

## 배전용 변압기 부하사용 패턴분류

\*윤상윤, 김재철, 이영석  
 숭실대학교 전기공학과

### Pattern Classification of Load Demand for Distribution Transformer

Yun Sang-Yun, Kim Jae-Chul, Lee Young-Suk  
 Department of Electrical Engineering, Soongsil University

**Abstract** - This paper presents the result of pattern classification of load demand for distribution transformer in domestic. The field data of load demand is measured using the load acquisition device and the measurement data is used for the database system for load management of distribution transformer. For the pattern classification, the load data and the customer information data are also used. The K-MEAN method is used for the pattern classification algorithm. The result of pattern classification is used for the 2-step format of load demand curve.

#### 1. 서 론

산업발달에 따른 전력수요 급증과 대도시의 전력사용 집중현상 및 수용가 전력설비의 대응량화 추세는 점차 전력공급의 여건을 한층 악화시키는 반면, 국민 생활수준의 향상과 고도 정밀산업의 급격한 성장은 전력공급의 질적 향상에 대한 사회적 요구를 더욱 크게 하고 있다. 배전계통의 최 말단의 전력설비인 배전용 변압기는 수용가에 직접 전력을 공급하는 매개체이며 그 이상발생에 의한 전력공급의 중단은 전력회사의 공급 신뢰도 및 전력품질의 심각한 저하를 초래한다.

배전용 변압기의 관리에 관해서는 국내외 적으로 지속적으로 연구되어왔다(1). 국내의 배전용 변압기 부하 관리는 약 130만 여대에 달하는 막대한 수량 때문에 개별적 부하관리 방식은 적용이 어려운 실정이며 이것이 또한 배전용 변압기 부하관리에 있어서 많은 오차를 유발하는 부분이기도하다. 국외의 경우 Jardini(2) 등은 배전용 변압기 부하관리 방식을 수명손실 예측을 통한 잔존수명을 계산하는 것으로 대체하는 방식을 제안하였으며 수용가 단위의 부하 사용 패턴을 분류한 결과를 제시하였다.

본 논문의 목적은 수용가 부하 사용 패턴과는 무관하게 전체적으로 몇 가지의 기준으로 변압기 및 수용가를 구분하여 일관적인 방식을 적용하는 현재의 부하관리 방안을 개선하는 것으로 하였다. 이를 위해 본 논문에서는 변압기 단위의 부하 사용 패턴을 구분한 결과를 제시하였다. 이를 위해, 1997년부터 1998년까지 서울지역 배전용 변압기에 부하 데이터 측정 장치를 통해 취득된 배전용 변압기의 부하 사용 데이터와 한국전력공사의 수용가 내역 데이터를 사용하였다. 부하관리용 데이터베이스를 이용하여 계절별 1주일간의 24시간별 부하 곡선을 추출하였으며 총 212개의 주중 평균 부하 곡선을 패턴 분류에 사용하였다. 패턴분류 알고리즘은 가장 기본적인 패턴분류 알고리즘의 하나인 K-평균 방법을 이용하였으며 다양한 파라미터에 대해 시뮬레이션 하였다. 분류된 부하곡선 패턴은 수용가 내역 데이터를 이용하여 곡선 자체의 특성 및 구성 수용가의 구성 특성 등을 추출하는데 이용되었다.

#### 2. 국내 배전용 변압기 부하관리 현황

국내 배전용 변압기 1대의 변압기 이용율을 추정하는 방식의 그림 1과 같이 수행된다. 배전용 변압기의 수용가는 전등과 동력용 수용가가 공존하는 경우가 대부분이며 원하는 주상변압기 1대의 전체 이용율은 전등 및 동력수용가에 대해 각각 구해진다. 전등 수용가의 경우 부하상관계수를 이용하여 부하를 추정하며 동력수용가의 경우는 호당수용율을 이용하여 부하를 추정하게 된다. 부하 추정을 위해 현재, 1년전 및 2년전의 주상변압기 최대부하를 이용한다.

