

# 비선형 부하를 고려한 새로운 부하합성 기법

## A New Load Aggregation Method in Consideration of Non-linear Load

이 종 필\* · 김 성 수†  
(Jong-Pil Lee · Sung-Soo Kim)

**Abstract** - The aggregation of group loads, which consists of the linear and the non-linear systems, yields the error involved in the reactive power aggregation, which is greater than the active power aggregation in the component based load modeling. Each individual reactive power in a group load affects the aggregated load different from composition rate. This paper proposes a new method that determines the degree of impacts by adjusting the coefficient of weight factors of each load using the least squares error method. The effectiveness of proposed algorithm is demonstrated by simulating three aggregation cases.

**Key Words** : Component-based load model, Composition rate, Harmonics, Load model

### 1. 서 론

전력조류계산이나 과도안정도 해석 등의 계통 상태해석을 위해서는 계통을 구성하는 요소에 대한 모델링이 필수적이다. 전원이거나 선로에 대한 모델링은 오랜 기간 연구되어 상당한 진전을 보이고 있는 반면 부하에 대한 모델링은 그 필요성은 인정되지만 계통을 구성하는 다른 요소에 비해 매우 간략한 형태로 연구되어 왔다[1]. 계통의 각 모션에는 매우 다양한 종류의 부하들이 연결되어 있고, 부하모션의 전압과 주파수에 따라 다양한 응답특성을 갖고 있으므로, 계통 해석이 용이한 단일부하로의 부하 모델링이 어렵다[2]. 계통해석에서 필요로 하는 부하모델은 부하모션에서 전압이나 주파수 변화에 대한 유효/무효전력을 표현하는 것이다. 그러나 하나의 부하 모션에는 다수의 부하들이 직접 또는 변압기와 배전선을 통해서 연결되어 있다. 모션에 병렬로 연결된 집단 부하의 소비전력은 Tellegen의 이론[3]에 의하여 각 개별부하 소비전력의 합과 같으므로 각 개별부하에 대한 효과적인 모델링이 이루어진다면 유효전력에 대한 축약모델은 비교적 수월하게 구축될 수 있다.

한편, 전력계통에는 기본파 외에 다양한 고조파 전류를 발생시키는 비선형 부하들이 혼재되어 있다. 고조파의 발생 원인은 크게 두 가지로 구분할 수 있는데, 그 하나는 최근 사용이 늘어난 첨단 제어장치, 전력전자기기 등 다양한 반도체 전력변환 설비에 의한 것이며, 다른 하나는 변압기, 회전기 등의 기존 전력기기의 비선형 특성 영역에서의 운전에 의한 것 등으로 구분할 수 있다. 이러한 비선형 부하의 유

형이나 양이 증대하면 전원 측에 많은 고조파 전류가 흐르게 되고 따라서 전압의 왜형이 발생하여 계통내의 다른 설비에까지 악영향을 미친다. 또한, 고조파에 의해 전압과 주파수의 변동을 초래하며 그로 인하여 전력계통 해석에 중요한 성능 지표로 고려되는 부하의 동특성을 모델링하는데 어려움을 겪고 있다[4-6]. 그러나 기존의 고조파에 관한 연구는 고조파 장해에 관한 연구가 주류를 이루고 있고 전원에 고조파 성분이 있을 경우 부하의 응답특성에 관한 연구는 드문 실정이다.

고조파를 발생시키는 비선형 부하가 존재하는 경우 고조파에 의한 전력의 왜곡이 발생하고 이러한 비선형부하와 선형부하가 혼재된 계통에서 각 개별부하의 무효전력을 합하는 경우 각 개별부하에서 측정된 무효전력 값의 합과 전원 측에서 측정된 무효전력에 차가 발생하게 된다. 비선형 부하의 경우 무효전력은 기존의 선형부하에서의 무효전력의 경우와 같이 동일한 주파수의 전압과 전류의 위상차에 의해 발생하는 무효전력 이외에도 서로 다른 주파수의 전압과 전류에 의해 발생하는 왜곡전력들이 포함되어있고, 이 값들이 비선형 연산자인 제곱과 루트 연산으로 결합되므로 개별부하들을 전체 부하로 합성하는 경우에 각 개별부하의 무효전력 값을 이용하여 합하는 것은 마치 벡터 값을 스칼라 값으로 취급하는 것과 같은 오류가 발생하게 되고 이것은 왜곡전력에 의해 각 개별부하에서 측정된 무효전력의 크기만큼 전원 측 무효전력에 반영되지 않는 현상으로 나타나게 된다.

