

# 주상 변압기 최대부하 추정을 위한 부하상관계수 및 수용율 조정

論文

53A-2-3

## Adjustment of Load Regression Coefficients and Demand-Factor for the Peak Load Estimation of Pole-Type Transformers

尹 尚 潤\* · 金 載 哲\*\* · 朴 京 浩\*\*\* · 文 鍾 必§ · 李 鎮§§ · 朴 昌 浩§§§  
(Sang-Yun Yun · Jae-Chul Kim · Kyung-Ho Park · Jong-Fil Moon · Jin Lee · Chang-Ho Park)

**Abstract** - This paper summarizes the research results of the load management for pole transformers done in 1997-1998 and 2000-2002. The purpose of the research is to enhance the accuracy of peak load estimation in pole transformers. We concentrated our effort on the acquisition of massive actual load data for modifying the load regression coefficients, which related to the peak load estimation of lamp-use customers, and adjusting the demand-factor coefficients, which used for the peak load prediction of motor-use customers. To enhance the load regression equations, the 264 load data acquisition devices are equipped to the sample pole transformers. For the modification of demand factor coefficients, the peak load currents are measured in each customer and pole transformer for 13 KEPCO (Korea Electric Power Corporation) distribution branch offices. Case studies for 50 sample pole transformers show that the proposed coefficients could reduce estimating error of the peak load for pole transformers, compared with the conventional one.

**Key Words** : Peak load estimation, pole transformer, load regression coefficient, demand-factor

### 1. 서 론

1-1. 회구조가 정보·산업화됨에 따라 전력수요도 쉼 없이 증가하고 있으며 양적 평창과 더불어 전력의 질적 요구에 대한 기대치도 빠르게 높아지고 있다. 저압 수용가의 전력 공급에 직접적인 책임을 지고 있는 주상 변압기의 안정적 운용에 대한 관심 증대는 이러한 조류에 비추어 필연적인 현상이라 할 수 있겠다. 주상 변압기에 대한 동·하게 최대부하의 정확한 추정은 안정한 전력공급 및 경제적인 변압기 관리를 바라는 전력회사의 가장 중요한 관심사 중 하나이며 지금까지 전력회사들은 자신의 계통 구조에 적합한 다양한 부하 관리 방안을 개발하고 또한 적용해 왔다 [1-3]. 이러한 방식들 대부분은 특정한 계통 구조 및 운용 방식을 가지고 있는 각 전력회사에 대해 직접적이면서도 명확한 이득을 가져다주었다.

2. 변압기를 개별적으로 상시 관리하는 것이 주상 변압기 부하 관리를 최적화하는 것임은 기지의 사실이다. 그러나 약 150<sup>1)</sup> 여대에 달하는 국내 주상 변압기는 그 종류와 용량도 수십여 가지에 이르므로 개별적 상시 관리는 현실적으로 어

려움이 많다. 이러한 이유로 예상되는 최대부하를 각종 수식을 이용하여 추정하고 이를 바탕으로 변압기의 교체, 용량 증설 및 부하 분배 등을 관리해온 것이 전통적인 주상변압기 부하관리 방식이었다. 최대 부하의 추정을 위한 많은 알고리즘들[4-6]이 발표 되었으나 주상 변압기 단위의 최대부하의 추정을 위한 방법으로는 사용전력량이나 계약전력 등을 이용한 상관함수(regression equation)를 이용하는 것이 일반적이다 [7]. 국내의 경우는 전등부하(lamp-use load)에 대해서는 월간 사용전력량(kWh)과 최대부하 사이의 부하상관함수(load regression equation)를 이용하여 최대부하를 추정하며 동력부하(motor-use load)에 대해서는 수용율(demand factor) 계수를 이용하여 최대부하를 추정하고 있다. 이러한 계수들은 표본 변압기들에 대한 부하 데이터 취득을 통해 이루어져 왔으며 국내에서는 1975년과 1986년에 한정된 특정 지역의 소규모 변압기들의 데이터를 이용하여 작성되었다. 그러나 가장 최근의 시도인 1986년과 비교하여 최근의 전력부하의 사용형태와 그 크기는 많은 차이를 보일 수밖에 없으며 따라서 이러한 변화를 반영하는 새로운 계수들을 산정할 필요성이 대두되었다.

본 논문은 주상(pole-type) 변압기의 최대부하 추정을 위한 각종 계수를 조정할 목적으로 국내에서 수행되었던 1997-1998년 및 2000-2002년 사이의 연구 결과를 요약하였다. 본 연구의 목적은 전등 및 동력용 부하들의 최대부하 추정을 위한 부하 상관함수 및 호당 수용율을 재 산정함으로써 주상 변압기에 대한 최대부하 추정오차를 감소시키기 위해 수행된 것이다. 본 연구에서는 국내 변압기 부하의 특성이 반영될 수 있도록 광범위한 대규모의 부하데이터를 실측하였다. 실측된 데이터의 분포에 합당한 부하 상관함수의

\* 正會員: LG産電 電力研究所 先任研究員 · 工博

\*\* 正會員: 崇實大 工大 電氣制御시스템工學部 教授 · 工博

\*\*\* 執會員: 崇實大 工大 電氣制御시스템工學部 碩士課程

§ 正會員: 崇實大 工大 電氣制御시스템工學部 博士課程

§§ 正會員: LG産電 電力研究所 責任研究員

§§§ 正會員: 韓國電力公社 電力研究阮 責任研究員

接受日字: 2003年 8月 5日

最終完了: 2004年 1月 10日

선택을 위해 여러 가지 모델 중 결정계수(coefficient of determination)가 가장 높은 것을 선택하여 최종적인 상관계수를 제시하였다. 동력용 수용가에 대한 수용율 계수의 조정을 위해 한전의 13개 지점 및 지사의 169대 표본 변압기의 최대부하를 측정하였으며 이 측정 데이터와 각 변압기에 속한 수용가들의 계약전력 자료를 이용하여 새로운 수용율 계수를 제시하였다. 서울 및 인천 등의 약 110여대 전등 공급용 변압기에 대한 실측과 한전 Y지점의 약 50여대의 동력 공급용 변압기에 대한 데이터 실측을 통해 제안한 계수들의 사례연구를 수행하였으며 이를 통해 새로 제시한 계수들의 실제 적용에 문제가 없으며 기존의 계수들에 비해 그 추정오차를 상당히 감소시킬 수 있음을 입증하였다.

## 2. 주상 변압기 부하관리의 현황

### 2.1 주상 변압기 부하관리의 정의 및 개요

주상 변압기 부하관리란 “특정시점(국내의 경우 동(1월)·하계(8월))의 주상 변압기에 예상되는 최대부하를 추정하여 변압기의 용량 및 결선방식 등을 고려하여 예측 시점의 과부하 정도를 결정하고 사전에 부하의 절체, 변압기 교체 및 변압기 용량 증설 등을 함으로써 안정적으로 변압기를 운용할 수 있도록 하는 것”으로 정의할 수 있다. 따라서 주상 변압기 부하관리의 핵심은 최대부하를 얼마나 정확하게 추정할 수 있는가에 달려있다.

변압기의 최대부하 예측 방법으로는 부하를 간접 측정하는 방법과 직접적으로 측정하여 예측하는 방법으로 나누어진다. 직접적인 방법으로는 변압기의 상시 감시(monitoring) 방법을 들 수 있으며 이것은 신뢰도 및 전력품질 차원에서 보면 가장 우수한 방법이라 할 수 있다. 그러나 일반적으로 대량의 주상 변압기에 대한 상시감시는 경제성 및 그 효율성 면에서 실제 적용이 어려운 것이 사실이다. 부하를 간접적으로 측정하여 예측하는 방법으로는 사용전력량(kWh)에 의한 방법, 부하설비(kW)에 의한 방법, 사용전력량 또는 부하설비에 추가하여 특수 기기의 대수, 설비용량이나 수용가 등을 고려하여 계산에 의해 예측하는 방법 등이 있다.