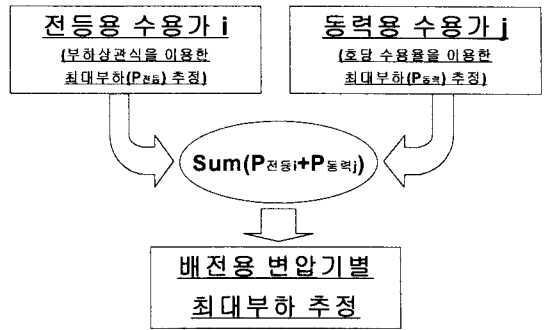


그림 1. 배전용 변압기 이용율 산정

이렇게 추정된 특정 연도의 하계 및 동계 변압기 이용율을 기준으로 변압기의 과부하 여부를 판정하며 최종적으로 변압기의 교체, 증설 및 부하 절체등을 결정하게 된다. 표 1에는 변압기 과부하 판정을 위한 현행 기준을 나타내었다.

표 1. 배전용 변압기 과부하 판정의 현행 기준

결선 방식	과부하 판정기준(%)
단상 2선식 220V	130
단상 3선식 220/110V	110
삼상 3선식 200V(Δ)	130
삼상 4선식 220/110V	공용 : 110 전용 : 130
삼상 4선식 220/380V	공용 : 130 전용 : 100
삼상 4선식 220/380V	110(동일용량 변대)

일반적으로 변압기의 과부하 여부는 변압기 내부의 허용온도를 기준하여 결정하고 있다. 국내의 경우, 외기와 직접 절연유가 접촉할 경우(주상변압기와 같은 경우) 절연유 최상부 온도의 상승 제한치를 정격부하(100% 부하)에 대해 50℃로 규정하고 있다. 이것은 A종 절연물의 최고 허용 온도인 105℃를 기준으로 한 것이다. 이

최고 허용 온도는 변압기의 최고 온점 온도(hottest spot temperature)를 기준으로 하며 주변온도는 가장 최악의 경우인 40℃를 가정하고 정격부하에서 최상부 유온과 권선 평균온도와의 편차를 약 10℃로 가정하며 권선의 평균온도와 최고 온점 온도와의 편차를 역시 5℃정도로 가정하여 최상부 유온의 온도상승치를 50℃로 결정한 것이다.

많은 변압기 수명 손실 기준들(3,4)에 의하면 변압기 내부의 온도 상승은 그 크기뿐만 아니라 그 지속시간에 의해 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 따라서 표 1과 같이 부하의 크기만으로 변압기의 과부하 여부를 판정하는 것은 모순이 있다 할 수 있다.

### 3. 배전용 변압기 부하 곡선

배전용 변압기 부하관리를 개선하기 위해 1997년에서 1998년까지 한국전력공사와 숭실대학교는 그림 2에 도시한 지역의 배전용 변압기에 부하 측정장치를 취부하여 실부하 데이터를 취득하였다. 총 6개 지역에 모두 144대의 부하취득장치를 설치하였으며 동일한 시기에 측정을 시작하였고 일부지역을 제외하고는 거의 동일한 시점에 부하 취득을 중단하였다.