따라서 본 연구에서는 기존의 각 개별부하에서 측정된 개별부하의 구성비를 이용한 전체 부하의 합성방법의 문제점을 해결하기 위하여 각 개별부하가 전체 부하에 미치는 영향력을 최소자승법을 이용하여 추정하고, 추정된 영향력 계수를 이용하여 전체 부하를 합성하는 기법을 제안한다.

\* 정 회 원 : 충북대학교 전기공학과 박사과정

† 교신저자, 정회원 : 충북대학교 전기공학과 교수

E-mail : sungkim@chungbuk.ac.kr

접수일자 : 2012년 9월 7일

최종완료 : 2012년 10월 8일

## 2. 비선형 부하를 고려한 부하 합성 기법

### 2.1 부하구성비를 이용한 합성기법의 문제점

전력계통의 부하 모선은 일반적으로 매우 다양한 종류의 부하들이 연결되어 있다. 각각의 부하들은 계통의 전압이나 주파수에 대해 서로 다른 전력 소비행태를 보인다. 본 연구에서는 부하 모선에 연결되어 있는 개별부하에 대한 모델링과 부하 구성비로부터 모선의 부하모델을 수립하는 미시적 접근방법을 사용하였다.

모선에 병렬로 연결된 집단부하의 소비전력은 Tellegen이론에 의하여 집단부하를 구성하는 개별부하 소비전력의 합과 같다. 개별부하들의 합성은 계통의 부하모선에 있어 개별부하들로 구성된 전체부하를 단일부하로 모델링하는 것이다. 개별부하 모델링은 기존의 수학적인 모델링 기법을 이용할 수도 있고 신경회로망 등의 인공지능 기법을 이용할 수도 있다[1,2,6]. 전체부하의 모델링은 부하모선의 개별부하 모델들을 부하구성비를 토대로 단일부하로 합성하는 것이다. 부하모선의 개별부하 구성비는 이미 발표된 부하구성비 추정방법[7,8]에 의하여 가능하다.

몇 개의 개별부하가 조합된 모선의 집단부하는 개별부하의 출력과 개별부하의 구성비를 근거로 식 (1)과 같이 선형 조합에 의해 축약할 수 있다.

$$\hat{P}_t = \sum_{i=1}^N W_{P_i} \times P_i \quad (1)$$

$$\hat{Q}_t = \sum_{i=1}^N W_{Q_i} \times Q_i$$

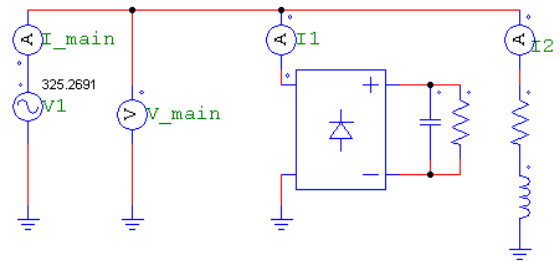
여기서,  $W_{P_i}$ 는 유효전력의 구성비이며  $W_{Q_i}$ 는 무효전력의 구성비이다.

한편, 부하구성비 추정의 경우 부하 구성 상태는 용도 및 계절에 따라 다르고 용도의 특성으로 인한 지역별, 일형식별, 시간별에 따라 사용하는 전력의 크기가 다르므로 부하구성비는 주거용과 상업용, 산업용으로 분류하고, 주거용은 각 시도별로 분류하며, 상업용은 근무일, 월, 토, 일, 공휴일 등으로 분류하고, 산업용은 경공업, 중화학공업 등으로 분류할 수 있으나 이 중 지역별 분류는 주거용에 한하여 영향을 주는 인자로 지역에 따른 부하 구성 요소의 보급률이 다르므로 세분류하고, 합리적인 부하구성비를 추정을 위해 기존의 통계자료, 문헌, 전문가의 객관적인 경험 등을 근거로 해서 부하구성비를 추정할 수 있다.