본 논문에서 다루고 있는 부하관리 기법은 간접적 방식이며 전체 변압기에 일반적으로 적용되어야하는 수식이다. 모든 주상변압기를 직접 개별 관리한다는 것은 경제성 측면에서 매우 낭비가 심한 것이다. 부하관리와 직접 관련된다고 볼 수 있는 변압기 과부하 소손사고의 한전 통계에 의하면 [8] 93, 94 및 99년의 연간 평균 과부하 고장은 전체 변압기 대수에 대해 약 0.036% 정도에 지나지 않는다. 그러나 과부하 소손사고의 경우 상당수가 유분출 사고이며 이것은 수용가에 전력신뢰도와 전력품질에 막대한 저하를 가져올 뿐만 아니라 인재사고의 위험도 있다. 따라서 주상 변압기를 전혀 관리하지 않는다는 것도 있을 수 없는 것이다. 이러한 이유로 대부분의 전력회사들은 기본적으로 전체 변압기에 적용될 수 있는 수식을 사용하고 이에 의해 과부하가 예상되는 변압기나 특수한 부하에 전력을 공급하는 변압기들에 대한 개별적인 집중 관리를 수행하는 것이 일반적이다. 일반적 수식이 가지는 오차는 분명히 존재한다. 그러나 이러한 수식의 정확도 개선 역시 전력회사로서는 유지보수 측면의 막대한 비용을 줄일 수 있는 중요한 문제이다.

표 1 전등 및 동력 수용가의 구분 체계  
Table 1 Classification philosophy of lamp-use and motor-use customers

구분	계약종별	공급방식	계약전력
전등	100, 915	전체	전체
	211, 213, 311, 410, 420, 430, 610	1상	9kW이하
동력	211, 213, 311, 410, 420, 430, 610	1상	9kW초과
	211, 213, 311, 410, 420, 430, 610	3상	전체

### 2.2 주상 변압기에서 전력을 공급받는 수용가 구성 및 그 특성

국내 주상 변압기에서 전력을 공급받는 저압수용가의 계약종별은 총 10가지(주택(100), 일반용 저압(211), 교육용 저압(213), 산업용(감) 저압(311), 농사용 전력(감)(410), 농사용 전력(을)(420), 농사용 전력(병)(430), 가로등(을)(610), 심야 전력(감)(905), 심야전력(을)(915))[9]이며 이는 다시 주택, 일반, 교육, 산업, 농사, 가로등 및 심야의 7가지 부하 군으로 구분된다. 이러한 구분은 변압기 최대부하 계산을 위한 2가지 대상 부하인 전등 및 동력 수용가로 재분류되며 그 분류 체계는 표 1과 같다. 단 심야전력(감)의 경우는 부하계산에서 제외된다.

이러한 수용가 종별의 구분은 전등용 수용가의 경우 수용가의 사용전력량의 증감과 비례하여 최대부하가 나타나며, 동력용 수용가의 경우 일반적으로 사용전력량 보다는 설비용량에 따른 계약 전력에 상관관계가 높은 것으로 알려져 있기 때문이다 [1]. 따라서 최대부하를 추정하기 위한 방법도 전등용 수용가의 경우 월간 사용전력량(kWh)과 최대부하 사이의 상관함수를 사용하며, 동력용 수용가의 경우 동력수용가 호당 수용율 계수를 사용한다.

### 2.3 국내 주상 변압기 최대부하 추정 방식 [9]

**제 1단계)** 각 변압기에 속하는 수용가 분류 및 관련 데이터 수집: 하계 및 동계 최대부하 계산에 앞서 각 수용가의 전력 요금 자료를 기준하여 전등 및 동력 수용가의 월간 사용전력량(kWh) 및 계약전력 데이터를 각각 산출한다.

**제 2단계)** 전등 및 동력 전류 계산: 현행 1상 및 3상 전등 전류의 계산은 식 (1)과 같은 1차 상관함수를 사용한다. 여기서  $I_{A,B}$ 를 110V 환산 전등전류라 하며 그 이유는 표 2의 상단에 나타나있는 현행 부하상관계수의 경우 월간 사용전력량(kWh)과 110V 전압으로 환산된 최대부하(A) 사이의 상관관계를 나타낸 것이기 때문이다. 110V로 환산한 이유는 국내 수용가 전압이 110, 220, 380 및 440V 등으로 다양하기 때문에 단일 전압 기준으로 상관함수를 표현하기 위한 것이다. 식 (1)에서 A, B는 부하계산 상관계수이며 x는 한 전주에 있는 모든 주상변압기들의 월간 사용전력량(kWh)의 합을 의미한다. 단상 전등의 경우와 삼상 전등의 경우를 나누어서 따로 계산 한다.

$$I_{A,B} = Ax + B \quad (1)$$

상업지구, 주택가 및 농어촌 등의 지역구분은 전산 시스

템 상에 지역 정보를 통해 알 수 있다.

동력전류는 식 (2)와 같이 계약전력과 호당 수용율에 의해 계산한다. 수용율이란 수용율은 최대수요전력(kW)과 부하설비의 합계(kW)의 비율이다. 굳이 “호당 수용율”이란 용어를 사용하는 이유는 현재의 동력 수용가 수용율이 변대주에 수용가가 1호인 경우부터 6호이상까지의 경우까지를 나누어서 적용하기 때문에 붙여진 이름이며 이러한 차등 적용의 이유는 호수에 따른 부등률(변압기의 최대부하와 개별 호당 최대부하의 합의 비율)이 존재하기 때문이다. 계약전력이 각각 20, 15, 및 10kW인 3개의 동력수용가가 있다고 가정하면 계약전력이 가장 큰 수용가로부터의 계약전력 차이인 5kW, 5kW 및 10kW에 각 호별 수용율 계수를 곱하여 모두 합하고 이것을 역률과 전압으로 나누어 최대부하전류를 조정하는 식이다. 동력전류도 단상 동력부하와 삼상 동력부하로 나누어서 계산한다. 식 (2)에서도 식 (1)의 경우와 마찬가지로 110V 기준의 전류로 환산됨을 볼 수 있다. 현행 호당 수용율을 표 2의 하단에 나타내었다.

$$\begin{aligned} I_{1,..3} = & [(P_1 - P_2) \times K_1 + 2(P_2 - P_3) \times K_2 + 3(P_3 - P_4) \times K_3 \\ & + 4(P_4 - P_5) \times K_4 + 5(P_5 - P_6) \times K_5 + (6(P_6) \\ & + (P_7 + \dots + P_n)) \times K_6] \times 10^3 \div (\cos \theta \times 110V) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,  $K_j$ :  $j$ 번째 수용가의 호당수용율

$P_j$ : 동일변압기에서 전력을 공급받는  $j$ 번째 수용가의 계약전력(kW)

단,  $P_1 > P_2 > P_3 > \dots > P_n, \cos \theta = 0.9$

**제 3단계)** 단상 합성 부하전류  $I_1$  및 삼상 합성부하전류  $I_3$ 의 계산은 다음 식 (3) 및 식 (4)를 사용하여 계산한다.

$$I_1 = I_A + I_B \quad (3)$$

$$I_3 = I_B + I_C \quad (4)$$

**제 4단계)** 단상 부하용량  $P_1$ , 삼상 부하용량  $P_3$  및 합성 부하용량  $P$ 는 식 (5)에서 식 (7)까지를 이용하여 계산한다. 115[V]를 적용하는 이유는 본 논문에서 부하를 추정하는 대상이 변압기이며 수용가에서는 110V를 공급받도록 되어 있지만 변압기의 설계전압은 전압강하를 고려하여 주상변압기 2차측에서 115V가 나오도록 설계하고 있기 때문이다.

$$P_1(kVA) = I_1(\text{단상 합성부하전류}) \times 115[V] \div 10^3 \quad (5)$$

$$P_3(kVA) = I_3(\text{삼상 합성부하전류}) \times 115[V] \div 10^3 \quad (6)$$

$$P(kVA) = (P_1 + P_3) \times D \quad (7)$$

여기서,  $D$ : 전류감소율( $D = R_{1\phi}^2 - R_{1\phi} + 1$ )

$R_{1\phi}$ : 단상부하 구성율( $R_{1\phi} = (i_1 / (i_1 + i_3))$ ).