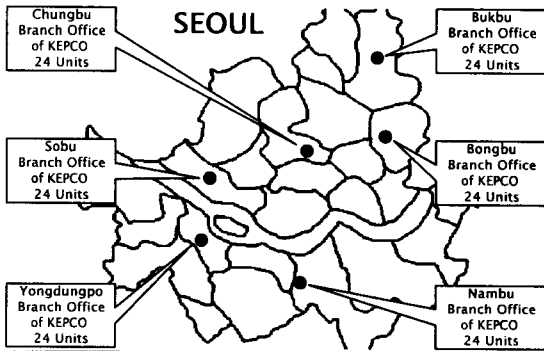


그림 2. 부하 데이터 취득 장치 설치 위치

취득된 데이터는 변압기의 부하 사용 상태에 관련된 데이터(예를 들어, 전류, 전압, 역률, 사용전력량 및 변압기 내외기 온도 등)이며 이미 한국전력공사에 구축되어 있는 수용가 정보 데이터(각 수용가의 월간 사용전력량, 계약전력 및 수용가 종류 등)와 연계하여 배전용 변압기 부하 관리를 위한 데이터베이스 시스템을 구축하였다. 그림 3은 이러한 데이터베이스 시스템의 구축과정에 대해 설명하였다.

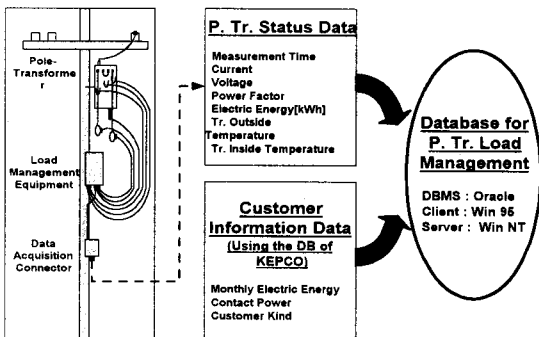
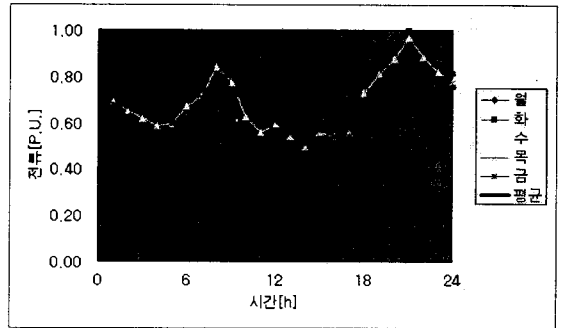


그림 3. 부하관리용 데이터베이스 구축 과정

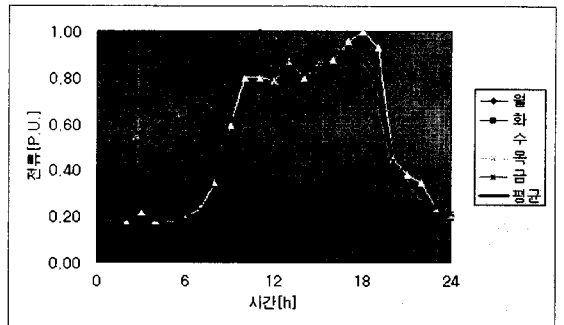
데이터 취득은 노트북 컴퓨터 및 통신망을 이용해 행해졌으며 데이터베이스 관리 시스템으로는 대표적인 상용 데이터베이스 관리 시스템인 Oracle(for Windows

을 이용하였다.

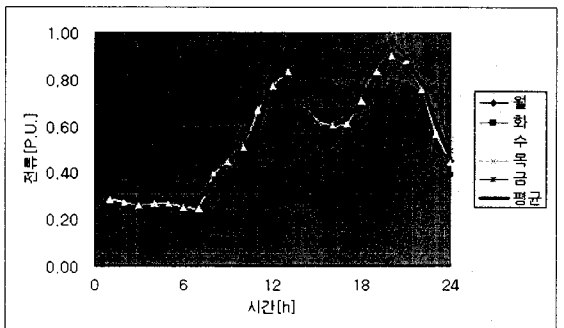
취득된 데이터의 형태 중 대표적인 배전용 변압기 부하 형태 6가지를 그림 4(a)에서 4(f)까지에 도시하였다. 물론 여기에 도시한 형태들이 앞서 언급한 144대 변압기에서 취득된 전체를 모두 대표할 수 있는 것은 아니며 다만 다수의 형태를 대표하는 것이라 할 수 있다.



