개별부하 축약을 검증하기 위한 집단부하 구성방법에 관한 연구

論 文
50A - 4 - 3

Grouping Method of Loads to Verify the Aggregation of Component Load Models

池 平 植* · 李 鍾 弼** · 林 栽 尹***
(Pyeong-Shik Ji · Jong-Pil Lee · Jae-Yoon Lim)

Abstract - A component based method out of load modeling is to aggregate component load model according to the composition rate of each component load at load bus based on the circuit theory. But the most of component loads respond complex nonlinear characteristics respect to voltage and frequency variation due to the control techniques and semiconductor elements applied to component load. It needs to verify this approach through actual experiment of the aggregation of component load even if it can be down.

To identify this aggregation method well known, this paper is proposed the classifying method of component load characteristics for component loads to group by quantitative analysis. The component load characteristics were divided into several types by KSOM (kohonen self organizing map), which can classify multi-dimension vector, component load pattern, into two-dimension vector. Some ambiguous cases happened from KSOM were classified by the proposed closing degree.

Key Words : Component load model, Component load grouping, KSOM

1. 서 론

부하 모선에 대한 부하모델링 방법은 모선이나 급전선에서 개별부하로 구성된 집단부하의 응답특성을 직접 측정하는 방법과 모선에 연결된 개별부하들을 각각 모델링하고, 개별 부하의 구성비를 토대로 축약해서 집단부하를 나타내는 개별부하 축약 방법으로 대별할 수 있다[1-3]. 이와 같은 모선에서 부하 구성비를 근거로 한 개별부하 축약 방법은 Tellgen[4-5]의 이론 등을 기초로 하고 있으나, 여러 개별부하로 집단부하가 구성될 될 경우 개별 부하 본래 특성의 유지 여부에 대한 집단 부하 실험은 부하모델링 방법의 타당성 등을 입증하는 데 있어 매우 중요하다.

집단부하의 특성실험을 보다 계획적이고 체계적으로 하기 위해서는 개별부하로 집단부하를 구성하여 특성실험을 함으로서 개별부하 축약 검증을 위한 효과적인 실험 결과를 얻을 수 있을 것이다. 집단부하의 구성 방법은 개별부하의 특성을 토대로 제반 특성을 파악할 수 있도록 다양한 집단부하를 구성하여야 한다. 그러나 부하들은 일반적으로 크게 정전력, 정전류, 정임피던스 부하 등으로 구분되나 실제 개별부하의 특성실험 결과에 의하면 이론과 같이 명확하게 구분하기가 어렵다[5].

본 연구는 부하모델링에 있어 개별부하 축약방법을 검증하기 위한 집단부하의 구성 방법에 대한 연구로 개별 부하의 정태특성 실험자료를 이용하여 개별부하를 수학적 모델링을 하고, 개별부하의 특성인 부하 패턴을 나타내는 수학적 모델의 매개변수를 토대로 다차원 벡터를 2차원 벡터로 맵핑할 수 있는 KSOM (KSOM;kohonen self organizing map)[6]과 근접도를 도입하여 정량적으로 개별 부하의 고유특성을 분류하는 방법을 제안하였다. 그리고 개별부하의 분류인 맵핑된 결과로부터 다양한 경우의 집단부하 구성 방법을 제시하였고, 아울러 제안된 방법의 사례 연구 결과를 나타내었다.

2. 기존의 부하모델

일반적으로 ZIP 부하모델로 잘 알려진 정임피던스 모델, 정전류 모델, 정전력 모델의 전압 특성은 그림 1과 같다. 정임피던스 부하 델을 갖는 부하는 전압의 변화에 대하여 유효전력은 2차 함수와 같은 특성을 보이며, 정전류 부하모델은 전압 변화에 대하여 선형적인 비례 관계를 나타내고 있다. 아울러 정전력 부하모델의 경우는 전압 변화에 관계없이 일정한 특성을 갖는다.

* 正 會 員 : 忠州大 電氣電子 및 情報工學部 助敎授 · 工博
** 正 會 員 : 大德大 時間講師
*** 正 會 員 : 大德大 컴퓨터電氣電子系列 副敎授 · 工博
接受日字 : 2000年 12月 29日
最終完了 : 2001年 3月 26日

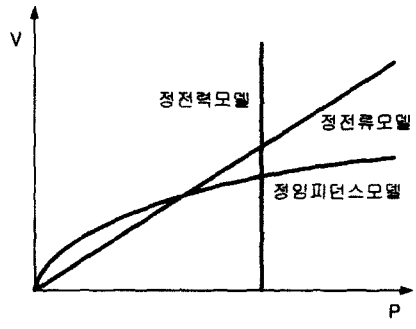


그림 1 ZIP 부하모델 특성
Fig. 1 ZIP load model characteristics

3. 제안된 집단부하 구성 방법

3.1 연구 개요

개별부하의 특성을 정량적으로 분석하여 집단부하를 구성하는 방법은 그림 2와 같다.

