

퍼지 모델을 이용한 주상 변압기 수용가 특성 구분

김기현*, 임진순, 윤상윤, 오정환, 김재철

Classification Customer characteristic of Pole-Transformer using Fuzzy Model

Kim Gi-Hyun*, Im Jin-Soon, Yun Sang-Yun, Oh Jung Hwan, Kim Jae-chul
Soongsil. University

주택용 저압 마스터의 월 별 사용전력량을 사용하였다.

2. 본 론

2.1 주상 변압기의 전력사용 패턴

현재 국내의 주상 변압기는 전국에 약 110 만대에 이르고 있다. 그 변압기는 지역별, 용량별 및, 사회 현상에 따라 변압기에 사용되어지는 전력 사용량이 크게 다르게 나타난다. 산업 규모가 적고 전기 기기의 사용이 많지 않던 과거에는 수용가의 부하 변화가 연간 거의 일정하였지만, 사회 환경이 도시화되고 전기 기기 보급이 급속도로 증가됨에 따라 변압기에 전력을 공급받고 있는 각 수용가의 부하 사용 패턴이 다양하게 변화하고 있다. 그 대표적인 예로서 에어컨 출하량은 90~91 년도 폭발적인 증가 이후 95~96년은 폭염 영향과 국민생활 수준의 향상으로 에어컨 수요가 계속적으로 급증하였다. 98년도는 IMF의 경제침체 영향과 이상 저온 현상으로 약간 감소하였지만, 이후 계속 증가하고 있는 현실이다[9]. 냉방기기의 보급은 하절기 수용가의 전력사용 패턴에 큰 변화를 주고, 또한 변압기 최대 부하전류에 큰 영향을 주게 되어, 하절기 과부하로 인한 변압기 소손 사고를 일으키고 있다.

주상 변압기의 전력 사용 특성은 크게 두 부류로 분석할 수 있다. 하나는 연간 사용전력량의 변화가 거의 없이 일정한 사용전력량을 유지하는 변압기이며, 다른 하나는 하절기에 사용전력량이 크게 증가하는 특성을 가진 변압기이다[7].

표 1은 주상 변압기의 4월, 8월 사이 사용 전력량의 변화에 따른 최대 부하전류 증감을 나타내주고 있다. 표 1의 데이터는 97년도에서 98년도까지 주상 변압기에 부하관리를 설치하여, 변압기 사용전력량과 최대부하전류의 변화를 온라인으로 취득[7]한 데이터를 가지고 작성하였다. 표 1을 통하여 사용전력량이 큰 변압기일수록 최대 부하전류도 큰 값을 가진다는 것과, 또한 하절기에 사용전력량이 4월에 비하여 크게 증가하는 변압기와 그렇지 않은 변압기에 따라 부하 전류 증가 값에 큰 차이를 보여 줄 수 있다.

표 1. 변압기의 사용전력량 변화에 따른 최대 부하전류

변압기 No.	용 량 [KVA]	4 월		8 월	
		사용 전력량	최대 전류	사용 전력량	최대 전류
163	100	30301	464	32152	763
99	75	14679	305	16961	399
168	100	11036	353	11256	360
100	50	10062	238	11317	264

Abstract - In this paper, we analyze customers' working electric energy (kWh) which is served pole-transformer in order to reduce peak load current error which is generated in application load correlation equation. The characteristic of electric load which customers are using is classified by customer's working electric energy (kWh) and ratio of cooling equipment possession. For the input data of fuzzy model, we used to kWh on April which represents basic load and kWh which is increased from April to August. The April kWh is used to classify into large, medium, small customer. Also, the increased kWh is used to know information of cooling equipment possession. For the output value of fuzzy model, we can determined peak load current limit in application load correlation equation.

1. 서 론

새로운 기술과 문명의 발달로 사회 환경이 산업화, 정보화 사회로 이행됨에 따라 산업의 규모가 커지고 일반 전력 수용가에서도 냉, 난방 기기 등과 같은 전기 기기의 사용이 급증하고 있다. 이에 따라 주상변압기로부터 전력을 공급받고 있는 각 수용가 마다 전력사용 패턴이 크게 다르게 나타나고 있다. 특히 냉방 기기의 보급은 하절기에 있어 수용가 전력사용 패턴에 큰 영향을 주게 되었다. 수용가의 전력사용 패턴이 비교적 평이하던 때에 주상변압기의 부하 관리는 각 수용가의 월별 사용 전력량을 집계하여 최대 부하를 구하여 관리할 수 있었다[1,9]. 그러나 근래에 들어와서 전력사용 패턴이 다양하게 변화하므로 수용가의 월별 사용전력량 만을 가지고 최대부하를 추정하기에는 각 변압기별로 큰 오차를 가지게 되었다.