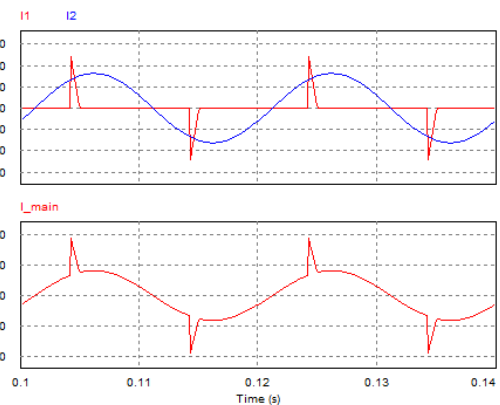
개별부하를 기반으로 한 전체 부하의 합성은 전술한 바와 같이 계통의 부하모선에 있어 개별부하로 구성된 집단부하를 단일부하로 모델링하는 것으로 각 개별부하에 대하여 모델링을 한 후 부하구성비를 토대로 단일부하로 합성하는 것이다. 그러나 이 방법은 기존의 선형부하들로 구성된 집단부하에 대해서는 유효한 방법이지만, 비선형 부하가 포함된 경우 무효전력의 축약에는 유효하지 않다.

그림 1과 같은 간단한 샘플 계통을 통해 이 문제를 살펴보면, 그림 1(a)의 각 개별부하의 전류파형은 (b) 상단에 그려져 있고, 전원 측에서 측정된 전체 부하전류의 파형은 각

개별부하의 전류의 합으로 (b)의 하단에 그려져 있다. 그림 1(b)에서 보이는 것처럼 비선형 부하의 전류는 정현파로부터의 왜곡이 매우 심하지만 전체 전류의 파형은 왜곡된 정도가 덜한 것을 알 수 있다. 이것은 전류 왜곡에 의한 왜곡전력이 비선형부하에서는 크게 작용하지만 전체부하에서는 비선형 부하에서보다 작게 작용한다는 것을 의미하고 따라서 왜곡전력이 포함되는 비선형 부하에서 측정된 무효전력은 전체 부하의 무효전력에 그 크기만큼 영향을 미칠 수 없다는 것을 보여준다.



(a) 샘플계통



(b) 전류파형

그림 1 비선형부하와 선형부하의 합성

Fig. 1 Aggregation of linear and non-linear load

### 2.2 비선형 부하를 고려한 영향력 계수 추정

전 절에서 설명한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 각 개별부하의 무효전력이 전체 무효전력에 미치는 영향력을 추정하고 기존의 구성비를 대체하는 영향력 계수(Impact coefficient)를 도입한다.

미시적 접근방법을 이용한 부하모델링의 첫 번째 단계는 그림 2에 나타난 것처럼 개별부하들에 대한 실험을 통해 자료를 획득하는 것이다. 이렇게 획득된 자료를 바탕으로 각 개별부하에 대한 모델을 구축하고 특정 시점의 부하 모선의 구성비가 주어지면, 이를 바탕으로 영향력 계수를 추정한다. 각 개별부하 모델과 영향력 계수를 합성하는 과정을 통해 부하 모선의 모델이 얻어진다. 영향력 계수는 최소자승법을 이용하여 추정이 가능하고 그 과정은 다음과 같다.

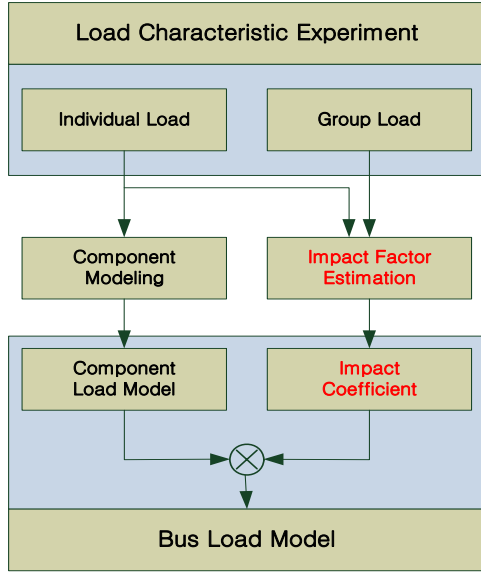


그림 2 영향력 계수의 추정기법  
Fig. 2 Method of estimating impact coefficients

$m$ 개의 부하로 구성된 집단부하의 경우 각 개별부하들로부터 추정되는 모선의 무효전력은 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$\widehat{Q}_{ti} = \alpha_1 Q_{1i} + \alpha_2 Q_{2i} + \alpha_3 Q_{3i} + \dots + \alpha_m Q_{mi} \quad (2)$$

