2003년도 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집(2003.11.13~15)

수용가의 형태와 계절별 특성을 고려한 부하특성계수 재 산정

°황혜미*, 장성일**, 김광호*, 김재언***, 노대석$, 정익중$$
*강원대학교, **서울대학교, ***충북대학교, $한국기술교육대학교, $$한국전력공사

Estimation of Load Characteristic Factor Considering The Load Pattern and Seasonal Characteristic for Consumer

°H. M. Hwang* S. I. Jang** K. H. Kim* J. E. Kim*** D. S. Rho$ I. J. Jeong$$
*Kangwon National Univ. **Seoul National Univ. ***Chungbuk National Univ. $KUT $$KEPCO

Abstract - This paper presents the estimation on Load Characteristic Factor (k) which is considered to load pattern and seasonal characteristic of consumer. We can calculate the loss of distribution networks through the equation composing of Load Factor (LF), Loss Load Factor (LLF) and load characteristic factor (k). This equation is similar to the method of Regulator-General Victoria, Australia. Generally, the conventional method for calculating the distribution losses uses k with a constant value from 0.1 to 0.3. However, the k which is a relationship between LF and LLF can be varied by load pattern and seasonal characteristics. It is necessary to estimate the k according to load characteristics. This paper shows the result for recalculating k using the KEPCO's SOMAS data measured in distribution networks.

1. 서 론

오늘날 전력산업에서는 유가 상승과 에너지 소비의 급격한 증가로 전력손실에 대한 관심이 높아져가고 있다. 특히, 전력시장 자유화라는 큰 흐름 속에서 전력손실 문제는 전기요금의 산정에 있어 합리적인 근거를 제시한다는 점에서 중요한 관심사항이 되고 있다. 일반적으로, 배전용 변전소로부터 고압 배전선과 주상 변압기, 저압 배전선 및 인입선을 거쳐 수용가까지 전력이 공급되는 동안 선로나 변압기 자체의 전기적 특성에 의해 손실이 발생하게 된다. 이처럼 전력 공급 과정에서 발생되는 손실을 배전손실로 정의한다. 전력 공급 시 손실의 발생은 수용가로 공급되는 에너지의 부족을 초래하게 되므로 각 전압 수준에서의 입력 에너지는 수용가의 사용량에 배전 과정에서의 손실을 포함해야 한다.

배전 손실량은 일정 기간 동안에 배전 선로로 유입되는 전력량과 수용가에서 사용되는 전력의 차이로 측정할 수 있다. 그러나 이 방법은 각 설비에서 발생하는 손실량을 정확히 산출하기 불가능하므로 부하데이터를 이용한 배전 손실 계산방법이 사용되고 있다. 우리나라에서 사용하고 있는 배전 손실 산출 기법은 호주 빅토리아의 배전 손실 계산법을 기초로 하고 있으며, 이 방법은 부하율(LF: Load Factor)과 부하특성계수(k), 손실 부하율(LLF: Loss Load Factor)을 이용하여 배전손실을 계산한다 [1][2]. 배전손실 계산 시 부하율과 손실 부하율의 관계에서 얻어지는 부하특성계수 k는 일반적으로 0.1에서 0.3 이내의 상수 값으로 정해지며 부하패턴 및 특성에 따라 달라진다. 현재 국내에서는 0.32로 k값을 설정하여 배전손실을 계산하고 있으나 값은 1970년대 이전에 산정된 것이므로 지금의 부하 형태, 패턴 및 특성을 효과적으로 나타낼 수 없을 것으로 판단된다. 따라서 근래의 부하 특성을 나타내는 데이터에 의한 부하특성계수 k의 재산정이 필요할 것으로 사료된다.

본 논문에서는 한국전력공사의 2002년도 SOMAS 부하 데이터를 이용하여 부하특성계수를 재 산정하였다. 우리나라의 전체 배전 선로 중 부하 형태별 특성을 효과적으로 반영하는 65개의 선로를 선정하여 주택용, 산업용, 일반용, 농사용 등 수용가 형태별로 구분하고 부하형태와 계절에 따른 부하특성계수를 산정하였다. 본 논문에서 적용한 부하특성계수 산정기법은 호주에서 제안한 방법을 기초로 하였다. 계산결과를 살펴보면 부하 형태에 따라서는 0.15 이하의 다양한 값을 가지며, 계절별로는 0.06 이상 0.2 미만으로 산정되어 기존의 부하특성계수 0.32와는 상당한 차이를 나타내었다.