본 논문은 부하 상관관계 적용 시 발생하는 최대부하의 오차를 줄이기 위한 방안으로, 변압기로부터 전력을 공급받고 있는 수용가의 부하 특성을 구분하였다. 수용가 부하 특성 구분은 사용전력량 크기와 냉방기구 보유 정도 따라 분류하였다. 퍼지 모델을 이용하여 수용가들의 부하 특성 멤버쉽 함수들 부유층(대형), 중산층(중형), 저소득층(소형)으로 구분하고 그의 소속 정도를 각 수용가의 4월 한달 사용전력량 값을 입력 값으로 하여 계산하였다. 또한 각 수용가 구분에 따라 냉방 기기 보급 현황 정도를 알기 위하여 4월 사용전력량에서 8월 사용전력량 사이의 증가된 전력량 값을 사용하여 수용가 종류별 소속 정도를 산출하였다. 퍼지 모델에 사용된 데이터로는 98년 주택용 주상 변압기에 설치된 부하관기로부터 취득된 데이터와 한국전력에서 구축된 97, 98 년도

그림 1은 주택가에 설치된 주상변압기 중에 100[kVA] 용량을 가진 주상변압기의 수용가에서 기본 부하만을 사용하는 봄철(4월)과 냉방 기기를 사용하는 여름철(8월)의 일 부하곡선을 비교한 것이다. 오전 2~9시까지는 거의 같은 기본 부하전류를 가지지만, 오후에 들어서는 부하 전류 값이 크게 차이를 보이고 있다. 이 두 전류 값 사이의 차가 클수록 이 변압기에는 많은 수용가가 냉방 기기를 보유하고 있을 것이라는 추정을 할 수 있다[1,9].

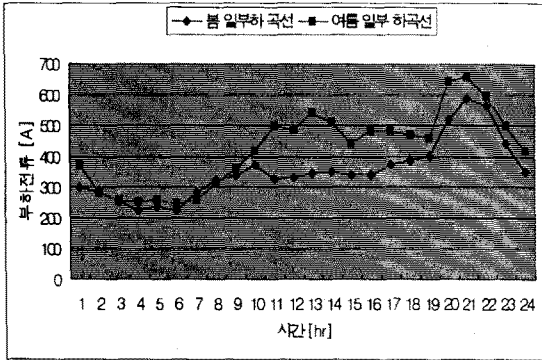


그림 1. 표본 주상 변압기의 봄, 여름 일부하 곡선

2.2 부하관리를 위한 최대 부하전류

현재 국내에서 사용하는 변압기 최대 부하예측 방법은 사용전력량을 부하 상관식에 적용하여 최대전류를 추정 한 후 과거 2년의 데이터로 부하 증가를 계산하여, 추정 된 값에 부하 증가율을 곱하여 최대부하를 예측하는 기 법을 사용하고 있다[7,9].

그림 2는 주상 변압기 사용전력량에 따른 최대 부하전 류의 상관관계를 나타낸 부하 상관함수 그림이다. 변압 기의 한달 사용전력량이 X_1, X_2, X_3 [kWh] 인 경우 최 대 부하전류는 각각 상관식에 의하여 하나의 최대 부하 전류 값이 나오게 된다. 그러나 실질적으로 변압기에 특 성에 따라 다른 최대 부하전류 값을 가질 수가 있게 된 다. 그 값이 크게는 100~200[A]의 오차 범위를 값을 가 진다.

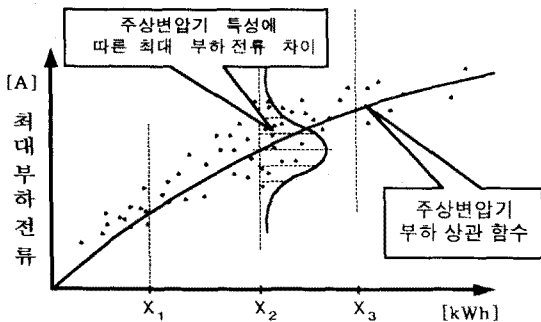


그림 2. 주상 변압기의 부하 상관함수

3 수용가 부하특성 구분을 위한 퍼지 모델

본 논문에서는 이런 문제점을 보완하기 위하여 주상변 압기에 전력을 공급받고 있는 수용가의 사용전력량과, 냉방기구 보급 정도에 따라 차등화된 최대 부하전류를

산출하였다. 퍼지 모델을 이용하는 것은 수용가의 사용 전력량에 따른 대, 중, 소형을 정확하게 구분하기 어렵기 에 멤버십 값을 다르게 주어 분류하였다. 또한 냉방 기 기 보유 정도를 정확히 구분하기 위하여는 각 수용가 마 다 방문 조사가 필요하지만, 이것은 실질적으로 불가능 하므로 퍼지 모델을 구성하여 냉방 기기 보유 정도를 나 타내었다. 또한 다음 두 가지 규칙을 가지고 각 수용가 부하 특성을 구분하였다.