각 개별부하의 무효전력의 추정 값과 모선에서 측정된 값의 차이는 식 (3)과 같다.

$$e_i = \widehat{Q}_{ti} - Q_{ti} \quad (3)$$

이 오차가 최소가 되도록 하는 계수  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$  을 구하기 위한 목적함수  $\lambda$ 는 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} \lambda &= \sum_{i=1}^n (\widehat{Q}_{ti} - Q_{ti})^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (\alpha_1 Q_{1i} + \alpha_2 Q_{2i} + \dots + \alpha_m Q_{mi} - Q_{ti})^2 \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)의 각 계수  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$  에 대해 편미분하고  $\frac{\partial \lambda}{\partial \alpha_1} = 0, \frac{\partial \lambda}{\partial \alpha_2} = 0, \dots, \frac{\partial \lambda}{\partial \alpha_m} = 0$  를 만족하는 계수를 구하면 식 (5)가 된다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \lambda}{\partial \alpha_1} &= \sum_{i=1}^n 2Q_{1i}(\alpha_1 Q_{1i} + \alpha_2 Q_{2i} + \dots + \alpha_m Q_{mi} - Q_{ti}) = 0 \\ \frac{\partial \lambda}{\partial \alpha_2} &= \sum_{i=1}^n 2Q_{2i}(\alpha_1 Q_{1i} + \alpha_2 Q_{2i} + \dots + \alpha_m Q_{mi} - Q_{ti}) = 0 \\ &\vdots \\ \frac{\partial \lambda}{\partial \alpha_m} &= \sum_{i=1}^n 2Q_{mi}(\alpha_1 Q_{1i} + \alpha_2 Q_{2i} + \dots + \alpha_m Q_{mi} - Q_{ti}) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)에서 모선 측정값인  $Q_{ti}$  부분을 우변으로 이항하면 식 (6)이 된다.

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n Q_{1i}(\alpha_1 Q_{1i} + \alpha_2 Q_{2i} + \dots + \alpha_m Q_{mi}) &= \sum_{i=1}^n Q_{1i} Q_{ti} \\ \sum_{i=1}^n Q_{2i}(\alpha_1 Q_{1i} + \alpha_2 Q_{2i} + \dots + \alpha_m Q_{mi}) &= \sum_{i=1}^n Q_{2i} Q_{ti} \\ &\vdots \\ \sum_{i=1}^n Q_{mi}(\alpha_1 Q_{1i} + \alpha_2 Q_{2i} + \dots + \alpha_m Q_{mi}) &= \sum_{i=1}^n Q_{mi} Q_{ti} \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)의 계수부분을 분리하면 식 (7)과 같이 정리 된다.

$$\begin{aligned} \alpha_1 \sum_{i=1}^n Q_{1i}^2 + \alpha_2 \sum_{i=1}^n Q_{1i} Q_{2i} + \dots + \alpha_m \sum_{i=1}^n Q_{1i} Q_{mi} &= \sum_{i=1}^n Q_{1i} Q_{ti} \\ \alpha_1 \sum_{i=1}^n Q_{2i} Q_{1i} + \alpha_2 \sum_{i=1}^n Q_{2i}^2 + \dots + \alpha_m \sum_{i=1}^n Q_{2i} Q_{mi} &= \sum_{i=1}^n Q_{2i} Q_{ti} \\ &\vdots \\ \alpha_1 \sum_{i=1}^n Q_{mi} Q_{1i} + \alpha_2 \sum_{i=1}^n Q_{mi} Q_{2i} + \dots + \alpha_m \sum_{i=1}^n Q_{mi}^2 &= \sum_{i=1}^n Q_{mi} Q_{ti} \end{aligned} \quad (7)$$

식 (7)을 행렬형식으로 바꾸면 식 (8)과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n Q_{1i}^2 & \sum_{i=1}^n Q_{1i} Q_{2i} & \dots & \sum_{i=1}^n Q_{1i} Q_{mi} \\ \sum_{i=1}^n Q_{2i} Q_{1i} & \sum_{i=1}^n Q_{2i}^2 & \dots & \sum_{i=1}^n Q_{2i} Q_{mi} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^n Q_{mi} Q_{1i} & \sum_{i=1}^n Q_{mi} Q_{2i} & \dots & \sum_{i=1}^n Q_{mi}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n Q_{1i} Q_{ti} \\ \sum_{i=1}^n Q_{2i} Q_{ti} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n Q_{mi} Q_{ti} \end{bmatrix} \quad (8)$$

따라서 구하고자 하는 각 영향력 계수는 역행렬을 이용하여 구할 수 있다.