2. 본 론

2.1 부하특성계수 재 산정의 필요성

1985년 한국전력공사 배전처에서 발행한 배전 손실 관리지침에 따르면, 우리나라의 연도별 배전 손실률 발생 추이는 1975년 배전 손실률 5.21%에서 점차 감소하고 있는 추세이며, 배전 손실 요소별 구성비는 1984년을 기준으로 기기손실 38.7%, 고압선 손실 24.1%, 저압선 손실 18.4%, 도전 13.1%, 기타 계기손실 5.7%로 기술하고 있다 [3]. 배전 손실을 계산하기 위해 사용되는 부하특성계수는 일반적으로 0.1~0.3이 추천되며 이는 나라마다 다르게 적용되고 있다. 미국, 대만, 필리핀 등의 경우, 부하특성계수는 0.2로 설정하고 있으며, 우리나라에서는 1970년대 이전부터 0.32를 적용하고 있다. 부하특성계수는 부하의 특성을 반영하는 요소이므로 부하의 형태나 특성이 변화함에 따라 달라질 수 있다. 그러나 우리나라의 경우 1970년대 이래로 계통부하조건에 많은 변화가 있었음에도 불구하고 줄곧 일정한 부하특성계수 0.32를 적용하고 있다. 또한 여러 형태의 부하조건에 대해 동일한 부하특성계수를 적용하고 있으므로 실제 배전 손실을 계산할 때 오차의 원인으로 작용할 가능성이 있다 [4]. 따라서 현재의 부하 조건을 충분히 반영할 수 있는 적절한 부하특성계수의 재 산정이 필요하다. 또한 유사한 형태의 부하일 지라도 계절별로 사용패턴이 다르게 나타날 수 있으므로 그에 따른 부하특성계수도 살펴볼 필요가 있다.

2.2 부하특성계수

부하특성계수는 배전 손실 계산 시 부하의 특성을 반영하는 요소이다. 본 절에서는 이러한 부하특성계수를 정의하고, 부하율과 손실 부하율의 관계를 이용한 부하특성계수 산정 알고리즘에 관하여 기술하였다.

2.2.1 부하특성계수 k의 정의

배전 손실은 단순히 수용가의 에너지 수요 혹은 전력수요에 따른 전력공급 시 시스템에 전달되는 에너지나

전력량의 부족분으로 정의할 수 있고, 크게 물리적 손실과 비 물리적 손실로 나누어진다. 이 중 물리적인 손실은 시스템의 구성 및 시스템에서의 전류의 흐름과 관련한 손실로 저항과 전류의 제곱에 비례하는 직렬 저항 손실과 변압기의 철손 및 동손, 회전기기의 자화손실, 케이블내의 와전류에 의한 병렬손실로 구성된다. 한편 불법적인 접속, 계량기 오차, 청구 부족분, 세입 징수 등과 관련하여 발생하는 손실은 비 물리적인 손실로 구분할 수 있다.

현재 우리나라에서 적용하고 있는 배전손실 계산 기법은 호주 빅토리아와 동일한 형태로 배전손실계수를 이용하여 계통에서 발생하는 배전손실을 계산한다. 배전 손실 계수(DLF: Distribution Loss Factor)란 연간 판매량에 대한 공급량의 비로 정의된다. 그림 1과 같은 전력계통에서 전압 그룹별로 부송전선(a), 지역 변전소(b), 고압 배전선(c), 배전용 변압기(d), 저압 배전선(e) 등 크게 다섯 부분으로 구분하고 각각의 전압 카테고리에서의 연간 판매량에 근거하여 부하 손실이 아닌 판매 손실의 비를 이용하는 것으로 다음과 같이 배전 손실 계수를 계산 할 수 있다 [1][2].