- 규칙 I : 사용전력량이 크고, 냉방 기기 보유 정도가 크 면, 최대 부하 전류는 증가한다.
- 규칙 II : 사용전력량이 적고, 냉방 기기 보유 정도가 적으 면, 최대 부하 전류는 감소한다.

여기서 기준이 되는 최대부하 전류는 그림 2에서처럼 부하 상관함수를 기준 최대 부하전류 값으로 설정하였 다.

그림 3은 퍼지 모델 구성을 나타내었다. 수용가 사용 전력량 크기에 따라 대, 중, 소의 각각 소속정도를 나타 내기 위하여 사다리꼴 (trapezoidal function) 함수를 사 용하였다. 또한 각 수용가의 냉방기기 보유 정도를 나타 내기 위하여 시그모이드(s-shaped curve function) 함수 [4,5]를 사용하여 나타내었다.

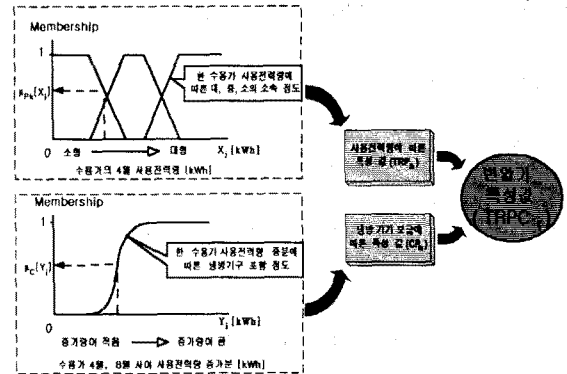


그림 3. 퍼지 모델

변압기의 수용가 부하 특성을 구분하기 위하여 사용 전력량과 냉방부하 보유 정도를 따라 변압기 패턴 분류 특성 값을 식 (1) ~ (3)을 이용하여 산출하였다. 식 (1) 은 한 변압기에 속한 수용가들의 수용가 종류별 퍼지 집 합에 대한 멤버십 값의 평균값을 구하기 위한 식이다. 변압기마다 수용가 총 호수가 다르기에 멤버십 값의 평 균값을 사용하였다. 또한 한 변압기 전체 수용가에서 수 용가 종류별로 각각 몇 [%]를 차지하는지 알 수가 있다.

$$TRP_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^N \mu_{P_k}[X_j]}{N} \quad (1)$$

여기서,

P_K : 수용가 종류별 퍼지 집합

X_j : i 변압기 j 수용가의 4월 사용전력량 [kWh]

K : 수용가 종류($K=1$ (대형), $K=2$ (중형), $K=3$ (소형))

N : i 변압기의 수용가 총 호수

TRP_{ik} : i 변압기에서 속하는 수용가들의 수용가 종류 별 퍼지 집합에 대한 멤버십 값의 평균

$\mu_{P_k}[X_j]$: i 변압기 j 수용가의 4월 사용전력량 (X_j)이 수용가 종류별 퍼지 집합 (P_K)에 소속될 멤버십 값.

하절기 냉방기기 보급이 변압기 전체 사용전력 패턴에 큰 영향을 주기에 각 수용가에 냉방 기기가 어느 정도 보급되어 있는지 알아보기 위하여 식 (2)을 사용하였다. 식 (2)는 수용가 종류별 냉방 기기 보유 정도를 나타낸 멤버십 값의 평균값이다.

$$CP_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^{n_k} \mu_C[Y_j]}{n_k} \quad (2)$$

여기서,

n_k : i 변압기의 수용가 종류별 $\mu_{P_k}[X_i]$ 값이 0 인 수용가를 제외한 수용가의 호수

Y_j : i 변압기 j 수용가의 4월과 8월 사이의 사용전력량 증가분 [kWh]

CP_{ik} : i 변압기의 수용가 종류별 냉방기기 보유 정도 멤버십 값의 평균

$\mu_C[Y_j]$: i 변압기 j 수용가의 증가분 (Y_j)의 냉방 기기 보유 정도의 퍼지 집합 C에 소속될 멤버십 값

변압기 수용가 종류별, 냉방 기기 보유 정도를 고려하여 변압기 패턴 분류를 위한 특성 값을 식 (3)을 이용하여 산출하였다.