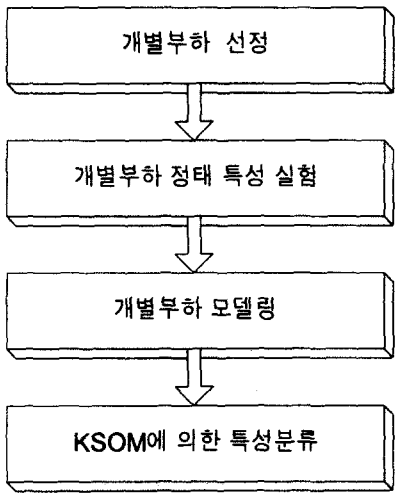


그림 2 본 연구의 개요
Fig. 2 Overview of this study

그림에서와 같이 실험실에서의 실험 가능한 주거용 부하, 높은 보급율과 년간 전력사용량이 큰 부하, 부하의 응답특성이 특이한 부하 등과 같은 선정 기준에 따라 개별부하를 선정한다[7]. 선정된 개별 부하기기에 대한 정태특성 실험 결과를 토대로 개별부하의 수학적 모델링을 하고, 각 모델의 추정된 계수를 지형학적 맵핑이 가능한 KSOM과 근접도를 이용하여 각 개별부하가 갖는 고유한 특성인 부하패턴을 분류하고, 이 결과로부터 집단부하를 구성한다.

3.2 개별부하 정태특성 실험

개별부하기기의 정태특성 실험은 3상유도전압조정기, 주파수 변환기 등으로 구성된 개별부하 특성실험판을 제작하여 특성실험을 실시하였다. 제작된 실험판을 이용하여 선정된 개별부하의 정태부하 특성실험을 수행하였다. 정태부하 특성실험은 각 개별 부하에 주파수를 각각 고정(56, 58, 60, 62[Hz]) 시킨 후 전압을 0.8~1.2[p.u]로 서서히 증가 및 감소시키며 부하의 응답특성을 전력분석기로 측정한다[7].

3.3 개별부하 모델링

본 연구에서는 정성적으로 집단부하를 구성하는 기존의 방법과는 달리 보다 정량적으로 개별부하의 특성을 구분하기 위하여 특성실험[7]으로부터 얻어진 자료를 이용하여 개별부하의 특성을 나타내고, 또한 실험 자료에 내포된 잡음을 제거하기 위하여 개별부하를 모델링한다.

개별부하의 전압과 주파수 변화에 따른 유효전력과 무효전력의 변화는 부하의 응답 특성이 입력에 대하여 선형적이라고 볼 수 있다. 이러한 특성은 다항식이나 지수함수 등 여러 가지 방식으로 모델링 될 수 있으나, 응답 특성을 고려하여 식 (1)과 같은 다항식 모델을 적용하여 모델링할 수 있다[8].

$$\begin{aligned} P(V,f) = {} & a_p + b_p\Delta V + c_p\Delta V^2 + d_p\Delta V^3 + e_p\Delta V^4 \\ & + f_p\Delta V^5 + g_p\Delta V\Delta F + h_p\Delta V^2\Delta F + i_p\Delta F \\ Q(V,f) = {} & a_q + b_q\Delta V + c_q\Delta V^2 + d_q\Delta V^3 + e_q\Delta V^4 \\ & + f_q\Delta V^5 + g_q\Delta V\Delta F + h_q\Delta V^2\Delta F + i_q\Delta F \end{aligned} \quad (1)$$

이 모델의 매개변수 추정은 실험으로 얻어진 자료로부터 다음과 같은 최소자승법[9]에 의하여 구하게 된다. 여기서, 각 항의 변수를 변환하면 식 (1)은 식 (2)와 같이 일반적인 다중회귀방정식으로 변환될 수 있다.

$$y_i = b_0 + b_1x_{1i} + b_2x_{2i} + \cdots + b_kx_{ki} \quad (2)$$

여기서 측정된 자료수가 n 개 일 때 식 (2)를 행렬로 표현하면 식 (3)과 같다.

$$\boldsymbol{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ y_n \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{b} = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ b_k \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{k1} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{k2} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & x_{1n} & x_{2n} & \cdot & \cdot & \cdot & x_{kn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

정규 방정식으로 나타내기 위한 $\boldsymbol{A}$행렬($k+1\times k+1$)과 $\boldsymbol{g}(k+1\times 1)$벡터는 식 (4)와 같으며 설정된 모델의 매개변수 $\boldsymbol{b}$는 식 (6)과 같이 정리된다.

