

종합병원의 전력소비 특성을 고려한 회귀분석이론을 이용한 수용률 기준 설정

(Recommended Practice for Demand Factor using Regression Analysis Theory depending on
Power Consumption Characteristics in General Hospitals)

김세동*, 신호섭, 김수길, 오기봉

(Se-Dong Kim*, Hyo-Seop Shin, Soo-Gil Kim, Kie-Bong Oh)

요 약

It is increased electrical energy consumption with the development of intelligence society in the general hospitals and thus an energy conservation through efficient use of electricity became more important. This paper shows a reasonable design demand factor in office buildings, that was made by the systematic and statistical way considering actual conditions, such as investigated electric equipment capacity, peak power consumption, demand factor, etc., for 32 general hospitals and 9 electrical design offices. In this dissertation, it is necessary to analyse the key features and general trend from the investigated data. It made an analysis of the feature parameters, such as average, standard deviation, median, maximum, minimum and thus it was carried linear and nonlinear regression analysis.

1. 서 론

종합병원과 같은 전력다소비 건축물에 있어서는 용도, 설비 구성을 고려한 부하 사용특성을 파악하여 효율적인 전력관리가 요구되며, 기존의 병원에 대한 준공 이후의 운전특성 및 부하사용 특성을 실측, 분석하여 종합병원의 설비구성 특성과 사용 특성을 고려한 부하밀도, 수용률 기준 등의 합리적인 전기설비 설계 기준이 필요하다.

본 연구에서는 종합병원을 중심으로 전력 소비 특성을 조사 분석하였고, 아울러 전기설비설계사무소에서 적용하고 있는 수용률을 조사 분석하였다. 조사된 자료 전체의 특징과 중심적인 경향을 알아 내기 위해서 평균값, 중앙값, 표준편차, 최대값, 최소값, 회귀모형식, 최소제곱평균오차 등의 확률 통계적 파라미터들을 수용률 기준 설정을 위한 특징 파라미터로 선택하였다. 그리고, 데이터의 신뢰성을 비교 분석하기 위하여 선형적인 방법과 비선형적인 방법으로 그 경향을 추정하여 곡선으로 나타내었다. 이러한 방법에 의하여 얻어진 분석 자료를 이용하여 적정 변압기 용량 설정을 위하여 데이터베이스화하였고, 변전설비용량의 합리적인 설계를 위하여 수용률 기준 적용시에 필요한 자료로 활용할 수 있으리라 사료된다.

2. 변압기의 용량 선정과 수용률 고찰

2.1 변압기의 용량 선정

변압기는 1차 권선에 공급된 전력을 최소의 손실로 2차 권선에 전달하는 전기기기이다. 변압기의 정격 용량이란 정격 2차 전압, 정격 주파수 및 정격 역률에 있어서 지정된 온도상승 한도를 초과하지 않고, 2차 단자간에 얻어지는 피상전력[kVA]으로 표시한다. 변압기 용량의 적정 설계는 매우 중요하며, 신뢰성있는 변압기의 운전과 운용비의 절감을 도모할 수 있다.

그러나, 변압기 용량의 부하설비용량에 대하여 적정하지 못하면 다음과 같은 장애가 발생할 수 있다.

(1) 변압기 용량이 부하의 최대수요전력에 비해 너무 작으면 변압기를 과부하 운전하게 되고, 이것이 높아지면 수명 단축을 초래하는 결과가 된다. 또한, 부하손의 증가로 효율이 저하한다.

(2) 반면에 변압기 용량이 너무 크게 되면 설비 비용의 증가, 계약 전력의 증대, 무부하 손실의 증대 등 직접적으로 경제적 부담이 발생한다.

일반적으로 변압기용량을 산출하기 위해서 먼저 실시하는 작업이 부하조사이다. 부하의 분포 단위마다 부하종류, 전압, 용량 및 대수를 종합한 부하일람표를 작성하고, 이를 토대로 각 부하의 입력치를 계산하여 집계

한 다음에 수용률을 곱해서 최대수요전력을 산출한다. 그리고 여기에 장래의 증가분을 감안하여 변압기용량을 산정한다. 그러나, 계획시점에서는 부하가 모두 결정되어 있지 않고 프로세스도 유동적이며 변경되는 수가 많으므로 이러한 부분은 각종 통계자료를 참고로 해서 추정 계산한다. 변압기 용량은 다음과 같이 산정한다.

(1) 조명, 전열, 일반동력, 냉동기부하, 특수 부하 등의 부하종별 설비용량을 결정한다. 그러나, 기본 설계 단계에서는 부하설비용량을 추정하기가 어려워 각종 국내의 통계자료를 활용한다.