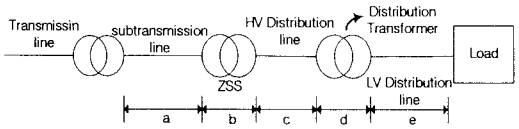

그림 1 전압 그룹별 카테고리

DLF = (calculated annual losses in the category) /(annual sales in category + annual sales downstream of category)

위의 배전손실 계산기법은 부하율(LF: Load Factor)과 손실부하율(LLF: Loss Load Factor)을 이용한다. 부하율이란 특정기간 동안의 최대부하(P_{max})와 평균부하(P_{ave})의 비율을 나타낸 것으로 식 (1)과 같이 정의한다. 그리고 손실부하율은 특정기간 동안의 최대손실(L_{max})과 평균손실(L_{ave})의 비율로, 식 (2)와 같이 나타낼 수 있으며 일반적으로 식 (3)과 같이 계산한다. 이때 k는 부하특성계수로서 0<k<1로 결정되는 상수이며, 손실부하율을 이용한 배전 손실계산 시에 부하의 형태나 분포 혹은 계절별 특성을 반영하는 요소가 된다.

$$LF = P_{ave}/P_{\max} \quad (1)$$

$$Llf = L_{ave}/L_{\max} \quad (2)$$

$$Llf = k \times (LF) + (1-k) \times (LF)^2 \quad (3)$$

2.2.2 부하특성계수 산정 알고리즘

부하특성계수는 부하율과 손실 부하율의 2차 함수로 표현되는데, 이들 사이의 관계는 그림 2와 같다. 그림2에서 보는 바와 같이 부하율이 일정한 경우 부하특성계수 k는 손실 부하율에 비례하고, 손실 부하율이 일정할 때에는 부하율에 반비례한다. 식 (3)을 이용하여 부하특성계수를 재 산정하기 위해서는 먼저 선로의 부하율과 손실 부하율의 계산이 우선되어야 한다. 손실 부하율은 식 (2)에서와 같이 최대손실과 평균손실의 비율이므로 최대전류(I_{max})와 평균전류(I_{ave})의 제곱에 관계됨을 알 수 있다. 최대손실 및 평균손실에 대한 최대전류와 평균전류의 관계는 다음과 같다.

$$L_{ave} = I_{ave}^2 \times R \quad (4)$$

$$L_{\max} = I_{\max}^2 \times R \quad (5)$$

식 (4)는 평균전류와 저항사이의 관계로 얻어진 결과이며, 최대 전류에 의한 최대 손실은 식 (5)와 같다. 이에 최대손실에 대한 평균손실의 비로 정의되는 손실 부하율은 식 (6)과 같이 표현 할 수 있다.

$$LLF = \frac{L_{ave}}{L_{\max}} = \frac{\sum I_{ave}^2/8760}{I_{\max}^2} \quad (6)$$

손실 부하율이 계산되면 식 (3)에 따른 부하율과 손실 부하율 및 부하특성계수 사이의 관계식인 식 (7)을 이용하여 k값을 산정할 수 있다.

$$k = \frac{LLF - LF^2}{LF - LF^2} \quad (7)$$

그림3은 지금까지 살펴본 부하특성계수 산정 알고리즘을 이용하여 실제 대상선로에 대한 부하특성계수를 산정하는 순서도이다. 그림에 나타난 SOMAS 부하 데이터는 한국전력공사에서 측정한 선로의 연간 부하사용량 데이터를 나타낸다.