$$\boldsymbol{A} = \boldsymbol{X}'\boldsymbol{X} \qquad \boldsymbol{g} = \boldsymbol{X}'\boldsymbol{y} \quad (4)$$

$$\boldsymbol{A}\boldsymbol{b} = \boldsymbol{g} \quad (5)$$

$$\boldsymbol{b} = \boldsymbol{A}^{-1}\boldsymbol{g} = (\boldsymbol{X}'\boldsymbol{X})^{-1}\boldsymbol{X}^{-1}\boldsymbol{y} \quad (6)$$

3.4 KSOM에 의한 개별부하 특성 분류

개별부하 모델링에서 추정된 계수를 토대로 KSOM[6]을 이용하여 개별부하 특성의 분류가 가능하다. N차원의 패턴을 2차원 평면에 맵핑할 수 있는 능력을 갖고 있는 KSOM은 입력층에 N개의 입력노드와 출력층은 M개의 출력 뉴런으로 구성되어 있다. N차원의 입력 패턴을 2차원의 배열에 P개의 뉴런상에 Feature Mapping 하고자 할 때, 모든 뉴런의 동일한 입력 벡터 X는 식 (7)과 같이 유효전력과 무효전력의 모델링의 매개 계수를 이용할 수 있다.

$$X = [a_p b_p c_p d_p e_p f_p g_p h_p i_p a_q b_q c_q d_q e_q f_q g_q h_q i_q] \quad (7)$$

단, $a \sim i$: 계수, 첨자 p : 유효전력, 첨자 q : 무효전력

그리고 각 뉴런의 i번째 뉴런은 입력 벡터 X_1에 대해서 가중치 벡터 W_i는 식 (8)과 같이 된다. 어떤 입력 벡터 X와 W_i의 유크리드(Ueclid) 거리가 최소가 되는 뉴런 C는 식 (9)와 같다.

$$W_i = [W_{i1}, W_{i2}, \cdots\cdots W_{i\in}]^t \quad (8)$$

$$\| X - W_c \| = \min\{ \| X - W_i \| \} \quad (9)$$

이 때 최적의 뉴런 C를 중심으로 하여, 일정 거리 내에 있는 근방 뉴런 N_c를 정의하고, 가중치 벡터 W_i를 N_c에 속하는 뉴런에 대하여는 식 (10), N_c에 속하지 않는 뉴런에 대하여는 식 (11)과 같이 연결가중치를 수정하게 된다.

$$W_{i(t+1)} = W_{i(t)} + \eta(t)[X(t) - W_{i(t)}] \quad (10)$$

$$W_{i(t+1)} = W_{i(t)} \quad (11)$$

여기서, $\eta(t)[0 < \eta(t) < 1]$ 는 이득(gain)이라 하고, 시간과 함께 감소하는 학습 파라미터이다.

이와 같이 근방 뉴런을 포함한 반복적인 학습을 통하여 입력패턴들의 공간적인 순서 관계나 위상을 2차원 평면에 보존하는 지형학적 맵핑(topological mapping)이 실현됨으로서 각 개별부하의 고유 특성을 분류할 수 있게 된다.

이 때, 같은 뉴런에 맵핑된 개별부하들은 같은 패턴을 갖는다고 할 수 있으나, 이웃 뉴런에 맵핑된 개별부하는 어느 정도의 유사성이 있는지 분류하기가 곤란하다. 본 연구에서는 상관계수 개념을 도입하여 뉴런들 사이의 유사 정도를 나타내고자 학습이 완료된 후 각 뉴런이 가지고 있는 연결가중치를 이용하여 식 (12)와 같이 뉴런간의 근접도를 산출하여 근접도가 임계값 보다 큰 경우 유사한 부하의 특성을 갖는 것으로 분류할 수 있다.

$$A = \mathrm{Corf}(W)^2 \quad (12)$$

단, W : 학습완료 후 각 뉴런의 연결가중치

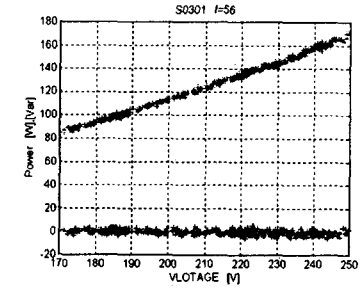
Corf : 상관계수 함수

4. 사례연구

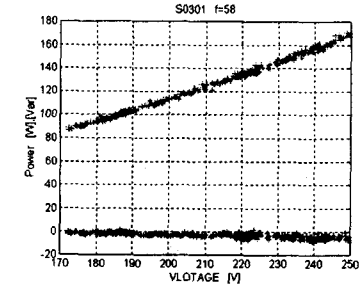
4.1 개별부하 선정 및 정태특성 실험

개별부하의 선정은 3.1절에서 기술한 바와 같이 주거용 부하로 소비전력, 월사용량, 년사용량, 연간평균사용량, 보급대수 등과 설문지 등에 의한 분석자료를 근거로 하여 선정하였다. 선정된 개별부하의 종류는 표 1의 부하모델 계수에 나타낸바와 같다.