이러한 절차를 통해 구해진 영향력 계수는 각 개별부하의 모델들과 식 (2)를 이용하여 부하모선의 모델로 합성하는데 이용하게 된다.

### 3. 실험 및 결과

#### 3.1 실험장치의 구성 및 데이터 취득

제안된 비선형 부하를 고려한 영향력 계수 추정 기법의 성능을 평가하기 위해 선형특성을 가지는 부하와 비선형 특성을 가지는 부하가 혼합되도록 표 1과 같이 사례를 구성하였다. 표 1에서 표시된 구성비는 각 부하의 정격무효전력을 기준으로 계산된 전통적인 방법의 구성비이다. 사례 1은 선형부하로 분류할 수 있는 선풍기 부하와 비선형 부하로 구분할 수 있는 T.V.와 삼파장램프로 구성하였고, 각각의 비율이 다른 사례에 비해 고른 구성비를 갖도록 하였다. 사례 2는 선형부하와 비선형 부하의 비율이 비슷하도록 선풍기,

형광등, 삼파장램프로 구성하였으며, 사례 3에서는 비선형부하들로만 부하를 구성하였다.

표 1과 같이 구성된 부하에 인가전압을 약 0.818[P.U] ~ 1.045[P.U]까지 서서히 변화시키며 각 부하의 전압과 전류의 순시값과 전원 측의 전압/전류의 순시값을 동시에 측정하여 각 부하에서의 무효전력과 전원 측의 무효전력을 계산하였다. 가변전원으로는 Programmable Power Supply(SW 1750A, ELGAR)를 사용하였고 데이터 취득은 DT9834 A/D 변환모듈과 DEWESoft 6.5 프로그램을 이용하여 10,000 [samples/sec]의 비율로 샘플링 하였다[9-11].

표 1 집단부하의 구성

Table 1 Group load setup

사 례	품 목	선풍기	T.V.	삼파장 램프	합계
	1	정격 무효전력	173	215	120
	구 성 비	34.0	42.4	23.6	100
사 례	품 목	선풍기	형광등	삼파장 램프	합계
	2	정격 무효전력	173	28	120
	구 성 비	53.2	8.6	38.2	100
사 례	품 목	형광등	인버터 스탠드	T.V.	합계
	3	정격 무효전력	28	164	215
	구 성 비	6.7	39.9	53.4	100

3.2 비선형 부하를 고려한 무효전력 합성 결과

부하 합성에 앞서 구축된 실험 자료를 이용하여 개별부하에 대한 모델링을 실시하였다. 개별부하 모델은 일반적으로 널리 사용되고 있는 다항식 모델들 중에 식 (9)의 IEEE 2차식 모델[12]을 사용하였다.

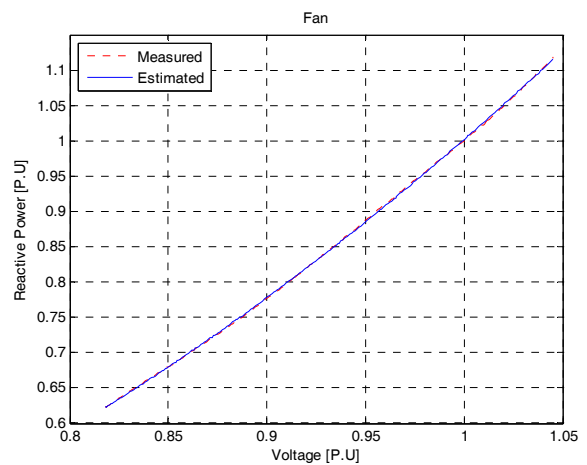
$$\hat{Q}_i = a + bV + cV^2 \tag{9}$$

추정된 계수와 개별부하 모델링 오차를 표 2에 정리하고 모델링 결과의 예로 선풍기 부하와 T.V.부하의 모델링 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 3에서 개별부하에서 실측한 무효전력 자료는 점선으로 나타내었고, 모델의 출력은 실선으로 나타내었다. 선풍기 부하의 경우보다 T.V.부하에서 모델의 오차가 약간 더 크게 나타나고 있다. 이것은 T.V.부하의 비선형성에서 기인한 것으로 인가전압의 변화에 대해 무효전력의 변화가 비선형적으로 변화하기 때문인 것으로 사료된다. 표 2와 그림 3으로부터 각 개별부하들이 잘 모델링 되었음을 알 수 있다.