(2) 부하설비용량으로부터 적정 수용률을 곱하여 최대수요전력을 예측하고, 역률, 전압변동률을 고려하고, 아울러 장래의 부하 증가율을 감안한 후, 각 부하종별 변압기의 용량[kVA]을 결정한다.

특히 주변압기 용량은 부하 전체의 특성, 수용률, 부동률, 부하율 등을 가능한 정확히 파악하고, 장래의 부하 증가율, 운전 조건 및 급전 방식 등의 관련 사항을 충분히 검토하여 적절한 용량이 산정되도록 설계하여야 한다.[3-5]

2.2 수용률

수용률은 건물내에 시설된 전 부하설비 용량에 대하여 실제로 사용되고 있는 부하의 최대수요전력의 비율을 나타내는 계수로서, 처음 전기설비를 설계할 때에 수변전설비의 용량이나 간선 굵기 등을 결정하는데 필요한 지표이다.

건물의 전기설비는 일부만 가동되는 경우가 많으며, 최대 용량으로 가동된다고 하더라도 최대 부하시간은 시시각각으로 변화되며, 최대 부하는 총부하 설비용량에 비해 적은 것이 일반적이다. 이처럼 수용률은 전력 수요 정도를 나타내기 위하여 사용되는 것으로서 건물의 용도, 부하의 종류, 운전 기간 등에 따라 다르게 나타난다. 수용률은 변압기뱅크별 또는 부하 종류별로 표준값을 제시하여야 하나 앞에서 설명한 바와 같이 관련 자료 및 기준이 매우 미흡한 실정이다.[5]

3. 실태 분석 및 결과 고찰

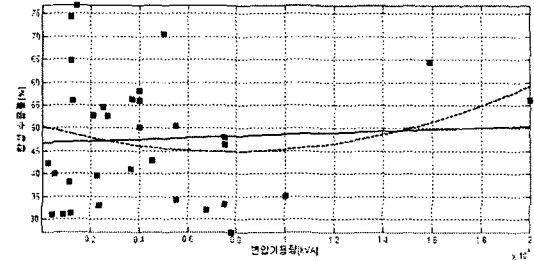
3.1 합성 수용률/부동률의 실태 분석

종합병원을 대상으로 전체 부하설비용량과 최대수요전력을 조사하였다. 조사된 최대수요전력은 수전단에 설치되어 있는 최대수요전력계(DM)로부터 조사된 값이며, 수용률/부동률이 함께 반영된 것이므로 수용률/부동률에 대하여 분석하였다.

그림 1은 조사 종합병원의 합성 수용률/부동률의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포 되어 있는 수용률/부동률값은 27.2 ~ 76.85[%]이고, 평균값은

47.55[%], 표준 편차는 13.8 [%]로 분석되었다.

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터 건수
X : 총부하설비용량(kVA)	20000	250	4505	4394	3675	32
Y : 합성수용률/부동률[%]	76.85	27.2	47.55	13.825	47.2	



항 목	회귀 모형식	최소제곱 평균오차	상관 계수
1차 선형	$y = -0.000x + 46.721$	13.3332	0.059
2차 비선형	$y = 0.000x^2 - 0.001x + 50.407$	13.0693	8

그림 1. 합성 수용률/부동률 적용실태와 회귀모형식

그림에서 보는 바와 같이 조사된 총부하설비용량과 합성 수용률/부동률과의 상관관계는 아주 낮은 것으로 분석되었고, 최소제곱 평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서는 13.33[%], 2차 비선형 회귀 모형식에서는 13.07[%] 정도 발생한 것으로 분석되었다. 조사 결과 분석으로는 수용가에 시설된 전력용 변압기에 여유가 많은 것으로 판단된다.

3.2 일반전등전열부하의 수용률 적용실태 및 기준(안)

일반전등전열부하용 변압기가 시설되어 있는 수용가를 대상으로 분석하였으며, 최대수요전력은 수전일지상에 작성된 자료를 기준으로 하였고, 부하설비용량은 수용가에서 제시한 용량을 기준으로 하였다.

그림 2는 조사 종합병원의 일반전등전열부하용 수용률의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포 되어 있는 일반 전등전열부하용 수용률값은 26.6 ~ 82.0[%]이고, 평균값은 48.99[%], 표준 편차 15.87[%]로 분석되었다.