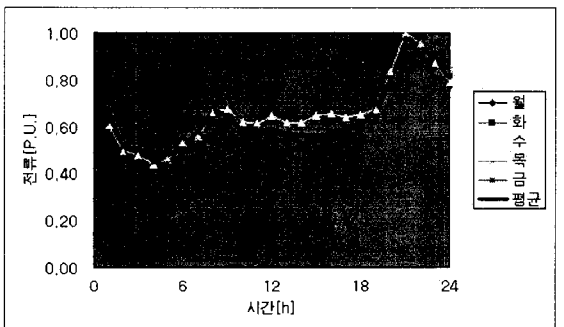
(a) 대표적인 주택 부하



(b) 대표적인 사무실 형태의 부하

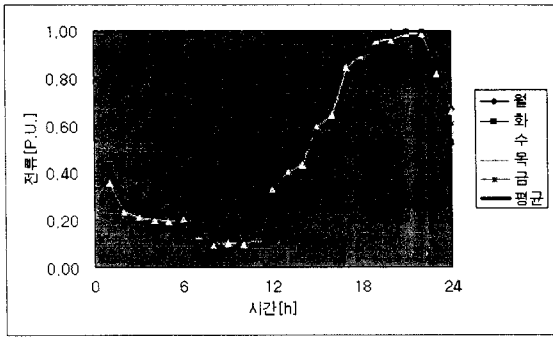


(c) 대표적인 상업 형태의 부하

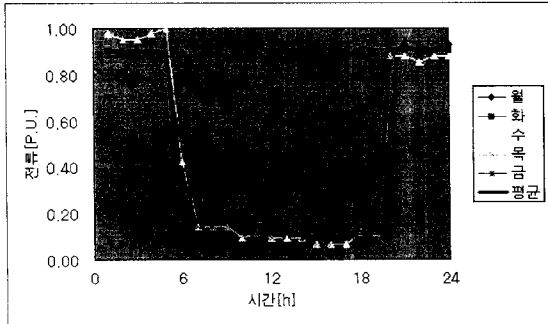


(d) 대표적인 주상 복합 형태의 부하

그림 4. 대표적인 배전용 변압기 부하 형태(계속)



(e) 대표적인 상업 형태의 부하



(f) 대표적인 상업 형태의 부하

그림 4. 대표적인 배전용 변압기 부하 형태

그림 4에서는 각 대표적인 형태의 부하 곡선은 각 변압기에 속하는 수용가의 구성에 의해 결정될 수 있다는 것을 알 수 있었다. 본 논문에서는 우선 곡선의 형태로서의 군집을 형성한 후에 각 군집의 수용가 구성상의 특성을 알아보려한다.

#### 4. 부하 사용 패턴의 구분

본 논문에서 부하사용 패턴의 구분기준으로 삼은 것은 일부하 곡선을 기준으로 하였다. 각 일부하 곡선은 1일 24개의 시간당 부하값이 존재하며 이를 이용하여 부하 곡선의 형태별 군집을 형성하고자 했다. 이를 위해 본 논문에서는 패턴 분류 기법 중 가장 기본적이며 널리 사용되는 K-평균 알고리즘을 이용하였으며 알고리즘의 연산순서는 다음과 같다.

단계 1) K개의 초기군집 중심  $Z_1(1), Z_2(1), \dots, Z_K(1)$ 을 선택한다. 본 논문에서는 주어진 표본집단의 처음 K개 표본을 임의로 선택하였다.

단계 2) k번째 반복 단계에서  $i=1, 2, \dots, K, i \neq j$ 에 대하여, 식 (1)의 관계를 이용하여 표본  $\{x\}$ 를 K개의 군집 영역에 분배한다. 식 (1)에서  $S_j(k)$ 는 군집 중심이  $z_j(k)$ 인 표본 집단을 의미한다.