$i_1, i_3$ : 변대 인출에서 본 공급방식별 1상 및 3상전류

단,  $i_1, i_3$ 의 결선별 세부 산식은 참고문헌 [9] 참조

표 2 현행 전등용 부하상관계수 및 동력용 수용율 계수

Table 2 Conventional load regression coefficients of lamp-use customer and customer-factors of motor-use customer

전등용 부하상관계수				
계절	지역	사용량	A	B
동계	상업	2,000kWh 이하	0.0554	0
	지구	2,000kWh 초과	0.0384	34.0
	주택가	1,000kWh 이하	0.0913	0
		1,000kWh 초과	0.0323	59.0
	농어촌	500kWh 이하	0.1210	0
하계	상업	2,000kWh 이하	0.0680	0
	지구	2,001-10,000kWh	0.0438	48.0
		10,000kWh 초과	0.0197	287.0
	주택가	1,000kWh 이하	0.1010	0
		1,001-7,500kWh	0.0422	59.0
농어촌		7,500kWh 초과	0.0166	260.0
		500kWh 이하	0.1199	0
		500kWh 초과	0.0339	43.0
	수용가 호수	동력용 수용율 계수		
	1호	0.852		
	2호	0.710		
	3호	0.586		
	4호	0.483		
	5호	0.452		
	6호 이상	0.430		

**제 5단계)** 최종적인 변압기의 이용율(과 부하율)은 변압기 결선 및 공급전압에 따라 각기 다른 수식을 적용한다. 그 이유는 1상 공급 변대의 경우는 계산된 1상 부하( $P_1$ )가 그대로 변압기에 걸리지만 1상과 3상을 모두 공급하는 변대의 경우 각 변압기의 용량(kVA)에 따라 1상 부하의 분담 기준이 다르기 때문이다. 가장 대표적인 주상 변압기 결선방식인 1상 2선식 220V 공급방식, 1상 3선식 110/220V 공급방식 및 3상 4선식 220/380V 공급방식의 경우를 식 (8)에서 식 (13)까지에 나타내었다.

### 1) 1상 2선식 220V 및 1상 3선식 110/220V 공급방식

$$\text{이용율}(\%) = \frac{\text{1상부하}(P_1)}{\text{변압기용량}} \times 100 \quad (8)$$

### 2) 3상 4선식 220/380V 공급방식

① 변압기 A 용량 > 변압기 B 용량 = 변압기 C 용량

$$A\text{변압기 이용율}(\%) = \frac{(P_1 + P_3 \times (1/3)) \times D}{\text{변압기용량}} \times 100 \quad (9)$$

$$B, C\text{변압기 이용율}(\%) = \frac{P_3 \times (1/3)}{\text{변압기용량}} \times 100 \quad (10)$$

② 변압기 A 용량 = 변압기 B 용량 > 변압기 C 용량

$$A, B\text{변압기 이용율}(\%) = \frac{(P_1 \times (1/2) + P_3 \times (1/3)) \times D}{\text{변압기용량}} \times 100 \quad (11)$$

$$C\text{변압기 이용율}(\%) = \frac{P_3 \times (1/3)}{\text{변압기 용량}} \times 100 \quad (12)$$

③ 변압기 A, B 및 C의 용량이 동일한 경우

$$A, B, C\text{변압기 이용율}(\%) = \frac{(P_1 + P_3) \times (1/3) \times D}{A\text{변압기 용량}} \times 100 \quad (13)$$

### 3. 부하상관계수 및 호당 수용률 계수의 재산정

현재 배전 계통의 관리 시스템에서 최대부하 추정을 위해 사용할 수 있는 자료는 수용가 종류, 계약 전력, 지역 정보 등의 매우 제한적인 것이었으므로 저자들은 최대한 다양한 지역에서 부하 데이터를 실측하는 것이 본 연구의 신뢰성을 좌우할 수 있다고 판단하였다. 따라서 본 연구에서 수행한 부하 실측은 상당히 장기간에 걸쳐 대규모로 수행되었다.

#### 3.1 계수 재산정을 위한 데이터 취득

전동용 부하상관계수 및 동력용 수용률 계수 재산정을 위한 데이터 계측 내역을 표 3에 요약하였다. 전동용 부하 데이터 취득은 표 3에서 보는 바와 같이 수용가를 상업지구, 주택지구, 농어촌, 기타 등으로 구분하고 서울과 충남지역의 변압기를 대상으로 데이터를 취득하였다. 또한 동력용 부하 데이터 계측을 위한 변압기 표본의 추출은 대표성을 가질 수 있도록 하기 위해 대도시와 중소도시 농어촌 지역의 한전 지점 및 지사를 고루 선정하였다. 또한 세부적인 표본 변압기의 추출은 랜덤(random)한 방식을 취함으로써 표본 추출의 기본 방식인 “총화 확률 추출[10]”이 가능하도록 하였다. 랜덤 함수는 원칙적으로는 난수표를 사용하는 것이지만 본 논문에서는 프로그램(Visual Basic)을 이용하여 표본을 추출하였으며 프로그램 내부의 랜덤 함수인 “Congruential generator”를 이용하였다.

전동용 부하상관계수에 재산정을 위한 데이터 계측용 최

소 표본 주상변압기의 결정은 식 (14)를 이용하였다 [1, 11].

$$N = \frac{1}{4} \left[ \frac{Z_a}{d} \right]^2 \quad (14)$$

여기서, N: 표본의 크기

$Z_a$ : 신뢰범위에 대응한 상수 값

d: 표본 산출을 위한 추정오차

$Z_a$ 는 일반적으로 확률 밀도 함수(probability density function) 중 정규 분포(normal distribution) 상의 신뢰범위에 해당하는 표준편차(standard deviation) 상수를 의미한다 예를 들어 신뢰범위 90%의 범위는 평균-1.65σ에서 평균+1.65σ이므로  $Z_a$ 는 1.65가된다. 또한 d는 일반적으로 데이터의 측정 오차 등을 의미한다. 본 논문에서는 상수  $Z_a$ 를 신뢰범위 95%에 해당하는 1.96으로 하고 표본 산출을 위한 추정오차인 d를 20%로 하였다. 이에 따라 최소 표본 전동용 변압기의 수는  $24 (= 0.25 \times (1.96/0.2)^2 = 24.01 \approx 24)$ 대로 선정하였다.

표 3의 내부의 숫자들은 모두 변대주(한 전주의 변압기를 묶어서 표현한 단위)의 개수를 나타낸다. 전동용 부하계수 재산정 용 데이터 취득의 경우의 예에서 전용면적 40평 이상의 주택 수용가에 전력을 공급하는 변대를 주택가 대형 변대라 명명하였으며 이에 해당하는 24개의 부하데이터 취득용 표본 변대를 선택하였다는 것이다. 또한 동력용 호당 수용률 계수 재산정 용 데이터 취득의 경우의 예에서 A지점의 경우 어떤 변대를 구성하는 수용가의 수가 4개이고 그 수용가 모두가 동력 수용가로 계약된 부하데이터 취득용 표본 변대주 2개를 선택하였다는 것이다.