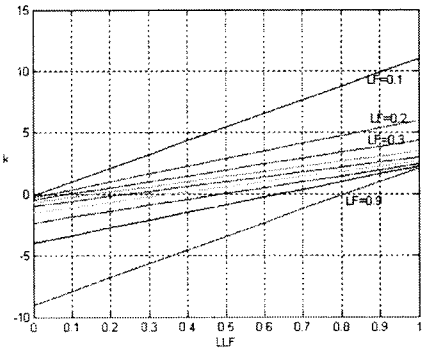

그림 2 부하율 및 손실 부하율 부하특성계수의 관계

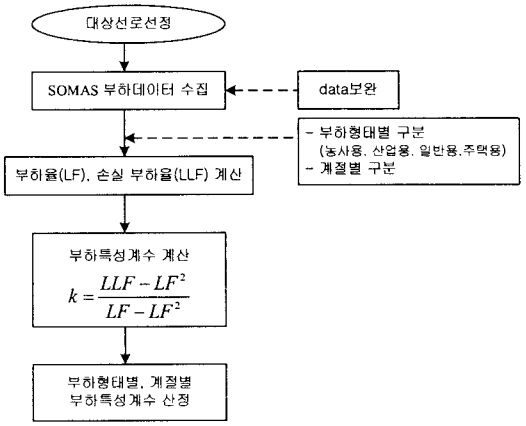

그림 3 부하특성계수 재 산정 순서도

2.3 부하특성계수의 재 산정

본 절에서는 전술한 부하특성계수 재 산정 알고리즘에 따라 수용가의 부하 형태 및 계절별 특성에 따른 부하특성계수 재 산정 결과를 기술하였다.

2.3.1 대상선로의 선정

수용가의 부하 형태와 계절별 특성을 반영하는 부하특성계수를 재 산정하기 위해 우선 실제 대상선로를 추출하여 부하율과 손실 부하율을 계산하였다. 대상선로는 우리나라의 모든 Distribution Line들 중 부하 형태별 특성을 충분히 반영하는 선로들을 추출하여 표 1과 같이 농사용 6개, 산업용 20개, 일반용 16개, 주택용 23개로 구성하였으며, 대상선로를 전국적으로 고르게 선정하여 대표성을 갖도록 하였다. 그리고 각 대상선로의 연간 부하 사용량은 8760시간 동안 선로의 부하 사용량을 측정한 한국전력공사의 2002년도 SOMAS DATA로부터 취득하였다. 각 선로의 연간 부하 사용량 중 일부 부족한 데이터는 평일과 휴일로 나누어 각각 부하 예측에서 이용되는 방법을 적용함으로써 최대한 실제 부하 데이터와 유사하도록 보완하였다. 이러한 방법으로 선정된 대상선로는 2.2.2절의 부하특성계수 산정 알고리즘에 따라 농사용, 산업용, 일반용, 주택용 등 부하 형태별로 구분하여 부하율과 손실 부하율에 따른 부하특성계수를 계산하고, 이를 다시 계절별로 구분하여 동일한 방법으로 부하특성계수를 계산하여 보았다.

표 1 선정된 대상선로

구분	선로명
농사용	(강원) 동면 (경남) 단목, 나동 (부산) 신용 (전남) 금일 (전북) 고창
산업용	(강원) 연화, 공단, 태농 (북부) 마석, 봉양 (충북) 청내 (전북) 삼공, 한농, 팔복#3 (충남) 농공, 소동 (전남) 두산, 전자 (부산) 농동(언양), 둥억, 반천 (경남) 죽전, 차용, 평산 (제주) 목장
일반용	(서울) 역전, 화경 (북부) 수일 (강원) 낙원, 동부, 남문, 성남 (충북) 남문, 상당 (전북) 다가, 코아 (충남) 주공 (부산) 이동 (경남) 용호 (제주) 제원, 현대
주택용	(서울) 모연, 그린 (경기) 광일, 도덕 (강원) 온의, 칠전, 퇴계 (강릉) 성덕, 임영, 죽헌 (충북) 명암, 수곡 (전북) 평화, 약촌, 우성 (전남) 고가, 한려 (부산) 만덕, 만주, 양천 (경남) 토월 (제주) 장전, 조천

2.3.2 부하형태를 고려한 부하특성계수 계산

먼저 각 대상선로의 부하율과 손실 부하율을 살펴보면 농사용의 경우 부하율은 0.25~0.49, 손실 부하율은 0.09~0.35 범위 내에 존재하였다. 그리고 이때의 부하특성계수는 0.02~0.13으로 산정되었다. 동일한 방법으로 산업용, 일반용, 주택용 등 총 65개 대상선로에 대한 부하특성계수 산정 결과는 표 2와 같다. 그림 2에서 설명했던 바와 같이 k는 LF가 일정한 경우 LLF에 비례하고, 일정한 LLF에서는 LF에 반비례한다. 하지만 실제 k값 계산 시에는 LF와 LLF 모두가 변동하게 되는 상황이므로, 그 결과도 그림 2와는 다르게 나타난다. 즉 LF와 LLF는 항상 서로 비례하지만, k값은 LF와 LLF 두 요소의 변화에 따라 증가할 수도 혹은 감소 할 수도 있게 되는 것이다. 실제로 표 2의 계산결과에서도 주택용 LLF가 농사용보다 크지만 k값은 더 작게 나타난 것을 볼 수 있다.