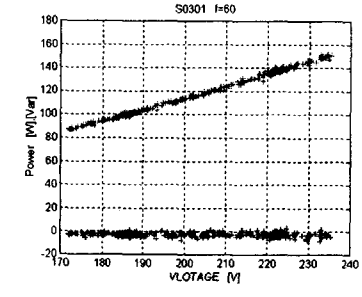
또한, 정태특성 실험은 주파수 변환기를 이용하여 56, 58, 60, 62[Hz]에 고정하고, 전압을 유도전압조정기로 0.8~1.2[p.u]로 서서히 증가 및 감소시키며 부하의 응답특성을 전력분석기로 측정하였다. 측정된 개별부하의 유효전력과 무효전력을 그림 3~그림 5에 나타내었다.



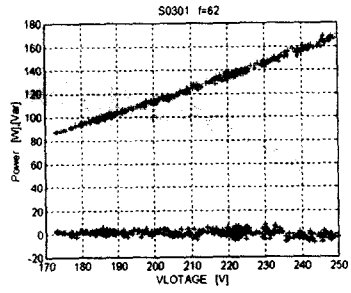
(a) 56 [Hz]



(b) 58 [Hz]

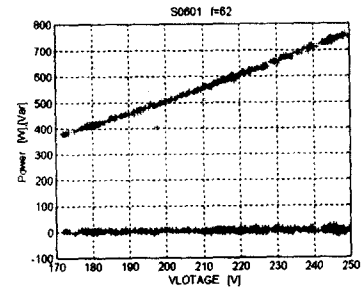


(c) 60 [Hz]



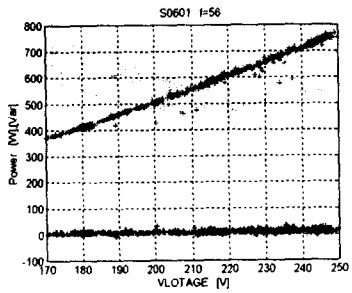
(d) 62 [Hz]

그림 3 개별 부하 정태실험 결과 (냉장고1)
Fig. 3 Experiment results of refrigerator load

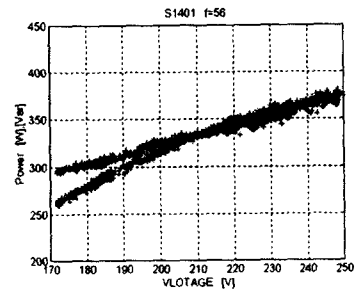


(d) 62 [Hz]

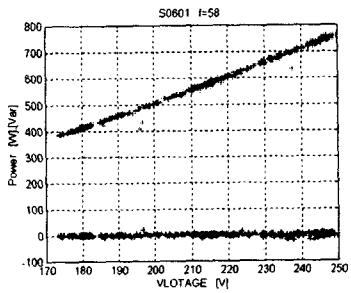
그림 4 개별 부하 정태실험 결과 (드라이어)
Fig. 4 Experiment results of hair dryer load



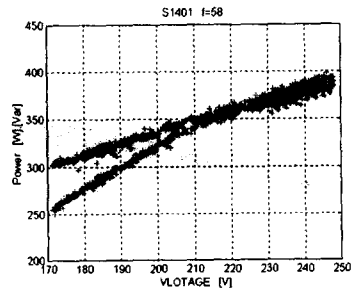
(a) 56 [Hz]



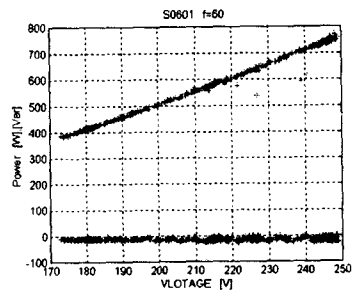
(a) 56 [Hz]



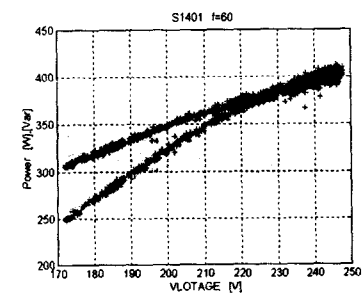
(b) 58 [Hz]



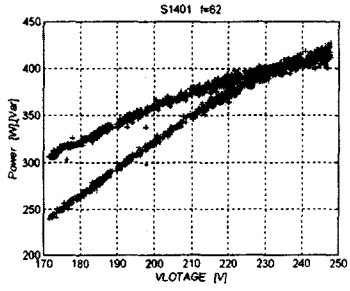
(b) 58 [Hz]



(c) 60 [Hz]



(c) 60 [Hz]