각 표본 변압기에는 표 4와 같은 규격의 부하 데이터 계측 장치를 설치하였다. 입력신호 표본 수는 초당 600회이며

표 3 계수 재산정을 위한 데이터 계측 내역

Table 3 Data acquisition for recalculation of coefficients

전동용 부하계수 재산정 용 데이터 취득					동력용 호당수용률 계수 재산정 용 데이터 취득							
계측기간 및 지역		1997년 9월-1998년 8월, 서울 및 충남			계측기간 및 지역		2002년 1월-2002년 8월, 한전 지점					
계측개소		총 264대(서울 180개소, 충남 84개소)			계측개소		총 169대 동력 변압기 및 수용가들					
상세 내역												
상업 지구	지역		서울	충남	계	지역 특성					호수 사업소	
	고밀도	24	x	24		유·농업 소 밀집지역					1호	2호
	중밀도	24	x	24		일반상가 건물 밀집지역					3호	4호
주택 지구	저밀도	24	x	24		시장, 대로변 등					5호	6호
	대형	24	x	24		전용면적 40평 이상					7호	8호
	중형	24	x	24		전용면적 15-30평대					9호	10호
농 어촌	소형	24	x	24		전용면적 15평 이하, 재개발 대상					11호	합계
	농사용	x	24	24		농사용 기기 전력 공급용					12호	13호
	주거용	x	24	24		농가주택					14호	15호
100% 부하	임시	12	12	24		-					I지사	2
	심 갑	6	6	12		심야시간대만 사용 부하					J지점	2
	야 을	6	6	12		주야간 동시사용 부하					K지사	2
	가로등	12	12	24		순수 종량등					L지점	2
계			180	84	264						M지점	2
											합계	26
											26	13
											26	169

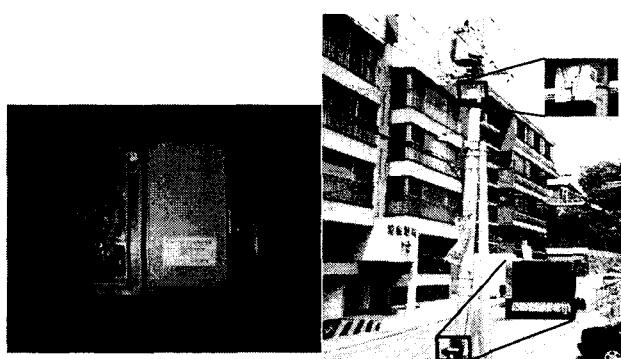
표 4 부하계측용 장치의 규격

Table 4 Specification of load data acquisition device

하드웨어 사양	
CPU	16 bit MC68HC11A1 1 chip
신호처리	8 channel 12 bit A/D converter
계측간격	5, 10, 15, 30분 간격 중 선택 가능, 본 논문에서는 10분 간격 사용
메모리	최대 6개월분 저장가능
입력신호 표본 수	600회/초
계측 사양	
전압(V)	0~280 AC
전류(A)	0~999 AC
유효 전력(kW)	440
무효 전력(kvar)	200
유효 전력량(kWh)	999,999
무효 전력량(kvarh)	999,999
역률(%)	0~100
내/외부 온도(°C)	-25~100

데이터의 저장은 5분, 10분, 15분, 30분 간격 중 선택할 수 있으며 본 논문에서는 10분 간격(1일 144개 데이터 취득)을 사용하였다. 최대 6개월 치의 데이터를 저장할 수 있으며 별도의 무선 데이터 송신장치가 없었으므로 계측기와 연결되어 반대 아래쪽까지 연결되어 있는 통신케이블을 노트북(notebook) 컴퓨터와 직접 연결하여 주기적(약 45이-60일 단위로)으로 데이터를 취득하였다.

부하데이터 취득 장치의 외형을 그림 1(a)에 나타내었으며 편압기에 실제 설치되어 노트북 컴퓨터를 이용하여 데이터를 전송받고 있는 모습을 그림 1(b)에 나타내었다. 취득된 데이터는 그림 2와 같이 변압기 상태 데이터, 수용가 부하상태 데이터 및 수용가 정보 데이터 등 모두 3가지 데이터군으로 데이터베이스화되어 저장되었다. 전등 부하 공급용 변압기 264대와 동력전용 변압기 169대를 합쳐 433대 변압기의 상태 데이터가 저장되었으며, 동력전용 변압기에 대한 수용가 각각의 전류를 측정함으로써 총 676 수용가에 대한 수용가 상태 데이터가 저장되었다. 마지막으로 부하 추정을 위한 정보인 수용가 계약전력, 수용가 종류 및 지역 정보 등의 수용가 정보 데이터는 한전의 데이터베이스 정보를 이용하였다.



(a) 부하 데이터 계측기 외형 (b) 실제 설치된 모습  
그림 1 부하 데이터 계측기 및 실제 설치 사진

Fig. 1 Photo of load data acquisition device and field installation

주상 변압기 최대부하 추정을 위한 부하상관계수 및 수용율 조정

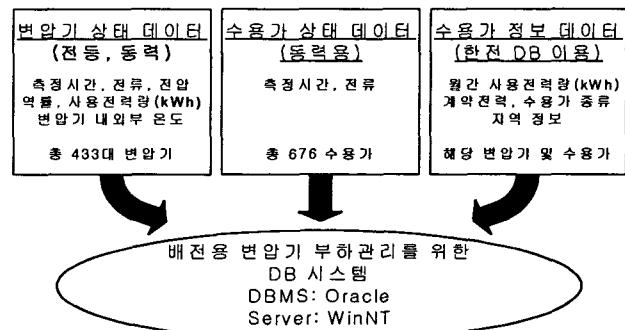


그림 2 취득 데이터의 데이터베이스 구축 개념도  
Fig. 2 Conceptual database structure of the acquired load data

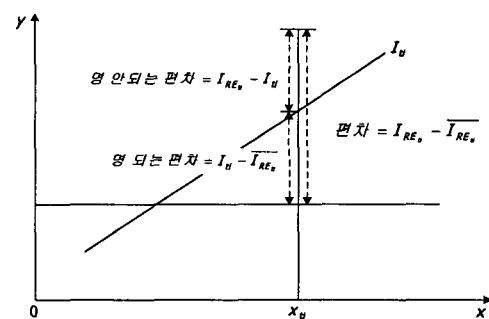


그림 3 회귀식의 편차

Fig. 3 Error of correlation equation

### 3.2 계수 재산정 결과

#### 3.2.1 전등용 부하상관계수 재 산정

전등용 부하상관계수의 재산정을 위해 표 3의 표본 변압기들에서 취득된 실측 데이터를 식 (1)의 1차 상관식을 비롯하여 2차식, 로그함수, 지수함수 등의 여러 가지 형태의 상관 함수들을 사용하여 비교하였으며 가장 결정계수(coefficient of determination)가 높은 함수를 선택하였다. 결정 계수 [12]를 설명하기 위해 우선 회귀식에 의해 발생하는 편차에 대해 그림 3에 도시하였다. 그림 3에서 총 편차의 제곱합은 식 (15)와 같이 나타낼 수 있다. 또한 식 (15)를 다시 표시하면 식 (16)과 같이 된다.

$$e_t = \sum_{i=1}^n (I_{RE_i} - \bar{I}_{RE_i})^2 \quad (15)$$

여기서,  $I_{RE_i}$ :  $i$ 번째 변압기에 대한 실제 측정 부하값(A)

$\bar{I}_{RE_i}$ :  $i$ 번째 변압기에 대한 실측 부하값의 평균(A)

$n$ : 표본 변압기의 개수

$$\sum_{i=1}^n (I_{RE_i} - \bar{I}_{RE_i})^2 = \sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I}_{RE_i})^2 + \sum_{i=1}^n (I_{RE_i} - I_i)^2 \quad (16)$$