표 2는 65개 대상선로에 관한 각각의 부하특성계수를 계산한 것이다. 현재 우리나라의 모든 선로에 적용하고 있는 부하특성계수 0.32를 대신할 새로운 부하특성계수를 제안하기 위하여 계산된 65개 선로의 정규분포 평균값을 사용하여 대표 값으로 결정하였다. 일반적으로 데이터의 대표 값을 결정하는 방법은 평균값, 중앙값, 최빈값, 정규분포 평균값 등을 들 수 있는데 본 연구에서는 데이터에 대한 대표성을 효과적으로 표현할 수 있는 정규분포 평균을 사용하였다. 이 방법은 평균값(m)을 기준으로 표준편차(b)만큼의 ±오차를 갖는 범위내의 값들의 평균을 취하는 방법이다. 일반적으로는 m±b, m±2b, m±3b를 사용하는데 본 논문에서는 평균값을 기준으로 68.3% 이내의 data만을 포함하는 m±b 방식을 취하였다. 표2에 나타낸 계산결과의 대표 값은 그림 4와 같다.

표 2 부하형태별 부하특성계수 계산결과

구분	범위		
	LF	LLF	k
농사용	0.25~0.49	0.09~0.35	0.02~0.13
산업용	0.36~0.82	0.16~0.69	0.02~0.26
일반용	0.34~0.53	0.14~0.32	0.05~0.14
주택용	0.29~0.66	0.1~0.44	0.05~0.09

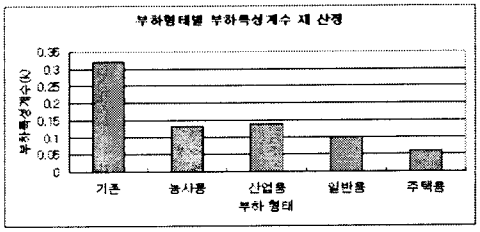

그림 4 부하형태별 부하특성계수 재 산정

2.3.3 계절별 부하특성계수 계산

부하형태별 부하특성계수의 계산과 마찬가지로 계절별 부하특성계수도 부하형태별 대상선로를 봄, 여름, 가을 겨울 등 4계절로 구분하여 각각의 계절별 부하특성계수를 계산하였으며, 결과는 표 3에 나타내었다. 계산 시 1년 중 3~5월은 봄, 6~8월은 여름, 9~11월은 가을 마지막으로 12~2월은 겨울로 구분한 후 앞 절의 부하형태별 부하특성계수 계산방법과 마찬가지로 각 계절별 부하율과 손실 부하율을 구하여 계절별 부하특성계수를 계산하였고, 정규분포 평균을 이용한 대표 값을 그림 5에 나타내었다.

2.3.4 부하 형태 및 계절별 부하특성계수의 평가

부하 형태별, 계절별 특성을 반영하는 부하특성계수의 계산 결과는 0.06~0.17로 기존에 사용해오던 0.32에 비해 상당히 작은 값임을 알 수 있다. 이렇듯 부하특성계수 k가 작게 나타난 첫 번째 원인으로는 부하특성계수 k는 부하율과 손실 부하율에 의해 그 값이 결정되는데, 줄곧 0.32를 사용해오던 1970년대 이후로 전력 소비량의 많은 변화가 발생함에 따른 부하 패턴의 변동에 의한 것으로 볼 수 있다. 즉 부하 패턴의 변동은 최대부하와 평균부하 비율의 변화를 가져오게 되고 결과적으로

부하율의 변동이 발생한다. 이러한 부하율의 변동은 손실 부하율을 변화시켜 결국 부하특성계수 k가 변화하게 되는 것이다.
두 번째는 취득한 데이터의 처리과정에서 발생할 수 있는 오차의 영향이다. 실제로 2002년 SOMAS 데이터는 8760시간 중 상당부분이 측정되지 않은 선로들이 많았고, 부족한 데이터 보완을 위해 부하예측과 부하의 규준화를 수행하는 과정에서 오차가 발생했을 가능성이 있을 것으로 판단된다.

