

배전계통의 손실관리 최적 방안에 관한 기초 연구

김미영\*, 노대석\*, 김재연\*\*, 김광호\*\*\*  
 \*한국기술교육대학교, \*\*충북대학교, \*\*\*강원대학교

A Basic Study on the Optimal Method of Loss Management  
 in the Distribution System

Miyoung Kim\*, Daeseok Rho\*, Jaeon Kim\*\*, Kwangho Kim\*\*\*

\*Korea University of Technology and Education, \*\*Chungbuk National University, \*\*\*Kangwon National University

**Abstract** - 최근 석유공급의 불안정과 에너지 소비의 급격한 증가로 인하여, 국가적인 차원에서 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 배전손실을 정확하게 산정하는 방안을 마련하여, 배전사업자가 배전망을 효과적으로 운용하여 손실을 최소화할 수 있도록 유도하며, 전력공급 전반의 효율성을 향상시킬 수 있도록 한다.

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 정수에 의해 발생하는 세입과 관련한 손실을 의미한다.

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 배문단 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 고려해야 하기 때문이다. 본 연구에서는 배전 계통을 설비별(고압배전선로, 변압기, 저압배전선로)로 손실량을 계산하고, 전체 손실 중 설비별로 차지하는 비율을 정확하게 산정하는 방안을 제시한다.

2. 배전 계통 손실

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. 손실량 계산식은 아래와 같다.

$$L = H \times I_m^2 \times R \times T \quad \text{-----}(1)$$

여기서, L : 배전선로 손실(wh), I<sub>m</sub> : 최대전류,  
 R : 저항, T : 시간

2.2 배전 손실 계수의 개념 및 적용

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 : LF)와 동일한 개념을 갖는 손실 부하율(Loss Load Factor : LLF)이다. 손실 부하율은 정해진 기간의 최대부하 시 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.

손실 부하율은 일정 기간 중 최대부하시의 손실(L<sub>max</sub>)에 대한 평균손실(L<sub>ave</sub>)의 비율로 나타내며 관계식은 다음과 같다.

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

손실 부하율은 일반적으로 부하율을 이용하여 다음 식으로 계산될 수 있다.

$$LLF = k*(LF) + (1-k)(LF)^2 \quad \text{-----}(3)$$

여기서, 상수 k는 실제 부하데이터 계측 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 산정 방법

설비별(고압배전선로, 변압기, 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 24개의

대상선로를 최종 결정하여, 대상선로를 모델링하여 설비별 손실량을 계산하였다.

### 3.1 대상선로 선정

그림 1과 같은 flow chart에 의해 총 24개 대상선로(주택용-9개, 일반용-5개, 산업용-7개, 농사용-3개)를 선정하였다.

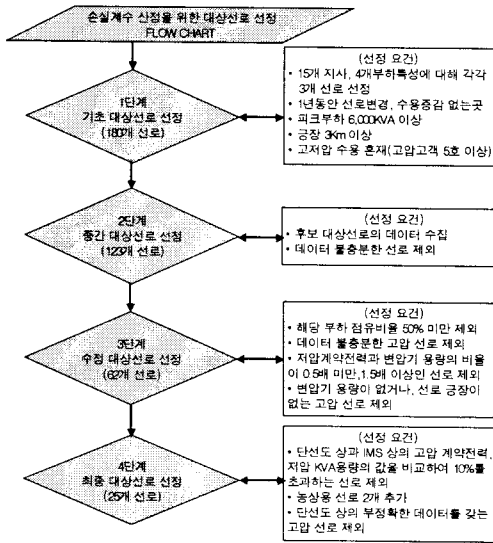


그림 1. 대상선로 선정 flow chart

### 3.2 대상선로 모델링

대상선로의 모델링 조건은 다음과 같다.

- ① 전선의 종류나 규격이 다른 경우 노드 분리한다.
- ② 변압기 용량 및 고압수용 용량이 너무 크지 않도록 노드 분리한다.
- ③ 변전소 인출구는 노드를 분리한다.
- ④ 공장이 너무 크지 않도록 노드를 분리한다.
- ⑤ 단상 10개 노드는 무시한다.
- ⑥ 역률은 1을 적용한다.
- ⑦ 간선을 중심으로 노드를 먼저 분리 후 분기선 노드를 분리한다.
- ⑧ 상기의 대상선로를 실제 단선도를 추약하여 아래의 그림 2의 선로구성도와 그림 3과 같은 부하구성도를 작성한다..