여기서,  $I_i$ :  $i$ 번째 변압기에 대해 선택된 회귀식 함수에 의한 추정 부하값(A)

식 (16)의 왼쪽 부분은 총변동(SST)이며 등식의 오른쪽

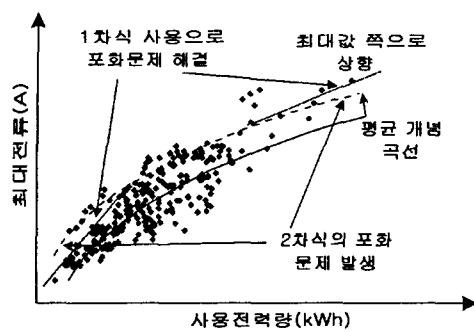


그림 4 2차상관 함수의 문제점

Fig. 4 Weak points of quadratic regression function

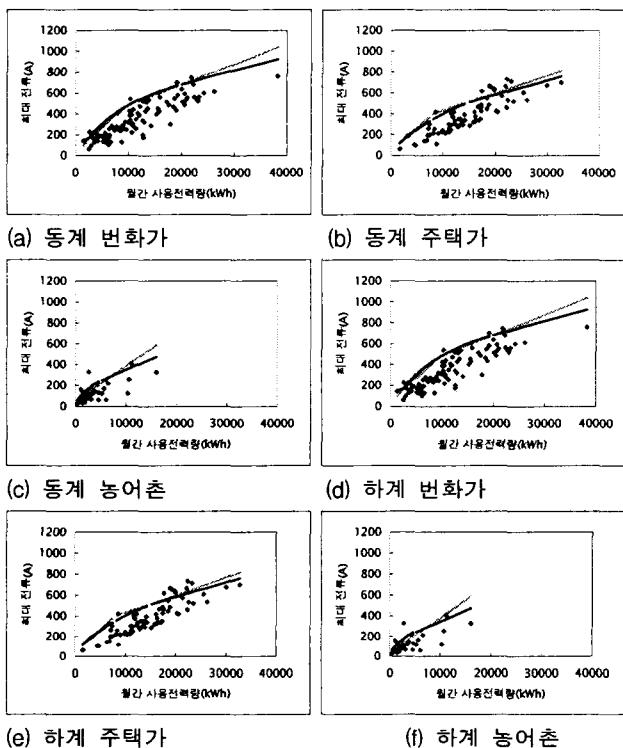


그림 5 재 산정된 상관 곡선

Fig. 5 Plots of adjusted load regression curves

부분의 왼쪽쪽은 회귀선에 의해서는 설명될 수 없는 변동(SSE)이며 오른쪽 항의 경우는 회귀선에 의해 설명될 수 있는 변동(SSR)이다. 결정계수는 식 (17)과 같이 표현할 수 있다.

$$r^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (17)$$

따라서 식 (16)의 각 항목들을 식 (17)에 대입하면

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I}_{RE_i})^2}{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I}_{RE_i})^2 + \sum_{i=1}^n (I_{RE_i} - \bar{I}_i)^2} \quad (18)$$

여기서,  $r^2$ : 실제값과 추정값 사이의 결정계수,  $0 \leq r^2 \leq 1$

관찰점들이 회귀선상에 모여 있을수록 결정계수는 1에 가까우며 이와 반대로 회귀선상에서 멀어질수록 결정계수 값은 0에 가깝게 된다. 각종 학수들을 비교해본 결과 개별 수식의 결정계수 만을 고려하면 식 (19)의 2차 부하상관함수가 월간 사용전력량(kWh)과 최대부하 전류(A) 사이의 상관관계를 가장 잘 표현하여 실측값과의 오차를 최소로 하는 것으로 나타났다.

$$I_{L,B} = Ax^2 + Bx + C \quad (19)$$

여기서,  $A, B, C$ : 부하계산 상관계수

$x$ : 한 전주에 있는 모든 주상변압기들의 월간사용전력량(kWh)의 합

$I_{L,B}$ : 1상 혹은 3상 최대부하 전류(A)

본 논문의 목적은 전체적인 변압기 사고를 예방하기 위한 수식 개발이 목적이므로 이 관점에서 단순히 2차 상관식을 적용하기에는 다음과 같은 문제점이 도출되었다.

1) 평균 개념의 상관식이 가지는 문제: 물론 평균적인 추정 오차의 최소화도 중요하지만 사고를 일으킬 수 있는 것은 동일한 사용전력량 대역에서도 평균값 위쪽의 값들이다. 따라서 그림 4에서 보는 바와 같이 고장 위험의 최소화 측면에서 보면 평균개념의 상관식을 그대로 적용하는 것은 문제가 있을 수 있다. 따라서 2차 상관함수에 산포에 의한 표준 편차를 고려한 허용 오차 범위를 설정하였으며 이는 식 (20)을 사용하였다 [12].

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (I_{RE_i} - I_i)^2} \quad (20)$$

본 논문에서는 허용 오차 범위  $+2\sigma$ (확률분포 상 95.5% 대역)를 보정하여 2차 부하상관함수 적용 시 산출되는 평균값을 상향조정한 부하 상관계수를 작성하였다.

2) 상관 함수 모양의 비 선형성 문제: 식 (20)을 이용하여 상관식 결과를 전체적으로 상향 조정하였을 경우 그림 4에서 보는 바와 같이 사용전력량이 거의 0kWh인 구간에서도 최대부하 전류 값이 발생하는 경우가 생겼으며, 사용전력량이 매우 큰 부분에서도 2차 부하상관함수의 포화로 인해 최대부하 전류 값이 감소하는 경우가 발생하였다. 이는 2차 상관식의 모양이 비 선형성을 띠고 있기 때문이며 이러한 문제점을 보완하기 위하여 사용전력량이 비교적 적거나 매우 큰 구간에는 1차함수를 적용하여 문제점을 보완하였다.

이상의 두 가지 문제점을 보완하여 사용전력량 대역에 따라 식 (1)의 1차 상관식과 식 (19)의 2차 상관식을 혼용한 형태의 최종 상관식을 제안하였다. 최종적으로 도출된 부하상관식의 형태는 그림 5(a)에서 그림 5(f)까지에 도시하였으며 그 세부 내역은 표 5에 나타내었다. 그림 5에서 흐린 회색선은 현재 사용중인 상관식인 1차식 형태이며 진한 검정색 부분은 제안한 1차 및 2차 혼용 상관식 형태이다.  $\pm 3\sigma$  대역(확률분포 상 99.7% 대역)을 초과하는 데이터는 오류

표 5 제안된 전등용 부하상관계수

Table 5 Proposed load regression coefficients of lamp-use customer

기 종 지 역	사용량 (kWh)	1차 및 2차식 혼용			
		A	B	C	비고
변 화 가	2,000이하	0.07	0		1차식
	2,001~10,000	$-4.6875 \times 10^{-7}$	0.04125	-459.375	2차식
	10,001~20,000	$-5.0 \times 10^{-7}$	0.0375	100	2차식
	20,000	0.0199	252		1차식
주 택 가	1,000이하	0.11	0		1차식
	1,001~7,500	$-3.2967 \times 10^{-7}$	0.03665	73.68132	2차식
	7,501~15,000	$-3.7037 \times 10^{-7}$	0.035	88.3333	2차식
	15,000초과	0.01453	312.06154		1차식
농 어	500이하	0.13	0		1차식
	501~5,000	$-2.0 \times 10^{-6}$	0.051	40	2차식
	5,000초과	0.03033	93.333		1차식
변 화 가	2,000이하	0.07	0		1차식
	2,001~10,000	$-2.16667 \times 10^{-6}$	0.0685	11.6667	2차식
	10,001~20,000	$-8.0 \times 10^{-7}$	0.044	120	2차식
	20,000초과	0.01351	409.86667		1차식
주 택 가	1,000이하	0.09	0		1차식
	1,001~7,500	$-1.01723 \times 10^{-6}$	0.04634	44.6785	2차식
	7,501~15,000	$-8.0 \times 10^{-7}$	0.03533	100	2차식
	15,000초과	0.01414	297.87692		1차식
농 어	500이하	0.14	0		1차식
	501~5,000	$-3.8889 \times 10^{-6}$	0.05917	41.3889	2차식
	5,000초과	0.02133	133.33		1차식