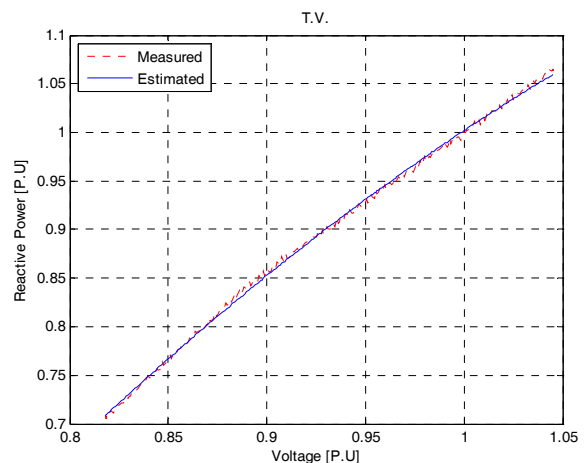
표 2 개별부하 모델링 결과

Table 2 Modeling results of individual load

품목	추정된 모델식	모델링 오차[%]
선풍기	$0.4401 - 1.3018 V + 1.8634 V^2$	0.1469
T.V.	$-1.8143 + 4.2869 V - 1.4707 V^2$	0.3019
삼파장램프	$0.3138 - 0.0664 V + 0.7527 V^2$	0.3034
형광등	$1.9482 - 4.2513 V + 3.2919 V^2$	1.3117
인버터스탠드	$-0.2946 + 1.2243 V + 0.0718 V^2$	0.0537



(a) 선풍기



(b) T.V.

그림 3 개별부하의 모델링 결과(T.V, 무효전력)

Fig. 3 Modeling results of individual load(T.V, Reactive power)

전 절에서 설명한 3가지 사례에 대해 본 연구에서 제안한 영향력계수 추정 기법을 이용하여 추정한 결과를 표 3에 나타내었고, 추정된 계수를 이용하여 부하 축약을 수행한 결과는 표 4에 나타냈다. 표 3에 나타난 영향력 계수는 각 개별

부하가 전체 부하에 미치는 영향력을 추정한 것으로 백분율로 나타내었다. 표 4에서는 기존의 구성비를 이용한 방법과 제안된 방법의 비교를 위하여 성능평가지표로 전체적인 오차를 평가하기 위한 평균오차율[%]와 합성기법에 따른 부하 모션 모델의 최대 오차를 비교하기 위해 최대오차율[%]을 사용하였다.

표 3 영향력계수 추정 결과

Table 3 Estimation results of impact coefficients

사례 1	품 목	선풍기	T.V.	삼과장 램프
	영향력 계수	43.1	52.2	4.7
사례 2	품 목	선풍기	형광등	삼과장 램프
	영향력 계수	41.1	30.2	28.7
사례 3	품 목	형광등	인버터 스탠드	T.V.
	영향력 계수	10.8	11.4	77.8

표 4 무효전력 합성결과

Table 4 Aggregation results of reactive power

구분	기존방법		제안된 방법	
	평균오차율	최대오차율	평균오차율	최대오차율
사례 1	0.8894	2.9904	0.1957	0.6641
사례 2	0.2652	0.8356	0.1295	0.5086
사례 3	0.2957	0.7701	0.1363	0.4735

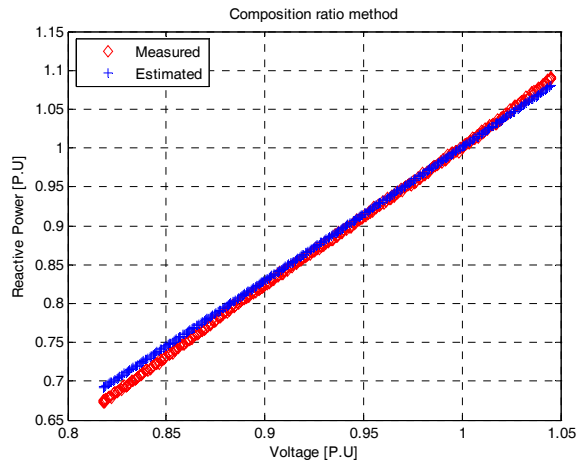
표 3과 표 4의 결과에 대해 사례별로 분석을 하면 다음과 같다.