표 3 계절별 부하특성계수 산정결과

구분	계절	범위		
		LF	LLF	k
농사용	봄	0.34~0.66	0.14~0.36	0.6~0.56
	여름	0.38~0.7	0.15~0.5	0.01~0.17
	가을	0.29~0.73	0.1~0.54	0.02~0.17
	겨울	0.5~0.63	0.21~0.42	0.02~0.19
산업용	봄	0.33~0.84	0.13~0.7	0.03~0.27
	여름	0.36~0.84	0.16~0.71	0.03~0.29
	가을	0.39~0.84	0.19~0.71	0.03~0.29
	겨울	0.38~0.87	0.18~0.77	0.03~0.26
일반용	봄	0.34~0.64	0.13~0.42	0.05~0.2
	여름	0.36~0.6	0.17~0.38	0.07~0.27
	가을	0.37~0.6	0.16~0.38	0.05~0.17
	겨울	0.42~0.65	0.2~0.45	0.05~0.13
주택용	봄	0.32~0.71	0.17~0.51	0.03~0.11
	여름	0.32~0.69	0.11~0.47	0.01~0.1
	가을	0.32~0.71	0.13~0.52	0.04~0.12
	겨울	0.37~0.73	0.16~0.55	0.05~0.15

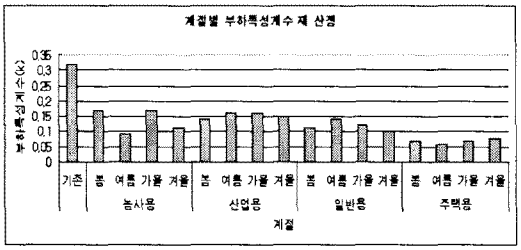

그림 5 계절별 부하특성계수 재 산정

3. 결 론

본 논문에서는 한국전력공사의 2002년도 SOMAS 부하 데이터를 이용하여 수용가의 특성을 고려한 부하특성계수를 재 산정하였다. 우리나라의 전체 배전 선로 중 부하 형태별 특성을 효과적으로 반영하는 65개의 선로를 선정하여 주택용, 산업용, 일반용, 농사용 등 수용가 형태별로 구분하고 각각의 부하 형태와 계절에 따른 부하특성계수를 산정하여 좀 더 정확하고 타당한 배전손실 계산을 모색하였다. 본 논문에서 적용한 부하특성계수 산정기법은 호주에서 제안한 방법을 기초로 하였으며, 계산결과 부하 형태에 따라서는 0.15 이하의 다양한 값을 가졌으며 계절별로는 0.06 이상 0.2 미만으로 산정되어 기존의 0.32와는 상당한 차이를 나타내었다.
향후, 본 논문에서 재 산정한 부하특성계수의 타당성을 검증하고 우리나라의 실정에 맞는 부하특성계수를 제안하기 위하여, 계산된 부하특성계수를 적용시킨 배전손실 계산의 결과치와 배전선 조류 계산을 통한 실제 배전계통에서의 손실값을 비교, 검토할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사 본사의 손실정수의 재 산정에 의한 손실관리 최적방안에 관한 연구를 통해 이루어 졌으며 이에 감사를 드립니다.

[참 고 문 헌]

[1] The Office of the Regulator-General Victoria, Australia, "Report on Distribution System Losses", Feb 2000
[2] The Office of the Regulator-General Victoria, Australia, "Review of Distribution Loss Factors", 1997
[3] 한국전력공사, "배전손실 관리지침", 1985
[4] 한국전력공사, "직거래/배전분할 대비 배전/판매부문 요금전략 연구", 2003