표 6 재 산정된 수용률 계수

Table 6 Adjusted demand-factors

계절	호수	1호	2호	3호	4호	5호	6호	10호
동 계	기준계수	0.852	0.710	0.586	0.483	0.452	0.430	0.430
	제안계수 평균	0.705	0.567	0.519	0.429	0.382	0.353	0.356
	표준편차	0.193	0.141	0.177	0.144	0.123	0.196	0.123
	표준편차평균( $\sigma_{avg}$ )	= 0.157						
하 계	평균+0.8 $\sigma_{avg}$	0.831	0.693	0.645	0.554	0.508	0.479	0.482
	평균+ $\sigma_{avg}$	0.862	0.724	0.676	0.586	0.539	0.510	0.513
	평균+1.2 $\sigma_{avg}$	0.893	0.756	0.707	0.617	0.570	0.541	0.544
	평균+1.4 $\sigma_{avg}$	0.925	0.787	0.739	0.647	0.602	0.573	0.576
	기준계수	0.852	0.710	0.586	0.483	0.452	0.430	0.430
	평균	0.622	0.503	0.461	0.448	0.433	0.381	0.401
	표준편차	0.244	0.215	0.191	0.188	0.184	0.187	0.198
	표준편차 평균( $\sigma_{avg}$ )	= 0.201						
	평균+0.8 $\sigma_{avg}$	0.783	0.663	0.622	0.609	0.594	0.542	0.562
	평균+ $\sigma_{avg}$	0.823	0.704	0.662	0.649	0.634	0.582	0.602
	평균+1.2 $\sigma_{avg}$	0.864	0.744	0.702	0.689	0.674	0.622	0.643
	평균+1.4 $\sigma_{avg}$	0.904	0.784	0.742	0.730	0.715	0.662	0.683

데이터로 판단하고 제외시켰다.

### 3.2.2 동력용 호당 수용률계수 재 산정

본 연구에서는 현재 수용률 계수의 문제점을 다음과 같이 요약하였다. 첫째, 수용률 도입 초기단계에 산정된 수용률

계수가 현재 부하상황에도 적절히 적용되는가 여부가 불명확하며 일부지역의 소수의 변압기를 대상으로 데이터를 계측하였으므로 그 대표성에도 문제가 있을 수 있다. 둘째, 계절에 따라 최대부하의 차이가 발생할 것으로 사료되나 현재는 동계 및 하계에 동일한 수용율을 적용하고 있다.

수용율은 수용가의 최대수요전력을 그 수용가 설비의 정격용량의 합으로 나눈 값으로 이러한 정의를 주상 변압기로 확대한다면 주상 변압기에 적용되는 호당 수용률 계수는 식(21)과 같이 나타낼 수 있다.

i번째 변압기의 수용률

$$= \frac{\text{주상 변압기 최대수요 전력}(kW)}{\text{수용가 설비 정격용량의 합}(kW)} = \frac{I_{PRE_i} \times V \times \cos \theta}{\sum_{j=1}^{NC} P_{ij} \times 1000} \quad (21)$$

여기서,  $I_{PRE_i}$ : i번째 변압기의 2차측 실측 최대 전류(A)

$V$ : 변압기 2차측 공급 전압(V)

$P_{ij}$ : i번째 변압기의 j번째 동력수용가의 계약전력(kW)

$NC$ : i번째 변압기에 속한 동력 수용가 수

각 변압기의 2차측 데이터를 기준으로 변압기별 호당 수용율을 계산하였으며 표 6에 나타내었다. 표 6의 항목 중 기존계수는 현재 사용중인 호당 수용율을 나타낸다. 또한 제안계수 평균 항목은 수용가 조사를 통해 식(21)에 의해 구해진 수용율을 각 군집별로 평균한 것을 의미한다. 예를 들어 변대에서 전력을 공급받는 수용가가 모두 동력수용가이며 수용가 호수가 1개인 26개의(표 3 참조) 변대에 대해 계산된 26개 각각의 수용율의 평균을 취한 것이 0.705이다.

표준편차는 각 호수(1호, 2호, ..., 10호까지) 별로 계산된 제안 계수 평균값과 각 호별 수용율 데이터들 간의 표준편차이다. 즉 1호의 예에서 제안계수 평균은 0.705로 구해졌고 이 1호에 속한 26개 변압기 각각의 계산된 수용율 값들 간의 표준편차가 0.193이라는 것이다. 표준편차 계산에 있어  $\pm 2\sigma$  범위를 벗어나는 데이터는 제거하였다. 표준편차 평균( $\sigma_{avg}$ ) 항목은 1호에서 10호까지의 각 표준편차 값들을 다시 평균한 것이다. 현재 사용중인 수용율은 계절에 상관없이 적용되고 있으나 표 6의 경우 동·하계에 대해 구분된 수용율 계수를 제시하였다.

본 논문에서는 수용율 평균값에 대해 표준편차 평균( $\sigma_{avg}$ )의 계수 배(... 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, ...) 만큼씩을 상수배하여 다양한 수용율 계수 조합들을 제시하였다. 제시된 각 계수 조합들은 아직까지는 최종적으로 선택된 것이 아니며 다만 수용율 최종 제안해의 후보들로써 선택된 것이다. 본 논문에서 최종적으로 제시하는 수용율 계수는 다음 절에 설명할 실측데이터를 이용한 계수 검증을 통해 제시되었다.

## 4. 재 산정된 부하상관계수 및 호당 수용율 계수의 검증

### 4.1 검증용 데이터 취득

검증용 데이터는 크게 두 가지로 분류된다. 첫째는, 전등용 부하상관계수의 검증을 위한 데이터로 그 내역은 다음과

같다. 이것은 그림 1에서 언급한 계측기를 설치하여 취득한 데이터로서 계수 재 산정에 이용된 데이터와 측정 개소 및 시기에 있어서 차이가 있다.

1) 1998년에서 2000년까지 부하데이터 취득: 부하 상관계수 재 산정을 위해 설치하였던 264대 변압기 부하관리기 중 서울 N지점의 15대 변압기에 대한 1998년 9월부터 2000년 7월까지의 추가 실측 데이터

2) 2000년에서 2003년까지 부하데이터 취득:

① 서울 지역(N 및 Y 지점) 총 76대변압기, 주로 주택 및 상업용 수용가 대상

② 인천 지역 총 8대변압기, 주로 산업용 수용가 대상

③ 충북 지역 총 16대, 주로 심야 및 농촌 수용가 대상

둘째로는, 동력용 호당수용을 계수를 검증하기 위한 데이터로 2001년에서 2003년까지 서울 Y지점의 3상 4선식 변대주를 대상으로 약 100여대의 변대주에 대해 실측하였다. 이 데이터 실측의 경우는 앞서 설명한 방식과 달리 PCS 통신 방식을 이용한 부하데이터 실측을 이용하였다. 원격감시용 계측장치는 변압기의 각상 전류와 전압을 측정하기 위한 계측장치 부문과 계측된 데이터를 PCS망에 의해 서버로 전송하는 무선모뎀 부문으로 구성되었다. 그림 6에 원격계측 네트워크의 구조를 나타내었다.