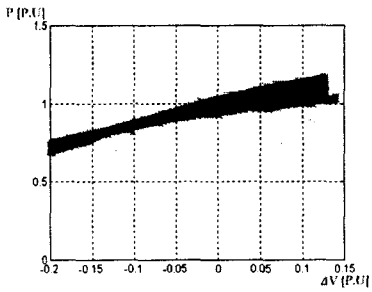
(d) 62 [Hz]

그림 5 개별 부하 정태실험 결과 (유도전동기)
Fig. 5 Experiment results of induction motor load

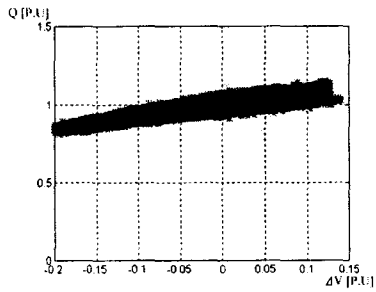
그림 3은 냉장고 부하, 그림 4은 헤어드라이기, 그림 5는 유도전동기 부하에 대한 특성을 나타내고 있다. 따라서 그림에서와 같이 부하의 입력인 전압 및 주파수의 변화에 대한 각 개별부하의 응답 특성은 각각 다르게 나타나고 있다.

4.2 개별부하의 모델링 결과

이와 같이 주파수를 56, 58, 60, 62[Hz]일 때 전압을 0.9~1.2[p.u]로 변화시키며 23개의 개별부하에 대하여 정태특성 실험을 시행한 후, 식 (1)과 같은 다항식 모델을 이용하여 개별부하의 모델링을 하였으며, 그림 6과 그림 7에 그 결과를 나타내었고, 이때 추정된 모델의 계수를 표 1에 나타내었다.

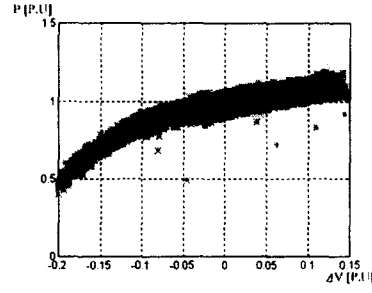


(a) Active power

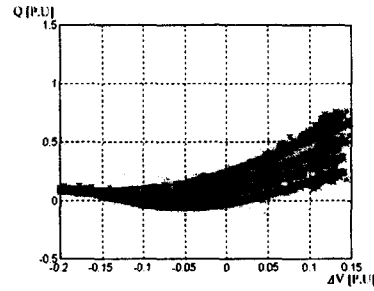


(b) Reactive power

그림 6 수학적 모델링 결과(유도전동기)
Fig. 6 Actual and model data of induction motor



(a) Active power



(b) Reactive power

그림 7 수학적 모델링 결과(전자렌지)
Fig. 7 Actual and model data of microwave oven

표 1에서 보면 부하용량이 적은 부하는 잡음의 영향을 많이 받는 것으로 나타났으며, 이와 같은 외부잡음은 모델링에 의하여 제거하였다.

4.3 KSOM에 의한 개별부하 특성 분류

그림 6과 그림 7에서 나타낸바와 같이 수학적 모델링 결과는 양호하게 나타났으며 이에 따른 개별부하 모델의 계수는 개별부하의 유효전력과 무효전력 특성을 잘 나타낸다. 따라서 이것을 KSOM의 입력으로 사용하여 학습시키면 부하의 특성에 따라 KSOM의 2차측 평면에 맵핑된다.

본 연구에서 입력패턴은 식 (7)과 같이 유효전력과 무효전력의 추정된 계수를 하나의 개별부하 패턴으로 하여 23개의 부하에 대하여 23개의 입력패턴을 구성하였다. 또, 23개의 패턴이 충분히 맵핑될 수 있도록 출력층은 5×5로 하였으며, 초기 학습률은 0.2, 초기 근방뉴런수는 8로 하였고, 학습이 진행되면서 근방뉴런수와 학습률은 점점 감소하도록 설정하였다.

이와 같이 설계된 KSOM을 920회 학습 후 그림 8과 같은 결과를 얻었다. 그림 8에서 다리미, 드라이기, 전기난로, 커피포트, 전기후라이팬, 식기건조기 등은 같은 뉴런에 맵핑되어 같은 부하의 특성을 갖는다고 해석할 수 있고, 세탁기, 에어컨, 전자렌지, 펌프 등도 같은 뉴런에 맵핑되었다. 또, 컴퓨터와 카세트도 하나의 뉴런에 맵핑되어 개별부하의 특성이 같음을 알 수 있다.