사례 1. 삼과장램프의 경우 부하 단독의 무효전력은 120[Var]로 전체 무효전력에 대한 각 개별부하의 무효전력 비율로 보면 23.6[%]였으나 제안된 영향력 계수 추정기법에 의해 영향력을 추정한 결과 전체 무효전력에 미치는 영향은 4.7[%]로 매우 낮게 나타났다. 또한 표 4에 나타난 바와 같이 기존의 구성비에 의한 합성 결과와 제안된 방법을 비교 하였을 때 평균오차율은 0.8894[%]에서 0.1957[%]로 감소하였고 최대오차율은 2.9904[%]에서 0.6641[%]로 감소하였음을 알 수 있다.

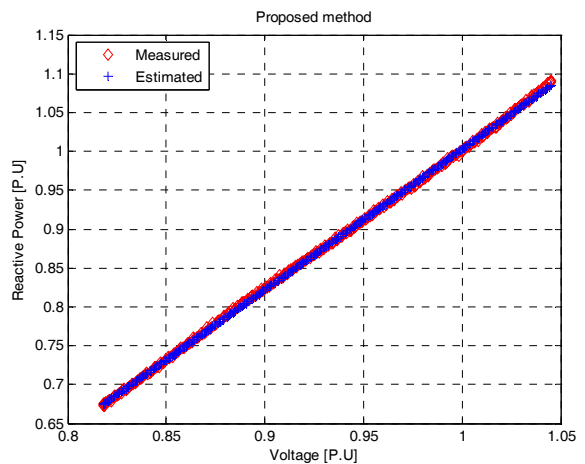
사례 2. 사례 1에서 사용된 삼과장램프와 동일한 삼과장 램프를 사용하였으나 다른 부하들과의 상대적인 관계에 의해 전체 무효전력에 미치는 영향은 28.7[%]로 기존의 구성비보다 약간 감소하였고 형광등 부하의 영향이 큰 것을 알 수 있다. 영향력 계수에 의한 합성 결과 평균오차율은 0.2652[%]에

서 0.1295[%]로 감소하였고 최대오차율 역시 감소하였다.

사례 3. 비선형 부하들로만 구성된 경우 인버터스탠드 부하가 전체 무효전력에 미치는 영향이 정격값에 의한 구성비에 비해 매우 작아지면서 상대적으로 형광등과 T.V.의 영향이 커지고, 그 결과 영향력 계수에 의한 합성 결과 평균오차율이 0.2757[%]에서 0.1363[%]로 감소하였다.



(a) 기존 방법(구성비)



(b) 제안방법(영향력 계수)

그림 4 기존방법과 제안된 방법에 의한 합성 결과비교(사례 1)

Fig. 4 Aggregation results comparison by conventional and proposed method(Case 1)

그림 4에서는 사례 1의 경우 기존의 구성비에 의한 합성 방법과 제안된 영향력 계수를 이용한 합성 방법을 이용한 결과를 나타낸다. 그림 4(a)는 사례 1의 경우에 대하여 기존의 구성비를 이용한 방법으로 개별부하들을 합성한 결과이다. 그림에서 보이는 바와 같이 각 부하들의 영향이 구성비와는 다르게 작용하기 때문에 기존 방법을 이용한 경우 저전압 부분에서 실측값과 추정값이 큰 차이가 남을 알 수 있다. 그림 4(b)의 제안된 방법을 이용한 경우에는 전압의 전

구간에 걸쳐 적절하게 추정하고 있는 것을 알 수 있다. 표 4 및 그림 4의 결과를 통해 제안된 영향력 계수를 추정하여 무효전력을 합성하는 것이 효과적임을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

비선형 부하의 경우 무효전력은 기존의 선형부하에서의 무효전력의 경우와 같이 동일한 주파수의 전압과 전류의 위상차에 의해 발생하는 무효전력 이외에도 서로 다른 주파수의 전압과 전류에 의해 발생하는 왜곡전력들이 포함되어 있다. 각 개별부하에서 측정된 무효전력 값을 기준으로 구성비를 설정하여 합하는 경우에 이 값들이 비선형 연산자인 제곱과 루트 연산으로 결합되므로 마치 벡터 값을 스칼라 값으로 취급하는 것과 같은 오류가 발생하게 된다.