## 4.2 검증 결과

### 4.2.1 전등용 부하상관계수의 검증 결과

동·하계 부하상관식 검증을 위해 하계에 대해서는 6, 7, 8월 데이터 사용하였으며, 동계에 대해서는 11, 12, 1, 2월 데이터를 사용하였다. 검증 결과는 표 7에 요약하였으며 표 내부의 오차율 계산은 식 (22)에 의해 계산하였다.

$$\text{오차율}(\epsilon) = \left| \frac{\text{추정값} - \text{실측값}}{\text{실측값}} \right| \times 100\% \quad (22)$$

표 7의 평균은 각 변압기에 대한 기준계수와 제안계수에 의한 오차율의 총합을 변압기 수로 나눈 값이다. 따라서 오차율과 개선율을 산술적으로 평균을 취한것과는 변압기 수의 차이 때문에 차이가 있음에 유의해야 한다. 상관식 정확도 검증 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 주택가: 제안 상관계수의 오차 감소율이 하계의 경우 12% 정도이며, 동계의 경우 2% 정도이다. 특히 15,000kWh 이상급의 대용량 사용 대역에서 하계 및 동계에 대해 약 6% 및 20% 오차개선 효과를 일으킨다. 따라서 제안 상관계수 사용에 문제가 없다고 판단하였다.

2) 변화가: 제안 상관계수의 오차 감소율이 하계 및 동계에 대해 5% 및 6% 정도이다. 특히 15,000kWh 이상급의 대용량 사용 대역에서 하계 및 동계에 대해 약 5% 및 32% 오차개선 효과를 일으킨다. 따라서 제안 상관계수 사용에 문제가 없다고 판단하였다.

### 4.2.2 동력용 호당 수용율의 검증 결과

4.1에서 설명한 Y지점의 원격 데이터 계측시스템에서 정상적으로 운용중인 부하 데이터 계측기 중 해당 수용가의

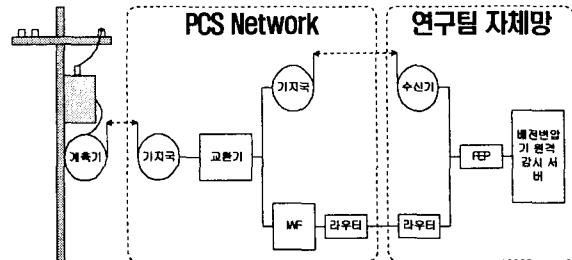


그림 6 원격계측 네트워크 구성

Fig. 6 Configuration of remote data acquisition network

표 7 전등용 부하상관계수 검증 결과

Table 7 Verification results of load regression coefficients for lamp-use customer

사용 데이터	하계					
	오차율(%)		오차개선(%)		주택가	변화가
	기준	제안	기준	제안		
계수	계수	계수	계수	계수		
2001~2003년 data	55	43	42	37	12	5
1998~2000년 data	48	40			8	
-15,000kWh 이상	24	18	32	27	6	5
평균	51	41	42	37	12	5

사용 데이터	동계					
	오차율(%)		오차개선(%)		주택가	변화가
	기준	제안	기준	제안		
계수	계수	계수	계수	계수		
2001~2003년 data	49	51	55	49	-2	6
1998~2000년 data	40	35			5	
-15,000kWh 이상	61	41	68	36	20	32
평균	46	44	55	49	2	6

사용전력량을 기준으로 동력 사용비율이 90%이상인 변압기 20대를 선택하였다. 선택된 변압기들에 대해 표 6에서 언급한 호당 수용률 계수들을 이용한 최대부하 예측값과 실측값을 비교하여 그 결과를 그림 7에 나타내었으며 세부 내역 및 오차계산 결과를 표 8에 표시하였다.

표 8의 오차계산은 식 (24)의 오차계산식에서 절대 값은 뺀 식을 사용하였다. 그 이유는 본 논문에서 제시하고자 하는 수용률 계수의 목적이 예측오차의 감소는 물론 변압기의 과부하 소손사고 예방을 위한 부족 예측 현상의 방지도 있기 때문이다. 표 내부의 값들 중 양수인 것들은 실측값에 비해 추정값이 크다는 것을 의미하며 음수인 것들은 실측값에 비해 추정값이 작다는 것을 의미한다. 표 6에서 설명한 바와 같이 기준계수 항목은 현재 사용중인 수용률을 이용하여 최대부하를 추정했을 경우 실측값과의 오차이며 제안계수 평균+ $\sigma_{avg}$ , 제안계수 평균+1.2 $\sigma_{avg}$  및 제안계수 평균+1.4 $\sigma_{avg}$  항목은 본 논문에서 제안한 수용률 계수의 평균값에 표준편차 평균값의 상수배 들을 더한 수용률 값들을 이용하여 최대부하를 추정했을 경우 실측값과의 오차이다.

그림 8은 하계수용률 제안 값과 기준의 수용률 데이터를

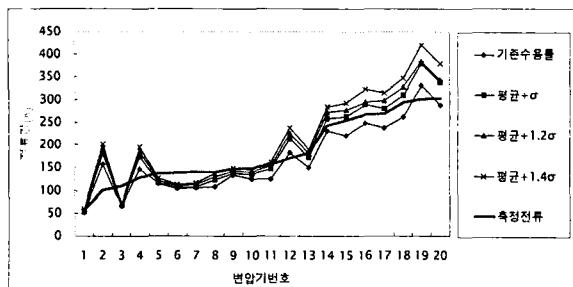


그림 7 측정값과 수용률을 이용한 예측 값 비교 (동계)  
Fig. 7 Comparison between actual and estimation values (winter season)

표 8 실측값과의 오차 비교 (동계)

Table 8 Error comparison between actual and estimation values (winter season)

번호	변압기 용량(kVA)	기준계수 (%)	제안계수 평균 + $\sigma_{avg}$ (%)	제안계수 평균 + 1.2 $\sigma_{avg}$ (%)	제안계수 평균 + 1.4 $\sigma_{avg}$ (%)
1	20-20-20	-7.13	-5.36	-1.21	2.67
2	50-50-50	35.67	44.28	47.23	99.75
3	30-30-30	-68.80	-66.81	-61.05	-35.68
4	50-50-50	12.78	26.58	30.69	52.60
5	50-50-50	-19.30	-17.56	-13.14	-8.27
6	50-50-50	-33.04	-31.50	-26.94	-18.40
7	100-100-100	-31.59	-29.21	-23.89	-16.04
8	75-75-75	-30.35	-14.12	-8.20	-2.65
9	50-50-50	-9.79	-7.89	-3.55	0.40
10	75-75-75	-19.85	-10.97	-6.51	-2.25
11	100-100-100	-26.02	-7.14	-1.56	3.76
12	75-75-75	5.75	19.58	23.96	38.84
13	75-75-75	-21.81	-6.26	-1.03	3.96
14	75-75-75	-5.59	6.11	10.45	16.89
15	75-75-75	-15.49	2.47	7.95	14.93
16	100-100-100	-7.12	8.09	9.44	21.40
17	75-75-75	-12.87	4.37	9.72	17.16
18	75-75-75	-11.96	5.21	10.44	18.00
19	100-100-100	9.38	20.62	21.69	39.98
20	100-100-100	-4.80	10.88	12.03	25.54
평균		19.46	17.25	16.53	21.96

바탕으로 예측한 최대부하를 비교한 그림이며, 표 9는 그 세부내역 및 오차계산 결과를 정리한 것이다. 표 9의 번호는 표 8과의 비교를 위해 변압기마다 붙여진 고유한 번호를 의미한다. 또한 그림을 보기 편하게 하기 위해 실측값의 크기 순으로 배열하였다. 변압기 5번, 7번 및 11번이 실측값과 예측값과의 편차가 큰 부분은 예측 계수의 조정으로는 보정되거나 힘들 것으로 나타났다.

그림 7과 그림 8의 결과를 통해 전반적으로 동하계의 예측값은 실측값의 경향에 맞는 것으로 나타났으며 다음과 같은 분석 결과를 얻었다.