그러나, 5번 뉴런에 맵핑된 유도전동기2와 진공청소기는

특성이 같다고 해석할 수 있지만 그 근방뉴런인 백열등과 가습기 뉴런, 환풍기, 선풍기 뉴런, 유도전동기1의 뉴런과는 같은 부하특성이라고 해석할 수 없기 때문에 맵핑된 뉴런 자체가 가지고 있는 고유의 연결가중치를 이용하여 상호 뉴런간의 근접도를 식 (12)를 이용하여 계산하였다.

다리미 드라이기 전기난로 커피포트 전기후라이팬 식기건조기	②	전기장판 형광등	④	유도전동기2 진공청소기
⑥	⑦	백열등	가습기	환풍기 선풍기
T.V 냉장고	⑫	⑬	⑭	유도전동기1
⑯	⑰	⑱	⑲	⑳
세탁기 에어컨 전자렌지 펌프	㉒	㉓	㉔	컴퓨터 카세트

주 : 원문자는 뉴런번호 임

그림 8 개별부하 맵핑 결과

Fig. 8 Mapping results of load by KSOM

부하특성 분류가 애매한 3, 5, 9, 10, 15번 뉴런에 대하여 식 (12)를 이용하여 연결가중치에 의한 각 뉴런간의 근접도를 표 2에 나타내었다. 표 2에서 보는바와 같이 5번 뉴런과 9, 10, 15번 뉴런과는 상관계수가 0.98이상으로 같은 부하의 특성을 나타낸다고 해석할 수 있지만 3번 뉴런과는 0.91정도로 어느 정도의 상관성은 인정되나 같은 부하특성이라고 판단하기는 곤란하다.

이와 같이 맵핑된 23개의 부하에 대해 맵핑된 뉴런의 연결가중치를 이용하여 개별 부하특성 분류가 불분명한 개별 부하를 학습완료 후의 연결가중치를 이용한 상관 계수를 도입함으로서 개별부하 특성을 정확하게 분류할 수 있었다.

표 2 뉴런간의 근접도

Table 2 Closing degree between neurons

뉴런번호	3	5	9	10	15
3	1.0000	0.9158	0.9459	0.9368	0.9449
5	0.9158	1.0000	0.9888	09944	0.9896
9	0.9459	0.9888	1.0000	0.9733	1.0000
10	0.9368	09944	0.9733	1.0000	0..9992
15	0.9449	0.9896	1.0000	0..9992	1.0000

본 사례대상인 23개의 개별부하의 그룹핑 결과를 요약해 보면, 1번 뉴런에 맵핑된 전열부하군과 3번과 8번 뉴런에 맵핑된 전기장판, 형광등, 백열등 부하군, 또 5, 9, 10, 15번 뉴런에 맵핑된 전동기 부하군, 11번 뉴런의 가전부하군1, 21번 뉴런의 가전부하군2, 25번 뉴런의 전산부하군 등 6개의 집단부하로 구성할 수 있다. 따라서 집단부하는 표 3과 같이 각각의 부하군과 또 이들 부하군을 조합해서 구성할 수 있다.

표 3 집단부하의 구성 예

Table 3 Case results grouped by the proposed method

Case	집단부하 구성 예	비 고
1	다리미, 드라이어, 전기난로, 커피포트, 전기후라이팬, 식기건조기 등	동일 특성
2	전기 장판, 형광등, 백열등 등	〃
3	유도전동기1, 유도전동기2, 진공청소기, 환풍기, 선풍기, 가습기 등	〃
4	T.V, 냉장고 등	〃
5	세탁기, 에어컨, 전자렌지, 펌프 등	〃
6	컴퓨터, 카세트 등	〃
7	다리미, 전기장판, 진공청소기 등	다른 특성
8	T.V, 냉장고, 선풍기, 유도전동기1, 유도전동기2 등	〃
9	세탁기, 전기후라이팬, 가습기, 백열등, 에어컨, 전자렌지, 펌프 등	〃
10	컴퓨터, 카세트, T.V, 형광등, 가습기, 전기장판 등	〃

5. 결 론

본 연구는 부하모델링에 있어 개별부하 축약 방법을 검증하기 위한 집단부하의 구성 방법에 대한 연구로 개별 부하의 정태특성 실험자료를 이용하여 개별부하를 수학적 모델링을 하고, 개별 부하의 특성인 부하 패턴을 나타내는 수학적 모델의 매개변수를 토대로 다차원 벡터를 2차원 벡터로 맵핑할 수 있는 KSOM과 근접도를 도입하여 정량적으로 개별 부하의 고유 특성을 분류하는 방법을 제안하였다.

본 연구에서는 정성적으로 집단부하를 구성하는 기존의 방법과는 달리 보다 정량적으로 개별부하의 특성을 분류하기 위하여 개별부하의 특성실험에서 주파수별, 전압의 변화에 따른 유효전력 또는 무효전력 자료를 다항식으로 모델링하고 이 과정에서 도출된 계수를 이용하여 잘 알려진 KSOM에 의해서 개별부하를 특성별로 패턴 분류함으로서 집단부하를 구성하는데 보다 정량적으로 부하의 특성을 해석하였으며 선정된 개별부하에 대한 집단부하 구성 예를 제시하였다.