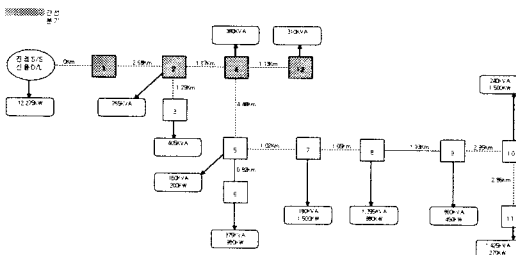


그림 2. 부산지점, 진영S/S, 신용D/L 선로구성도

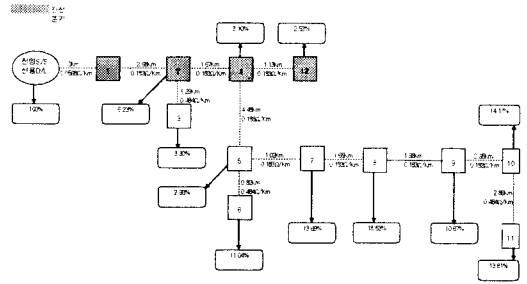


그림 3. 부산지점, 진영S/S, 신용D/L 부하구성도

### 3.3 설비별 손실 계산

#### (1) 고압배전선로 손실 계산(피크시)

① 앞에서 모델링된 회선별 단선도 및 피크전력을 기준으로 고압선로의 4개의 부하특성에 대하여 고압선로 손실을 계산한다.

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

② 4개의 부하특성에 대한 총 관매전력(IMS)의 비율을 구한다.

- 주택용 비율 = 주택용 연간 판매 전력량 / 총 판매 전력량 x 100% = B-1 (%)
- 일반용 비율 = 일반용 연간 판매 전력량 / 총 판매 전력량 x 100% = B-2 (%)
- 산업용 비율 = 산업용 연간 판매 전력량 / 총 판매 전력량 x 100% = B-3 (%)
- 농사용 비율 = 농사용 연간 판매 전력량 / 총 판매 전력량 x 100% = B-4 (%)

③ 우리나라 전체의 각 부하특성별 고압선로 손실을 계산한다.

- 주택용 D/L 손실 = A-1 x B-1 = C-1 (kw)
- 일반용 D/L 손실 = A-2 x B-2 = C-2 (kw)
- 산업용 D/L 손실 = A-3 x B-3 = C-3 (kw)
- 농사용 D/L 손실 = A-4 x B-4 = C-4 (kw)
- 기타 손실 : 심야용 + 교육용 + 등 = C-5 (kw)

④ 피크시의 고압선로의 총 손실을 계산한다.

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

#### (2) 배전용 변압기의 손실계산(피크시)

① 각 대상선로에 포함된 변압기의 용량별 구성비율(IMS)과 형태별 구성비율(변압기 자료)을 구하고, 각각의 철손과 동손데이터를 계산한다.

- 용량별 구성비율 : 9가지(10k, 20k, 30k, 50k, 75k, 100k 이상, 저중100k 이하, 저중200k 이하)
- 형태별 구성비율 : 4가지(일반형, 저손실형, 아물포스형, 내염형)

각 고압선로에 포함된 9가지의 용량별 변압기 수를 구하고, 이 값에 4가지 형태별 구성비율을 곱하여 선로별 변압기 손실(철손 + 동손)을 계산한다.

② 4개의 부하특성에 대하여 변압기의 손실 계산은 위의 고압배전선로 손실의 ①, ②, ③, ④와 동일하다.

#### (3) 저압 배전선로 손실계산(피크시)

① IMS 자료로부터 각 대상선로의 총 저압연장(또는

공장)을 구하고, 공급방식별 총 연장을 계산한다.

- 공급방식(2가지) : 단상 2선식, 3상 4선식
- 공급방식 비율 : 부하형태별로 비율을 계산하여야 하나, 여기서는 단순히 50%씩 점유하는 것으로 가정한다.
- 저압선로의 총 공장에서 1/2을 하여 단상 2선식의 총 공장을 구하고, 3상 4선식의 총 공장을 구한다.(3-4경간 내외).

② 저압선의 손실을 계산하기 위한 조건을 가정한다.

- 저압선로의 선종은 100mm<sup>2</sup>으로 한다.
- 저압선로의 부하 분포는 말단 집중부하로 한다.

③ 평균적인 저압선의 선로 전류를 계산한다.

- IMS 데이터로부터 각 대상선로의 9가지 용량별 주상변압기의 대수를 구한다.
- 변압기의 수용율을 80%하여, 9가지 용량별로 피크전류를 구한다.
- 각 대상선로의 용량별 주상변압기의 평균적인 전류를 구한다. 이때, 공급방식을 각각 50%씩 고려한다.

④ 4개의 부하특성에 대하여 저압선의 손실을 계산은 위의 고압배전선로손실의 ①, ②, ③, ④와 동일하다.

