N_{ZSS1}	$3(r L_f I_m^2) / 3$	$L_{MD} * N_{ZSS1}$ s_i $* L_f ZSS1$ $* 8760$

- ① 우선 변전소의 데이터를 이용하여 도시지역으로 공급되는 배전선의 평균길이를 계산한다.
- ② 배전선 1개의 최대부하시 손실을 구하기 위해, 지역변전소 전체의 최대부하를 단순히 총 배전선 수로 나누어서 균등하게 배분한다.
- ③ 각 배전선로에 있어서 최대부하시 손실 (L_{MD})은 위의 표의 식으로 구성된다.

여기서,

- I_m : MD로부터 계산된 배전선의 평균최대전류
- r : 배전선의 1 km 당 평균 저항
- L_{MD} : 최대부하시 배전선에서 발생하는 손실
- $L_f ZSS1$: 변전소의 데이터에서 얻어진 부하율을 이용하여 구한 손실부하율
- L_{ZSS} : 해당 변전소에서 인출되는 도시지역 공급 배전선의 연간 손실량

3.2 배전용 변압기의 손실

4. 시뮬레이션 결과 분석

상기의 원칙 하에 한전의 실제 A 변전소의 S D/L을 대상으로 고압 수용가와 저압 수용가 각각에 적용할 수 있는 손실 계수를 산정하였다. 그림 3.1에서 변전소에서 수집 가능한 데이터를 이용하여 각 수용가별 손실 계수를 산정하기 위해 연간 손실 계산이 요구되는 부분은 배전선로와 배전용 변압기가 두 부분이 된다.

여기에서는 한전의 A 변전소의 S D/L을 대상으로 배전 손실을 계산하여 보았다. 실제로 A 변전소의 변압기는 총 3대이며, 변압기 한 대당 5개의 간선을 포함하여 총 15개의 간선으로 구성되어 있다. 그러나 간략한 계산을 통한 산정방법의 쉬운 이해를 위해, 고압 배전선로의 1개만을 대상으로 손실을 계산하였다. 변전소의 변압기 대수와 각 변압기별 접속 배전선로의 개수에 따라 본 계산방법은 대수적으로 확장가능하다. 손실 계산 방법은 다음과 같다.

4.1 22.9kV 배전선로에서의 손실계산

22.9kV 배전선로에서 발생하는 손실은 다음과 같은 데이터를 이용하여 계산되었다.

- ① 배전선로의 길이 (S D/L) : 5.31 km
- ② 배전선로의 총 개수 (여기서는 한 선로만으로 가정) : 1
- ③ 배전선의 최대 부하 : 6,782kW
- ④ 변전소의 평균 최대 전류 : 190A
- ⑤ 배전선로의 km당 저항 : 0.30625 Ω
- ⑥ 변전소의 부하율 : 0.3511
- ⑦ S D/L의 부하율 : 0.473

A 변전소의 S D/L의 전체길이는 5.31 km 이며, A 변전소의 MTR #1의 간선 중 하나인 S D/L만을 고려하였으므로 배전선로의 총 수는 1이 된다. 배전선의 최대부하는 A 변전소의 S D/L의 월 평균 최대전력을 이용하였다. 계산 결과는 다음 표 4.1과 같다.

연간 손실을 계산하기 위해 사용된 손실 부하율 ($L_f ZSS1$)는 다음과 같이 배전선 S D/L의 부하율에서 계산이 가능하다.

$$Llf_{ZSS1} = a \times (LF) + (1-a)(LF)^2$$

$$= 0.32 \times 0.473 + (1-0.32) \times 0.473^2 = 0.3035$$

여기서 사용된 k는 기존 한전에서 사용되던 값인 0.32를 그대로 적용하였다.

표 4.1 A변전소 S D/L의 연간손실

지역 변전소명	배전선의 종류	평균 배전선의 길이	배전선의 총수	지역 변전소의 최대부하	배전선별의 평균적인 최대부하 (MD)	최대부하시 손실 (LMD)	해당 지역 변전소의 도시지역공급 배전선 연간손실 (LZSS)
A 변전소	S D/L	L_f	N_{ZSS1}	MD_{ZS}	MD_{ZSS1}/N_{ZSS1}	$3rL_f I_m^2$	$LMD \times N_{ZSS1}$ $\times Lf_{ZSS1} \times 8760$
		5.31 km	1	54,720 kW	6,782kW	176.117 kWh	468.25 MWh

4.2 배전용 변압기의 손실계산

S D/L 상에 있는 배전용 변압기의 데이터는 다음 표 4-2와 같다. 이 표의 데이터는 S D/L의 배전용 변압기 106대에 대한 각각의 철손과 동손을 나타낸 것이다. 표 4-2에서 알 수 있듯이, S D/L의 모든 배전용 변압기에 있어서 최대부하시 손실은 철손 19,283 W, 동손 94,924 W로 구해진다. 따라서 철손과 동손의 연간 총 손실의 합은 다음 식을 이용하여 구해진다.

○ 연간 S D/L에 있는 모든 배전용 변압기에서 발생하는 손실 = (19,283 W + 94,924 W) × 8760 hr × 손실 부하율 = 303.64 MWh

4.3 배전 손실 계수의 결정

위와 같은 단계에 따라 S D/L에서 발생하는 연간 총 손실은 다음과 같다.

○ S D/L 배전선로의 연간 총 손실 : 약 468.25 MWh

○ 배전용 변압기의 연간 총 손실 : 약 303.63 MWh

표 4.2 S D/L의 배전용 변압기 데이터

	용량(kVA)	개수	철손(W)	동손(W)
주상 변압기	10	4	41	236
	20	19	77	394
	30	19	100	544
	50	33	149	819
	75	19	206	1247
절연 변압기	100	3	245	1588
	150	1	245	1588
지중 변압기	500	1	245	1588
	150	4	750	2387
	200	3	900	2650

배전 손실 계수의 계산을 위해 필요한 해당 배전선로의 총 판매량의 취득이 불가능하여 편의상 배전선의 평균전류를 이용하여 계산하였다. 향후 본 계산방법을 적용할 경우에는, 실제 판매량을 적용하여야 하며, 이 경우 제시한 산출방법의 수정없이 보다 정확한 손실계수의 산출이 가능하다. 각 전압계급별 수용가에게 적용가능한 배전손실 계수는 다음과 같이 계산이 된다.

○ 고압 A 수용가 배전손실 계수

$$DLF_{고압A} = 1 + \frac{(\text{산출된 배전선로 손실량})}{(\text{총 판매량})}$$

$$= 1 + \frac{(468.25 \text{ MWh})}{(29,489 \text{ MWh})} = 1.016$$

○ 저압 수용가 배전손실 계수

$$DLF_{저압} = 1 + \frac{(\text{배전선로 손실량} + \text{배전용 변압기 손실량})}{(\text{총 판매량})}$$

$$= 1 + \frac{(468.25 \text{ MWh} + 303.64 \text{ MWh})}{(29,489 \text{ MWh})} = 1.026$$

5. 결 론

배전 손실 계수를 실제로 적용하기 위해서는 수용가, 배전사업자, 판매사업자 등이 함께 납득할 수 있는 계수의 산출이 가장 중요하다. 이를 위해서는 반드시 정확한 배전계통 데이터가 확보가 되어야 하며, 이것이 효과적으로 분류, 관리되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 한전 배전처 : "배전손실 관리지침", 1985.6
- [2] 한전 : "해외전력통계", 2002