앞으로, KSOM에 의하여 부하별 분류된 결과로부터 영역별로 집단 부하를 구성하여 집단부하실험을 수행한다면 동일 부하 특성을 갖는 집단 부하의 특성을 정확하게 파악할 수 있고, 더욱이 서로 혼합해서 집단 부하를 구성하면 실 계통과 유사한 조건에서 집단부하 실험이 가능할 것이다.

표 1 정태부하모델의 계수

Table 1 Component load models

		a	b	c	d	e	f	g	h	i	P0
TV 1	유효전력	1.0097	0.9268	-0.4900	22.6210	-55.731	-544.31	-0.5558	-7.4140	0.1219	36
	무효전력	-0.0556	0.0776	1.8829	-10.114	-33.200	92.5880	-2.2341	-4.7158	1.2042	
냉장고1	유효전력	0.9963	1.7458	0.5822	3.1696	18.8207	28.1296	-0.0281	-0.0005	0.0090	135
	무효전력	-0.0076	-0.0067	-0.4616	-3.1078	26.7017	143.863	0.6792	1.3885	0.1214	
다 리 미	유효전력	1.0008	1.8086	-0.0416	5.2001	20.9109	-260.88	-0.2158	-4.2259	-0.0960	740
	무효전력	-0.0106	-0.0325	0.2918	2.9835	-28.162	-148.51	-0.9809	-11.988	-0.0300	
드라이어	유효전력	1.0034	1.8936	1.6679	2.6759	-56.274	-243.66	-0.1086	-0.6211	0.0123	600
	무효전력	-0.0030	0.0062	0.4061	2.0038	-27.146	-135.08	-0.3287	-1.4206	-0.1689	
형 광 등	유효전력	0.9991	-0.6114	-0.1716	5.9521	25.5616	6.8780	0.7983	5.2382	-0.1814	48
	무효전력	-0.0395	-0.3075	-1.4212	-1.2431	96.7212	429.584	1.0464	0.1535	0.3095	
선 풍 기	유효전력	0.9985	1.8655	-0.2318	-4.4296	47.3246	225.689	-0.3304	-0.4384	-0.3846	44
	무효전력	0.1803	0.3163	-0.0505	-4.2082	-36.386	-75.841	-1.0737	2.0384	-1.1695	
세 탁 기	유효전력	1.0091	1.1251	1.2769	15.8449	-10.691	-376.90	-0.2019	-9.4520	1.3013	230
	무효전력	-0.1175	0.7918	3.9004	5.2059	-6.4631	-149.72	-9.4466	-10.542	-3.3670	
에어컨 2	유효전력	0.9989	0.5075	1.0542	9.4840	-16.846	-198.75	1.2055	5.6659	0.9229	435
	무효전력	0.1036	0.3881	2.7374	5.6945	-32.305	-151.56	-9.4233	-18.056	-2.4221	
유도전동기 1	유효전력	1.0067	0.9451	0.6434	-3.5901	17.4274	59.1334	3.7880	-4.0362	0.3754	300
	무효전력	1.8494	4.3078	6.6335	11.5324	-30.449	-129.37	-12.828	-32.188	-2.7805	
유도전동기 2	유효전력	1.0013	1.1422	-2.1770	-0.6570	19.2392	42.8700	5.2684	-3.0915	0.6720	365
	무효전력	1.0210	0.5967	-1.1558	5.0114	20.1092	-17.323	0.9334	-13.935	1.1552	
전기난로	유효전력	1.0010	2.0063	1.8978	-3.8468	-211.98	-936.45	0.1779	0.3565	0.0020	750
	무효전력	-0.0680	-0.1633	-0.1487	0.7597	17.4053	118.833	0.0717	-2.3778	0.2201	
전기장판	유효전력	1.0002	-1.8717	-3.2659	26.0633	65.7962	-158.12	-8.9303	-28.942	-5.4533	158
	무효전력	0.5541	-0.3023	-3.1955	2.5133	8.4892	-11.542	-10.579	-21.884	-1.9401	
전자렌지	유효전력	1.0018	1.0137	-2.5808	14.6310	-48.864	46.4096	1.6032	-10.426	1.2501	845
	무효전력	0.0698	1.6082	9.2214	-20.658	-80.922	139.114	-11.327	22.6090	-2.6569	
진공청소기	유효전력	1.0037	2.4028	1.0377	-28.241	-65.049	226.188	1.3834	12.4291	-0.4428	415
	무효전력	0.8452	1.6089	0.2923	-18.527	-41.965	143.344	1.0529	6.2224	-0.1147	
커피포트	유효전력	1.0082	1.8243	0.7144	1.4506	-16.649	-96.684	-0.6809	-2.4967	-0.1379	530
	무효전력	-0.0108	0.0092	0.1494	0.6877	-3.8723	-30.428	0.2337	0.9441	-0.0987	
컴 퓨 터	유효전력	1.0257	-1.4318	-3.4563	4.9344	106.269	225.871	0.9715	-30.757	-0.7651	38
	무효전력	-0.0515	0.6285	0.2306	-19.997	-121.97	-183.33	-2.4691	-23.592	0.5471	
백 열 등	유효전력	1.0014	1.4131	0.2587	-0.4429	10.2760	54.7352	0.0324	1.0571	-0.0474	83
	무효전력	0.5365	0.7956	1.2443	4.7953	-47.528	-226.81	-0.5071	-3.1734	0.0662	
가 습 기	유효전력	0.9866	1.6336	1.4568	-4.3073	-4.6863	58.1917	-1.0696	-6.2999	-0.1565	25
	무효전력	0.3837	1.2248	1.6282	-8.6864	19.4141	555.176	-3.1508	10.1145	-0.4950	
식기건조기	유효전력	1.0023	1.7711	0.6449	15.3359	5.0873	-551.93	0.0219	0.1085	-0.2006	158
	무효전력	-0.0132	-0.0068	0.3159	-0.3039	-6.6029	34.5472	0.3787	0.2252	0.0645	
카 세 트	유효전력	1.0328	1.5831	4.8623	-1.4991	22.5409	953.195	4.7364	-79.506	1.0057	2
	무효전력	0.4016	2.7821	-106.66	-663.20	7213.96	43563.5	20.9957	-0.2843	2.6388	
펌 프	유효전력	1.0015	0.7108	1.3329	8.7491	-5.0550	-261.62	-1.4641	-6.5579	1.6409	410
	무효전력	0.2621	1.0523	4.6148	11.8814	-2.9022	-156.45	-14.095	-26.970	-3.2654	
환 풍 기	유효전력	1.0168	1.1832	-0.9605	7.7518	-7.3344	-177.50	2.6440	-17.031	0.0315	38
	무효전력	1.0121	1.2629	1.1558	18.0425	-59.366	-433.97	0.2067	-19.422	0.1548	
후라이팬	유효전력	1.0042	1.7467	0.8690	15.6091	-18.542	-577.21	-0.3088	-3.0644	-0.2832	825
	무효전력	-0.0058	0.0601	0.1659	-9.7739	-17.450	318.862	0.3929	-0.6957	-0.1240	

