

데이터베이스를 이용한 부하패턴별 수용가 특징 모델링

이영석\*, 김재철\*, 오정환\*, 윤상윤\*, 박창호\*\*  
 \* 숭실대학교 전기공학과 \*\* 한국전력공사 전력연구원

Customer Characteristics Modeling for Each Load Pattern using the Database

Lee Young-Suk\*, Kim Jae-Chul\*, Oh Jung-Hwan\*, Yun Sang-Yun\* Park Chang-Ho\*\*  
 \*Department of Electrical Engineering, Soongsil Univ. \*\*KEPRI

**Abstract** - This paper presents the 2-step load cycle of daily load curve for representative load pattern of power distribution transformer. We decide the representative load pattern of distribution transformer in domestic using the pattern classification algorithm. The K-mean method is used for the pattern classification algorithm. The acquisition equipment of field load data is utilized for 96-sample distribution transformers and the field data is used in the construction of the database for the creation of daily load pattern.

1. 서 론

최근의 전력계통은 전력설비의 대용량화와 냉·난방부하의 증가로 인한 계절별 전력수요의 변화 및 정밀산업의 발달에 의해 전력공급 신뢰도 요구 수준이 높아지고 있다. 이러한 요구에 맞추어 정확한 수요예측과 더불어 다각적 부하관리방안을 통해 양질의 전력과 신뢰도 높은 전력공급 능력을 갖춘 배전계통이 필요하게 되었다.

국내의 경우, 동계 및 하계에 과부하로 인한 변압기 소손사고가 빈번히 일어남에 따라 안전상의 문제와 전력공급 신뢰도에 치명적인 손실을 발생시키고 있는 실정이다. 따라서 이에 부합하는 배전용 변압기관리와 과부하 판정기준의 개선에 따른 정확한 과부하 예측이 필요하다. 본 논문은 배전용 변압기 부하관리 방안의 개선을 목적으로 각 수용가 부하패턴을 계단형 부하형태(2-step load cycle)로 변환함을 목적으로 하고 있다. 이를 위해 1997년부터 1998년까지 서울 각 지역별로 분포된 배전용 변압기에 부착된 데이터 취득장치로부터 취득한 약 2년간의 데이터를 바탕으로 부하관리용 데이터베이스를 구축하였다. 96대 변압기의 데이터 중 변압기 과부하에 의한 부하관리를 필요로 하는 계절인 겨울철(12.1,2월)과 여름철(6,7,8월)의 부하패턴을 패턴분류 알고리즘의 하나인 K-평균 방식을 사용하여 분류하였다. 이와 같이 분류된 계절별 패턴에 대해 과부하 판정 알고리즘을 적용하기 위해 각 패턴을 변압기 손실 및 영향추정을 위한 부하곡선형태인 계단형 부하형태로 변환하였다.

2. 본 론

2.1 부하관리용 데이터베이스 구축

부하관리 방식의 개선책을 마련하기 위해 그림 1과 같이 서울지역 배전용 변압기에 부하데이터 취득장치를 부착하였다. 설치한 데이터 취득장치로부터 확보한 데이터를 효율적으로 관리하기 위하여 부하관리용 데이터베이스를 구축하였다. 데이터베이스 관리시스템(DBMS)으로는 오라클을 사용하였다. 구축한 데이터베이스의 E-R 다이어그램(객체-관계 모델)은 그림 2의 (a), (b)