$$TRPC_i = \sum_{k=1}^3 (TRP_{ik} \times CP_{ik} \times \alpha_k) \quad (3)$$

여기서,

$TRPC_i$: i 변압기의 사용전력량과 냉방부하 보급 정도를 고려한 변압기 특성 값

α_k : 대, 중, 소형에 따른 가중치

TRP_{ik} : i 변압기에서 속하는 수용가들의 수용가 종류별 퍼지 집합에 대한 멤버십 값의 평균

CP_{ik} : i 변압기의 수용가 종류별 냉방기기 보유 정도 멤버십 값의 평균

4. 사례 연구 결과

식 (4), (5)를 이용하여 [11,12] 주택가 부하 상관함수를 정규분포의 평균으로 정의하여 사용 전력량 구간별로 표준편차와 각각 구간별로 최대부하 전류의 범위를 선정하였다.

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - m)^2 \quad (4)$$

$$Z = \frac{X_i - m}{\sigma} \quad (5)$$

여기서,

N : Data의 총 개수

x_i : 사용전력량에 대한 최대전류

m : 2 차 부하 상관함수에 의한 값

변압기의 패턴 분류 특성 값이 부하 상관함수 적용 시 발생하는 최대부하 전류 편차 값이 몇 σ 범위 안에 들어올 것인지를 분석하여 표 2와 같이 값을 선정하였다. 퍼지 모델을 이용하여 변압기 특성 값이 선정되면 구분된 패턴에 따라 부하전류 값의 범위를 선정 할 수 있을 것이다.

표 2. 변압기 패턴 분류 및 표준 편차 범위

구분 값 패턴	퍼지 모델을 이용하여 얻어진 값	표준 편차 [σ] 범위
A 패턴	71 이상	$1.5\sigma \sim 3\sigma$
B 패턴	46 ~ 70	$0.5\sigma \sim 1.5\sigma$
C 패턴	36 ~ 45	$0\sigma \sim 0.5\sigma$
D 패턴	21 ~ 35	$-0.5\sigma \sim 0\sigma$
E 패턴	10 ~ 20	$-1.5\sigma \sim 0.5\sigma$
F 패턴	10 이하	-1.5σ 이하

5. 결 론

본 논문은 주상 변압기의 부하 관리를 위해 부하 상관함수 적용 시 발생하는 최대 부하전류의 오차를 줄일 수 있는 방안으로, 퍼지 모델을 이용하여 사용전력량과 냉방 기기 보유 정도에 따라 수용가 부하 패턴을 분류하였다. 퍼지 모델에서 얻어진 특성 값에 따라 사용전력량이 같은 경우에 변압기의 최대 부하전류가 가질 수 있는 범위를 선정하였다. 또한, 선정된 값에 따라 표준 편차 값을 적용하면 부하 상관함수 적용 시 발생하는 최대 부하전류의 오차를 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 신정식 외, 중장기 부분별 전력 수요관리 방안 연구, 에너지경제연구원, 1997년 8월.
- [2] K. Padmakumari et al., "Long Term Distribution Demand Forecasting Using Neuro Fuzzy Computations," *EPES 21*, pp.315~322, 1999.
- [3] 박승희 외, "퍼지 신경회로망을 이용한 장기 전력 수요 예측," *대한전기학회 하계학술대회 논문집*, pp.491~493, 1995년 7월.
- [4] P.Bretschneider et al., "Hybrid Forecast Strategy using an Adaptive Fuzzy Classification Algorithm," *ELITE Foundation*, pp.1916~1919, September 1998.
- [5] 박승렬, *Fuzzy Systems Handbook*, 삼각형, 1995년.
- [6] Al Sargent et al., "Estimation of Diversity and KWHR-to-Peak-KW Factors From Load Research Data," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 9, No. 3, pp.1451~1456, August 1994.
- [7] 한국전력연구원, 주상변압기 부하관리개선에 관한 연구, 한국전력공사, 1999년 2월.
- [8] H.R.Kassaei et al., "A Hybrid Fuzzy, Neural Network Bus Load Modeling and Prediction," *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 14, No. 2, pp.718~724, May 1999.
- [9] 한국전력공사 전력경제처, 98 하계 냉방부하 특성분석, 한국전력공사, 1998년 10월.
- [10] Han-Ching Kuo and Yuan-Yih Hsu, "Distribution System Load Estimation and Service Restoration Using A Fuzzy Set Approach," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 8, No. 4, pp.1950~1957, October 1993.
- [11] 유병철 외, *최신통계학*, 상호사, p.11~135, 1997년.
- [12] 이광우 외, *예측 방법과 응용*, 자유 아카데미, 1993년.
- [13] 김두봉, "수용가 패턴 분류를 이용한 부하관리 개선 방안에 관한 연구," *승실대학교 석사학위 논문*, 1998년 12월.