기존의 각 개별부하에서 측정된 개별부하의 구성비를 이용한 모선부하의 구축방법의 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 각 개별부하가 전체 부하에 미치는 영향력을 최소화승법을 이용하여 추정하고, 이 영향력 계수를 이용하여 모선 부하를 구축하는 방법을 제안 하였다. 제안된 방법의 타당성을 보기 위하여 다양한 비율로 구성된 집단부하에 대한 실험을 수행 하였고, 실험 결과 기존의 구성비를 이용한 방법에 비해 평균오차율은 절반 이하로 감소하였고 최대오차율은 기존의 구성비를 이용한 방법에 비해 38%이상 감소하였다. 이것은 제안된 영향력계수를 이용한 부하 합성 기법이 기존의 구성비를 이용한 방법보다 효과적임을 나타낸다.

앞으로 더욱 다양한 종류의 부하를 이용한 실험과 인가전원 전압의 크기변화 뿐만 아니라 주파수나 고조파의 유무에 대한 부하의 응답 특성 및 부하 합성에 관한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

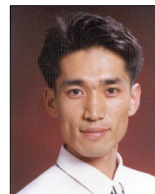
#### 참 고 문 헌

- [1] C. Concordia and S. Ihara, "Load Representation in Power System Stability Studies" IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-101, pp. 969-977, 1982.
- [2] Ali Keyhani, W. Wu, G. T. Heydt, "Composite Neural Network Load Models for Power System Stability Analysis," IEEE PES 2004, Vol. 2, pp. 1159-1163, 2004.
- [3] Peter W. Sauer, M.A. Pai, "Power System Dynamics and Stability", Prentice Hall, Inc. 1998, pp. 89-218.
- [4] Mau Teng Au and J. V. Milanovic, "Development of Stochastic Aggregate Harmonic Load Model Based on Field Measurements," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 22, pp. 323-330, 2007.
- [5] Huaiwei Liao, "Power System Harmonic State Estimation and Observability Analysis via Sparsity Maximization," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 22, pp. 15-23, 2007.
- [6] D. J. Lee, J. P. Lee, J. Y. Lim, P. S. Ji, "Estimation Method of Variable Composition Rate and Error Compensation Method of Aggregative Model for

Reactive Power by Variable Composition Rate", Trans. KIEE. Vol. 60P, No. 4, pp. 186-192, DEC., 2011

- [7] J. Y. Lim, J. H. Kim, J. O. Kim, C. Singh "Application of Expert System to Load Composition Rate Estimation Algorithm", IEEE Trans. on Power System , Vol 14, No. 3, pp. 1137-1143, August 1999.
- [8] J. H. Kim, J. Y. Lim, H. S. Kim, "A Study on the Reasonable Load Composition Rate Estimation Method for the Load Model" Trans. KIEE., Vol. 42, No.12, pp.21-31, 1993
- [9] SmartWave Switching Amplifier Operation Manual, ELGAR Electronics Corporation, 2005,
- [10] <http://www.datatranslation.com>
- [11] DEWESoft 6 software user manual, DEWETRON Ges.m.b.H., 2006
- [12] Korea Electric Power Research Institute Technical Report, "Development pf Accurate Load Model for Detailed Power System Stability Analysis", TR.98PJ08.J2001.107, 2001.

### 저 자 소 개



#### 이 중 필 (李 鍾 弼)

1970년 12월 14일생. 1996년 충북대학교 공대 전기공학과 졸업, 1999년 동 대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사), 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정  
E-mail : jolious@nate.com



#### 김 성 수 (金 聖 洙)

1959년 5월 17일생. 1983년 충북대학교 공대 전기공학과 졸업, 1989년 University of Arkansas Fayetteville 졸업 (석사), 1997년 University of Central Florida 졸업 (박사), 2001 ~ 현재 충북대학교 전기공학과 교수  
Tel : +82-43-261-2421  
Fax : +82-43-263-2419  
E-mail : sungkim@chungbuk.ac.kr