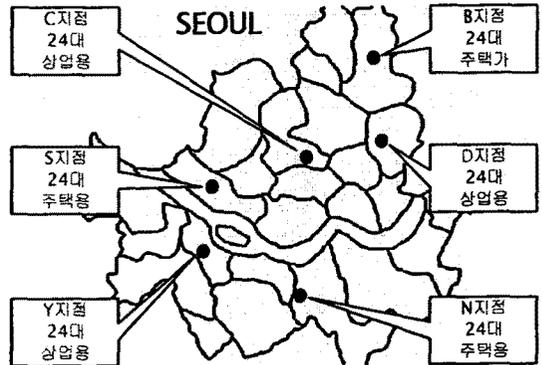


그림 1. 배전용 변압기 부하데이터 취득장치 설치 위치

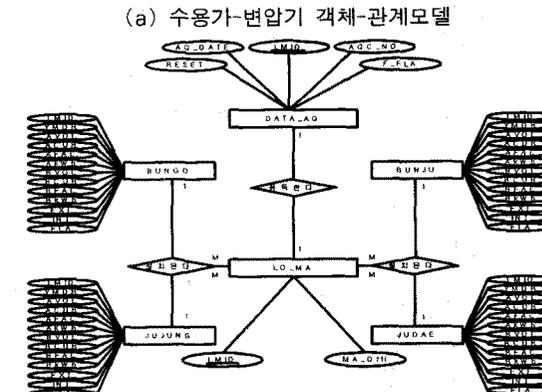
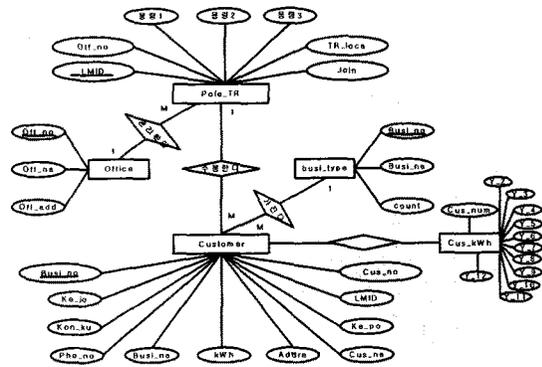


그림 2. 부하관리용 데이터베이스 E-R 다이어그램

와 같다[1]. 부하데이터 취득장치는 각상의 전압, 전류,

사용전력량, 역률 등을 10분 간격으로 저장한다. 본 데이터베이스는 각 패턴별 부하패턴을 추출하는데 사용하였다.

## 2.2 국내 배전용 변압기 과부하 판정현황

국내의 배전용 변압기 과부하 판정의 기준은 표1과 같다. 국내 과부하 판정기준은 과부하의 지속시간 및 기저부하의 크기를 배제하고 과부하의 크기만을 고려하고 있음을 알 수가 있다.

본 논문에서는 계단형 부하형태를 이용한 최대부하의 지속시간, 최대부하의 크기, 기저부하의 크기 등 변압기 과부하에 영향을 미치는 3가지 요소를 수치적으로 나타내고자 하였다.

표1. 배전용 변압기 과부하 판정의 기준

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

## 2.3 동·하계 부하패턴의 분류

본 논문에서 부하패턴 분류는 변압기별 일부하 곡선을 기준으로 하였으며 계절별로 겨울철 75대 변압기, 여름철 62대 변압기의 주중 데이터(137×5×144=98640개)를 사용하여 1일 144개 데이터의 시간당 평균을 취해 24개 데이터를 바탕으로 일부하 곡선을 형성하였다. 또한 부하곡선의 특징별 군집형성을 위해 패턴 분류의 기본적인 기법 중 하나인 K-평균 알고리즘을 사용하였다(2). 일부하 곡선을 바탕으로 부하패턴을 분류해 본 결과 13개 패턴이상으로 패턴의 수가 증가함에 따라 패턴간의 오차가 일정하게 유지됨을 알 수 있었으며 이에 따라 최초 13개 패턴으로 부하패턴을 분류하였다. 여름철과 겨울철의 부하패턴의 관계를 살펴보기 위하여 추출된 13개 패턴 중 다시 패턴의 유사성을 비교하여 최종적으로 동·하계 6개씩의 패턴으로 분류하였다. 보유 데이터를 학습용과 검증용으로 나누어 학습용으로 패턴분류에 사용하고 패턴분류 후 검증용 데이터를 사용하여 검증한 결과 약 90%정도의 정확도를 가짐을 확인하였다.

대표적인 여름, 겨울 6가지씩의 부하패턴을 그림 3과 그림 4에 표현하였다. 그림 3과 그림 4의 횡축은 시간을 나타내고 종축은 일부하 데이터 중 최대값을 기준으로 단위법(P.U.)으로 나타낸 것이다. 각 대표패턴은 같은 군집을 형성한 일부하 곡선들의 평균으로 추출하였다. 그림 3과 그림 4의 (a)는 대표적 심야부하의 형태를 보이고 있다. 사무실부하의 전형적인 형태를 보이고 있는 (b)는 빌딩밀집 지역의 업무 시간대에 부하를 집중적으로 사용하는 것을 볼 수가 있다. (c)의 경우 사무실과 주택의 혼합지역임을 수용가 구성과 부하패턴을 통해 확인할 수 있었다. 최대부하의 형태는 주택부하와 비슷하나 기저부하가 상당히 높고 낮 시간대에 부하가 유지되는 것이 차이점이다. (d)는 전형적인 주택부하를 나타내는 패턴으로 출근시간과 퇴근 후 최대값을 가짐을 볼 수가 있고, (e)는 (c)와 유사하지만, 기저부하가 낮은 특징을 볼 수가 있다. 또한 (f)의 경우 수용가 구성

을 살펴본 결과 심야부하가 다수 존재하고 주택부하가 있기는 하지만, 상업용 부하가 우세한 지역으로 약 0.8(P.U.)의 높은 기저부하를 가지는 것이 특징이다. 부하패턴 그림에서 볼 수 있듯이 대표적인 패턴들이 부하의 크기에는 계절에 따라 약간의 차이가 보이지만 패턴만을 살펴보면 겨울철과 여름철에 동일 부하패턴 특성을 가짐을 볼 수가 있다.