#### 4. 시뮬레이션 결과 및 분석

시뮬레이션의 제 조건은 다음 표 1, 표 2와 같으며, 대상선로의 월별 판매전력량을 분석하면 그림 4와 같다.

표 1. 대상선로 내역(24개 D/L)

구분	지사명	변전소명	선로명	02년피해 전력(kW)	고압이상 제약전력(kW)	변압기 용량계(kVA)
농사용	5강원	춘천	동면	11,200	7,111	8,750
농사용	D부산	진영	신용	11	5,780	6,495
농사용	E경남	진주	단목	10,400	20,286	21,640
산업용	4북부	동두천	봉양	9,100	14,136	12,365
산업용	5강원	문막	연화	9,400	15,700	180
산업용	5강원	원주	풍단	10,800	19,550	1,335
산업용	5강원	원주	태봉	9,400	20,370	7,110
산업용	7충북	사직	청내	8,600	18,765	13,785
산업용	A전남	하남	두산	9,600	22,902	465
산업용	A전남	하남	전자	9,300	40,861	1,770
일반용	5강원	춘천	낙원	9,700	11,334	26,405
일반용	5강원	춘천	동부	8,600	7,835	16,800
일반용	6강릉	강릉	남문	6,600	2,012	16,925
일반용	6강릉	강릉	성남	7,300	4,300	11,260
일반용	7충북	청주	상당	8,500	7,300	16,320
주택용	3경기	광명	광일	8,300	2,700	17,960
주택용	5강원	남춘천	은의	10,200	17,100	17,155
주택용	5강원	남춘천	칠전	9,400	16,192	14,850
주택용	5강원	남춘천	희계	6,100	8,415	10,755
주택용	6강릉	강릉	임영	8,100	9,350	16,905
주택용	6강릉	강릉	성덕	9,600	12,250	20,475
주택용	6강릉	강릉	죽현	9,000	11,664	10,860
주택용	7충북	청주	수곡	9,800	3,950	21,030
주택용	7충북	청주	명암	10,200	12,974	28,760

표 2. 배전용 변압기 철손/동손 내역

구분 용량	변압기 규격별 손실(W)					
	일반형		저손실형		아몰포스형	
	철손	동손	철손	동손	철손	동손
10KVA	41	236	35	200		
20KVA	77	394	66	342		
30KVA	100	544	86	463	28	490
50KVA	149	819	127	686	38	723
75KVA	206	1,247	176	1,043	52	1,090
100KVA 이상	245	1,588	209	1,313	62	1,357

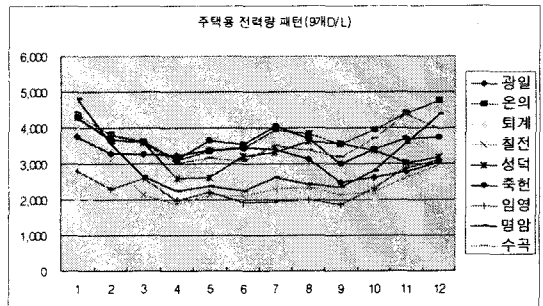


그림 4 대상선로의 월별 판매전력량 특성

앞 절의 계산 알고리즘에 의한 고압선로, 변압기, 저압선로의 설비별 배전손실은 표 3과 같이 구할 수 있다. 이 표에서 알 수 있듯이 변압기 손실이 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. 따라서 배전손실을 개선하기 위하여 배전용변압기(주로 주상변압기)의 저손실 타입의 개발 및 도입이 절실함을 알 수 있다.

표 3. 부하별 배전손실 계산 내역

부하 종류	고압선로손실 합계(KW)	변압기손실 합계(KW)	저압선로손실 합계(KW)	총손실 (KW)
농사용	14.30	5.78	1.81	21.89
산업용	87.43	54.71	38.87	181.01
일반용	8.73	61.64	8.57	78.94
주택용	14.95	49.57	21.67	86.19
기타용	0.00	0.00	0.00	0.00
총손실	125.41	171.69	70.92	368.03
설비별 분포율	34.07%	46.65%	19.28%	100%

#### 5. 결 론

상기의 시뮬레이션 결과를 보면, 손실이 가장 많이 발생하는 설비는 배전용변압기이고 두 번째로 손실이 많이 생기는 설비는 고압 배전선로이다. 그러므로 변압기의 손실을 개선하기 위하여 특히 철손, 동손을 개선하기 위하여 더 많은 노력이 필요함을 알 수 있다. 앞으로 배전 손실계수를 적용하여 부하특성별, 계절별로 연간 손실량을 구하는 연구를 수행할 예정이다.

#### [참 고 문 헌]

- (1) 한전 배전처 : "배전손실 관리지침", 1985.6
- (2) 한전 : "해외전력통계", 2002