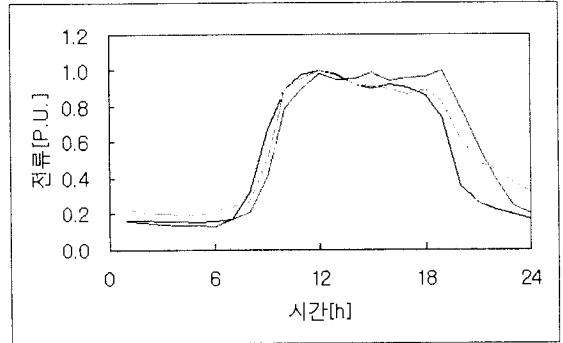
$$\|x - Z_j(k)\| < \|x - Z_i(k)\| \text{ 이면 } x \in S_j(k) \quad (1)$$

단계 3)  $S_j(k)$ 에 속하는 모든 점들로부터 군집 중심까지의 거리의 제곱의 합을 최소화 하는 새로운 군집 중심을 생성한다. 이것은 식 (2)에 따른다. 식 (2)의  $N_j$ 는  $S_j(k)$ 에 속한 표본의 갯수이다.

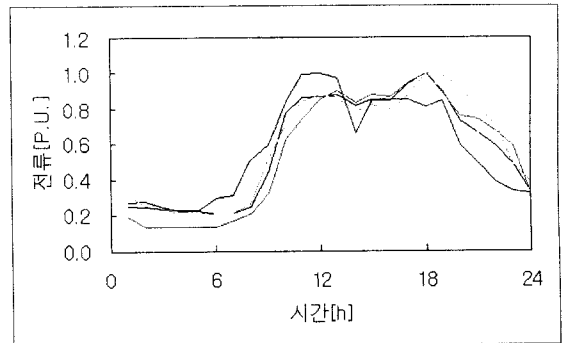
$$z_j(k+1) = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in S_j(k)} x, j=1, 2, \dots, K \quad (2)$$

단계 4) 모든 군집중심이 이전의 군집중심에 비해 변화하지 않으면 알고리즘은 종료하며, 그렇지 않으면 단계 2로 간다.

취득된 부하데이터를 이용하여 패턴을 구분한 일 예를 그림 5에 도시하였다. 이 경우 총 70 경우에 대해 실험하였으며 그 중 두 가지의 군집을 그림 5에 도시하였다. 전반적으로 유사한 패턴끼리의 군집이 형성됨을 볼 수 있었으나 K-평균 알고리즘의 특성상 초기 군집의 설정에 따라 많은 변화가 일어남을 알 수 있었고 이는 향후에 계속 연구를 진행하려 한다.



(a) 패턴 분류의 결과1(그림 4(b)의 경우)



(a) 패턴 분류의 결과2(그림 4(c)의 경우)

그림 5. K-평균 알고리즘을 이용한 패턴 분류 예

#### 3. 결 론

본 논문에서는 배전용 변압기 부하관리 방안의 개선에 위해 부하 사용 패턴을 구분하기 위한 연구 결과를 제시 하였다. K-평균 알고리즘을 이용하여 변압기 부하 사용 패턴을 분류해본 결과, 대체적으로 훌륭히 군집을 형성 하였으나 초기치 및 개체 모집단의 구성에 따라 변화가 있음을 알 수 있었다. 또한, 이러한 군집의 형성은 변압기 내부의 수용가 구성에 따라 결정됨을 알 수 있었다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 전력연구원, 주상변압기 부하관리 개선에 관한 연구, 한국전력공사, 1999년 2월.
- [2] J. A. Jardini et al. "Distribution Transformer Loading Evaluation Based on Load Profiles Measurements," IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 12, No. 4, pp.1766-1770, 1997. 10.
- [3] IEC Std. 354(1971), Loading Guide for Oil-Immersed Power Transformers.
- [4] IEEE Std. C57.91-1981, IEEE guide for loading mineral-oil-immersed overhead and pad-mounted distribution transformers rated 500 kVA and less with 65°C or 55°C average winding rise.