1) 저 예측(under forecasting) 측면: 기존 수용률을 이용한 계측의 결과 전체적으로 저 예측 현상이 나타나 과부하 보호를 위한 목적으로 사용하기는 부적합한 것으로 나타났

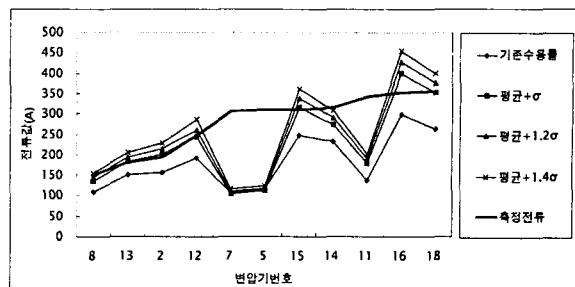


그림 8 측정값과 수용률을 이용한 예측 값 비교 (하계)  
Fig. 8 Comparison between actual and estimation values (summer season)

표 9 실측값과의 오차 비교 (하계)

Table 9 Error comparison between actual and estimation values (summer season)

번호	변압기 용량 (kVA)	기준계수 (%)	제안계수 평균 + $\sigma_{avg}$ (%)	제안계수 평균 + 1.2 $\sigma_{avg}$ (%)	제안계수 평균 + 1.4 $\sigma_{avg}$ (%)
2	50-50-50	-19.24	3.81	10.62	17.28
5	50-50-50	-62.77	-63.68	-61.77	-59.89
7	100-100-100	-65.31	-65.74	-63.83	-61.93
8	75-75-75	-27.93	-9.59	-3.67	2.14
11	100-100-100	-60.07	-47.77	-44.33	-40.95
12	75-75-75	-22.20	-0.89	6.03	16.86
13	75-75-75	-16.41	1.81	8.29	14.70
14	75-75-75	-26.37	-13.16	-7.91	-2.73
15	75-75-75	-20.62	1.71	9.13	16.36
16	100-100-100	-15.31	13.64	21.35	28.88
18	75-75-75	-26.03	-0.74	5.99	12.57
평균		32.93	20.23	22.08	24.94

으나 제안계수들은 이러한 저 예측 문제를 상당히 경감시키는 것으로 나타났다.

2) 전반적인 오차율 측면: 표 8을 통해 동계의 경우 평균 + 1.2σ 정도의 계수가 사례연구 상 가장 오차가 적은 것으로 나타났으며 표 9를 통해 하계의 경우 평균 + 1.0σ 정도의 제안 계수가 사례연구 상 가장 오차가 적은 것으로 나타났다.

## 5. 결 론

본 논문은 주상 변압기의 최적 부하관리 방안 연구의 하나인 최대부하 예측방안의 개선을 위한 전등용 부하상관계수 및 동력용 호당 수용률 조정방안에 대해 다루었다. 264 대의 표본 변압기들에 대한 부하 실측을 통해 얻어진 데이터를 바탕으로 기존의 일차 상관식을 개선하여 일차 및 이차 상관식의 혼용 기법을 제시하였으며 그 계수를 제안하였다. 상관계수의 검증 결과 전반적으로 새로 산정된 계수들이 예측 오차를 감소시킬 수 있었으며 또한 사용 전력량이 높은 대역에서의 오차감소 폭이 더욱 큼을 확인할 수 있었다. 한국전력공사 13개 지점의 총 169대 변압기 및 해당 수용가들에 대한 부하 데이터를 실측하여 동력용 호당 수용률 계수를 재산정 하였다. 제안한 수용률 계수는 평균 값 및 그것의 표준편차에 대한 상수배를 합한 것으로 여러

가지 조합을 제안하였다. 제안한 수용을 계수 조합들의 검증을 위해 원격 데이터 계측 시스템을 통해 얻어진 데이터를 사용하였다. 검증 결과 제안한 계수들이 현재 수용을 계수가 가지고 있는 부족 예측 문제점을 해결할 수 있는 것으로 나타났으며 기존 계수에 비해 예측 오차를 상당히 감소시킬 수 있음을 입증하였다. 기존의 수용을 데이터보다 개선된 계수산정과 그 검증을 통해 전력회사의 효율적 변압기 운용 및 부하관리를 위한 실무자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 박창호, 주상변압기 부하 관리의 향상에 관한 연구 (TR), 한국전력공사 전력연구원, 1999년.
- [2] J.A. Jardini, H.P. Schmidt, C.M.V. Tahan, C.C.B. De Oliveira, and S.U. Ahn, "Distribution transformer loss of life evaluation: A novel approach based on daily load profiles," IEEE Trans. on PWRD, vol. 15, no. 1, pp. 361-366, Jan 2000.
- [3] 박창호, 김두봉, 김기현, 배주천, 윤상윤 및 김재철, "주상변압기 부하상관식 조정에 관한 실증적 연구," 한국 조명·전기설비학회 논문지, 제 14권, 제 1호, pp. 102-108, 2000년 1월.
- [4] A. Sargent, R.P. Broadwater, J.C. Thompson, and J. Nazarko, "Estimation of diversity and kWh-to-peak-kW factors from load research data," IEEE Trans. on PWRS, vol. 9, no. 3, pp. 1450-1456, Aug 1994.
- [5] R.P. Broadwater, A. Sargent, A. Yarali, H.E. Shaalan, and J. Nazarko, "Estimating substation peaks from load research data," IEEE Trans. on PWRD, vol. 12, no. 1, pp. 451-456, Jan 1997.
- [6] S.-Y. Yun, J.-C. Kim, and C.-H. Park, "Peak load estimation of pole-transformer using load regression equation and assumption of cooling load for customer," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 24, no. 9, pp. 743-749, Nov 2002.
- [7] 박창호, 배전용 변압기 최적 부하관리 방안 연구 (TR), 한국전력공사 전력연구원, 2003년.
- [8] 한국전력공사 전력연구원, 배전용변압기 과부하 소손사례 실태분석서, 한국전력공사, 2001년.
- [9] 한국전력공사 배전처, 저압부하관리 업무편람, 한국전력공사, 1999년 5월.
- [10] 오창혁, 신재경, 오펑식, 우정수, 이인석, 김영훈, 문승호 및 신양규 공저, 표본 조사, 교우사, 1995년.
- [11] 김우철 외 7인, 개정 현대통계학, 영지문화사, 1983년.
- [12] 이효구 외, 통계학, 경세원(經世院), 1997년.

### 저 자 소 개



#### 윤상윤 (尹尙潤)

1970년 8월 28일생. 1996년 숭실대 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 LG산전 전력연구소 선임연구원.

E-mail : syyun@lgis.com



#### 김재철 (金載哲)

1955년 7월 12일 생. 1979년 숭실대 전기공학과 졸업. 1987년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 숭실대학교 어시스트시스템공학부 교수.

E-mail : jckim@ee.ssu.ac.kr



#### 박경호 (朴京浩)

1978년 5월 5일생. 2002년 서울산업대학교 전기공학과 졸업. 현재 숭실대학교 디학원 전기공학과 석사과정 졸업예정.

E-mail : ssu2002@empal.com



#### 문종필 (文鍾必)

1977년 5월 27일생. 2000년 숭실대 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.

E-mail : pichard@ee.ssu.ac.kr



#### 이진 (李鎭)

1963년 1월 12일생. 1985년 서울대 전기공학과 졸업. 2002년 충남대 전기공학과 졸업(석사). 현재 LG산전 전력연구소 책임연구원.

E-mail : jinlee@lgis.com



#### 박창호 (朴昌浩)

1956년 10월 24일생. 1981년 연세대학 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 케전 전력연구원 배전기술그룹 책임연구원.

E-mail : chpark@kepri.re.kr