참 고 문 헌

[1] C. F. Walker, "Residential Load Shape Modeling Based on Customer Behavior", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, July 1985

[2] H. L. Willis, "An Interactive End-Use Electric Load Model For Microcomputer Implementation", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Nov. 1983

[3] Hydro-Quebec,"Real-Time Digital Data Acquisition System for Load Characteristics", EPRI Report EL-851, 1980

[4] Peter W. Sauer, M.A. Pai,. "Power System Dynamics

and Stability", Prentice Hall, Inc. 1998, pp. 89-218.
[5] K. R. Padiyar,. "Power System Dynamics", John Wiley & Sons Pte Ltd. 1996, pp. 3-48.
[6] Xuegong Zhang, Yanda Li, "Self-Organizing Map As a New Method for Clustering and Data Analysis", Proceedings of International Joint Conference on Neural Network, pp. 2448~2451, 1993
[7] 지평식 외, "부하모델 구축을 위한 개별부하 선정 및 특성실험에 관한 연구", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, 대한전기학회, 1999. 11. 20
[8] P. Ju, E.Handschin, D.Karlsson, "Nonlinear dynamic load modelling: Model and Parameter Estimation", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 11, No.4, pp.1689-1697, November 1996
[9] Ronald E. Walpole, Raymond H, Myers, "Probability and Statistics for Engineers and Scientists", Macmillan Publishing Company, pp. 353~405, 1985

저 자 소 개

지 평 식 (池 平 植)

1964년 3월 5일 생. 1994년 충북대 대학원 전기공학과 석사과정 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 박사과정 졸업(공박). 현재 충주대 전기전자 및 정보공학부 조교수(BK21)

E-mail : psji@gukwon.chungju.ac.kr

이 종 필 (李 鍾 弼)

1970년 12월 14일 생. 1996년 충북대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 대덕대 전기과 시간강사

E-mail : jolious@mail.ddc.ac.kr

임 재 윤 (林 栽 尹)

1961년 8월 4일 생. 1984년 충북대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사) 1995년 홍대 대학원 전기공학과 졸업(공박), 1999~2000 Texas A&M Univ. 방문교수, 현재 대덕대 컴퓨터전기전자계열 부교수

E-mail : jylim@mail.ddc.ac.kr