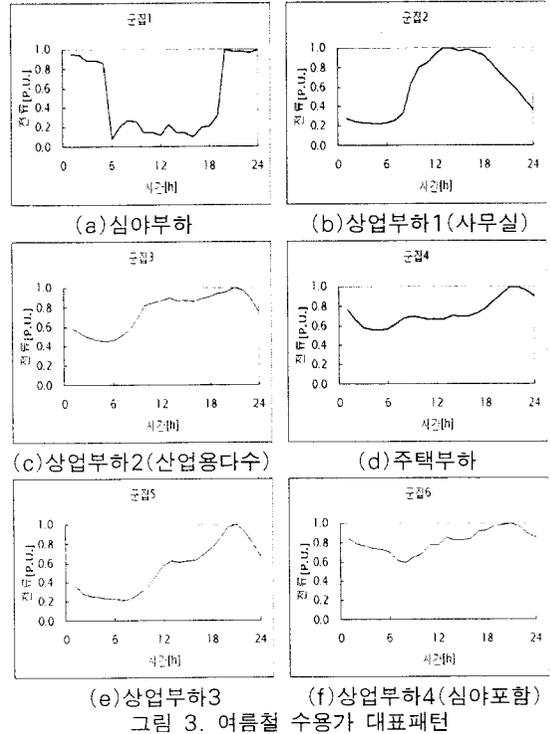


그림 3. 여름철 수용가 대표패턴

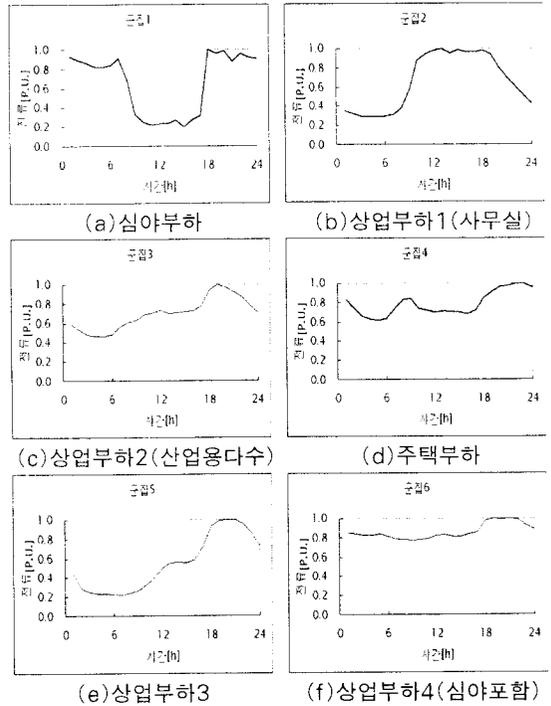


그림 4. 겨울철 수용가 대표패턴

## 2.4 각 부하패턴별 계단형 부하형태 표현

국내 수용가의 패턴을 대표적으로 표현할 수 있는 부하패턴을 바탕으로 각각의 계단형 부하형태를 생성하였다. 과부하 판정시 알고리즘의 실제적 적용을 위해서는 각 패턴별 부하곡선을 정량적으로 표현하는 과정이 필수적이라 할 수 있다. 따라서 각 부하패턴은 그림 5와 같은 세 가지 요소 즉, 최대부하 지속시간, 최대부하 크기, 기저부하 크기 등을 고려하여 계단 형태로 부하패턴을 표현할 수 있다. 본 논문에서 사용한 계단형 부하형태는 IEC Std. 354(1971)[3]을 참조하였다. 그림 5에서 보는 바와 같이 계단의 크기는 최대부하크기(L)와 기저부하크기(L')를 나타낸다. 또한 최대부하 지속시간은 t, 기저부하의 지속시간은 t'으로 나타내었다. 최대부하시간대와 기저부하시간대의 부하의 실효치를 나타내는 등가식은 식(1)과 같이 표현되며(4) 일부하 데이터의 최대부하의 L, t와 기저부하의 L', t'를 각각 이용해 각 계단의 크기를 계산하였다. 이를 통해 겨울철 대표패턴 6개에 대한 최대부하크기, 기저부하크기, 최대부하 지속시간을 계산해 표2에 나타내었다.

표2. 계단형 부하형태의 최대부하, 기저부하, 지속시간

패턴 (겨울)	계산 최대부하, 기저부하, 지속시간	
	계산 최대부하	계산 기저부하
패턴1 (겨울)	계산 최대부하	0.91
	계산 기저부하	0.33
	최대부하 지속시간	15
패턴2 (겨울)	계산 최대부하	0.96
	계산 기저부하	0.47
	최대부하 지속시간	10
패턴3 (겨울)	계산 최대부하	0.94
	계산 기저부하	0.64
	최대부하 지속시간	5
패턴4 (겨울)	계산 최대부하	0.97
	계산 기저부하	0.73
	최대부하 지속시간	6
패턴5 (겨울)	계산 최대부하	0.97
	계산 기저부하	0.47
	최대부하 지속시간	5
패턴6 (겨울)	계산 최대부하	0.98
	계산 기저부하	0.82
	최대부하 지속시간	6

계단형 부하형태의 등가식

$$= \sqrt{\frac{L_1^2 t_1 + L_2^2 t_2 + L_3^2 t_3 + \dots + L_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}} \quad (1)$$

여기서,

$L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$ : 전류값으로서 실제값이나 단위법이나 백분율 값이어도 관계없음

$t_1, t_2, \dots, t_n$ : 최대부하나 기저부하의 지속시간

최대부하 지속시간을 데이터를 토대로 가정하고 부하의 크기인  $L_1, L_2, L_3, \dots$  등은 P.U.값을 활용하였다. 이와같이 계산한 결과 그림 4의 (b)와 같은 사무실 부하의 경우 그림 6과 같은 계단형 부하형태를 얻을 수 있었다. 즉, 최대부하크기가 0.96(P.U.), 기저부하크기가 0.47(P.U.), 최대부하가 10시간 지속됨을 알 수가 있었다.

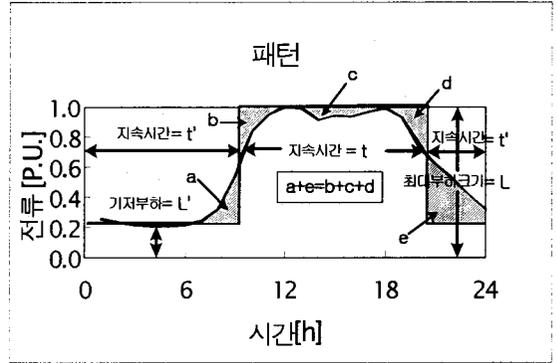


그림 5. 일부하곡선의 계단형 부하형태

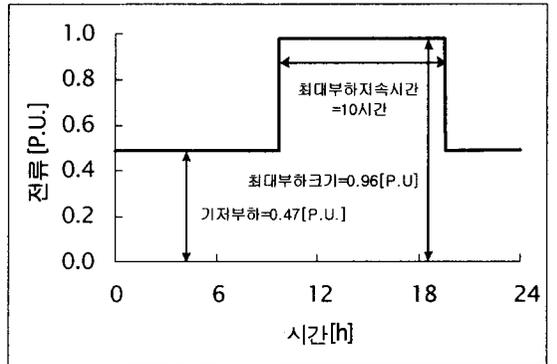


그림 6. 겨울철 상업부하의 계단형 부하형태의 예

## 3. 결 론

본 논문에서는 패턴분류 방법을 사용해 분류한 각 대표 부하패턴을 계단형 부하형태로 표현하여 일부하 데이터를 통해 얻은 일부하 곡선을 정량적으로 표현하였다. 여름철과 겨울철의 대표적인 6개의 패턴을 구해 각각의 최대부하와 기저부하, 최대부하 지속시간을 계산해 계단형 부하형태를 도식해 보았다. 이러한 수용가의 부하 특징을 정량적으로 모델링하는 것은 알고리즘의 실제적 적용을 위해 필수적이라 할 수 있다. 이를 위해서는 실제 각 변압기가 분류한 패턴 중 어떤 패턴에 속하느냐하는 연구가 진행되어야 하므로 여러 가지 이미 알고있는 요소들간의 상관관계를 통해 해당 변압기의 패턴을 분류할 수 있는 방법을 찾는 연구가 계속 진행되어야 할 것이다. 이를 통해 향후 각 부하패턴별로 효과적인 배전용 변압기의 관리가 이루어질 수 있을 것으로 예상된다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 홍준호, 김중근, Oracle bible, 영진출판사, 1999년 6월.
- [2] 윤상운, 김재철, 이영석, "배전용 변압기 부하사용 패턴분류," 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp.89-91, 2001년 5월.
- [3] IEC Standard 354(1971), Loading guide for oil-immersed power transformers.
- [4] IEEE Standard 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.
- [5] 한국전력공사 전력연구원, 주상변압기 부하관리 개선에 관한 연구, 한국전력공사, 1999년 2월.
- [6] 한국전력공사 전력연구원, 배전용 변압기 최적 부하관리 방안에 관한 연구, 한국전력공사, 2001년 1월.