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터 건수
X : 일반전등전열 하설비용량(kVA)	1970	28	796.7	610.9	615.5	26
Y : 수용률[%]	82.0	26.6	48.99	15.87	49.5	

항 목	회귀 모형식	최소제곱 평균오차	상관 계수
1차 선형	$y = -0.001x + 49.441$	15.5606	-0.02
2차 비선형	$y = 0.000x^2 - 0.0023x + 48.772$	15.5542	14

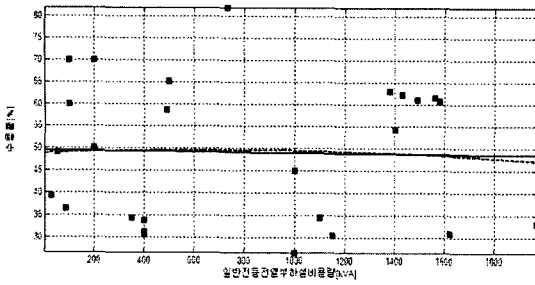


그림 2. 일반전등전열부하용 수용률 적용상태와 회귀모형식

그림에서 보는 바와 같이 조사된 부하설비용량과 수용률과의 상관관계는 매우 낮은 정도를 나타내는 것으로 분석되었다. 그리고, 최소제곱 평균오차는 1차 선형 회귀 모형식에서 15.5606[%], 2차 비선형 회귀 모형식에서 15.5542[%] 정도 발생한 것으로 분석되었다.

조사 결과 분석으로는 조사 대상수용가의 13개소는 시설된 일반전등전열부하용 변압기에 여유가 많은 것으로 판단되며, 일반 전등전열부하로 연결되는 부하 종류로는 전등부하 이외 병원건물의 특성상 각종 의료용 전기기기와 사무자동화기기 등이 연결되는 경우가 있으므로 연결 부하의 특성을 종합적으로 검토하여야 한다.

그리고, 표 1은 전기설비설계사무소에서 적용하고 있는 일반전등전열 부하의 설계 수용률을 통계 처리한 것이며, 평균값은 64.4%, 표준 편차는 13.1%로 분석되었다.

표 1. 일반 전등전열 부하용 설계 수용률

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
일반전등전열부하용설계수용률	80	50	64.44	13.1	60	9

따라서, 실태조사 수용률 및 설계 수용률의 평균값을 기준으로 장래 부하증가율, 고조파발생기기로 인한 변압기 출력감소를 등을 고려한 일반전등전열 부하의 수용률 범위는 45 ~ 75 [%](평균값 60 [%]) 정도를 반영하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

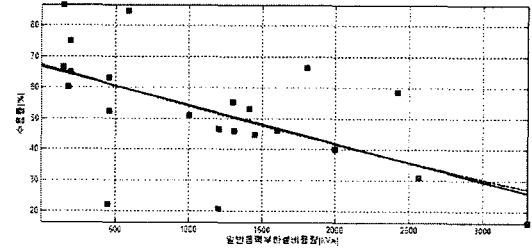
3.3 일반 동력부하의 수용률 적용상태 및 기준(안)

일반동력부하용 변압기가 시설되어 있는 수용가를 대상으로 분석하였으며, 최대수요전력은 수전일지 상에 작성된 자료를 기준으로 하였고, 부하설비용량은 수용가에서 제시한 용량을 기준으로 하였다.

그림 3은 조사 종합병원의 일반동력부하용 수용률의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포 되어 있는 일반동력부하용 수용률값은 16.36 ~ 86.66[%]이고,

평균값은 52.4[%], 표준 편차 18.89[%]로 분석되었다.

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
X : 일반동력부하설비용량[kVA]	3300	150	1154	881.85	1200	22
Y : 수용률[%]	86.66	16.36	52.39	18.89	52.79	



항 목	회귀 모형식	최소제곱 평균오차	상관 계수
1차 선형	$y = -0.012x + 66.68$	15.0766	-0.57
2차 비선형	$y = 0.000x^2 - 0.014x + 67.3048$	15.0711	73

그림 3. 일반동력부하용 수용률 적용상태와 회귀모형식

그림에서 보는 바와 같이 조사된 부하설비용량과 수용률과의 상관관계는 중간 정도를 나타내는 것으로 분석되었다. 그리고, 최소제곱 평균오차는 1차 선형 회귀 모형식에서 15.07[%], 2차 비선형 회귀 모형식에서 15.07[%] 정도 발생한 것으로 분석되었다.

조사 결과 분석으로는 조사대상 수용가 9개소는 시설된 일반동력부하용 변압기에 여유가 많은 것으로 판단되며, 일반동력부하로 연결되는 부하 종류로는 동력부하 이외 병원 건물의 특성상 각종 의료용 전기기기, 에어컨 부하 등이 연결되는 경우가 있으므로 연결 부하의 특성을 종합적으로 검토하여야 한다.

그리고, 표 2는 전기설비설계사무소에서 적용하고 있는 일반동력 부하의 설계 수용률을 통계 처리한 것이며, 평균값은 61.56%, 표준 편차는 10.92%로 분석되었다.

표 2. 일반동력 부하용 설계 수용률

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
일반동력부하용 설계수용률	75	40	61.56	10.92	65	9

따라서, 실태조사 수용률 및 설계 수용률의 평균값을 기준으로 장래 부하증가율, 고조파발생기기로 인한 변압기 출력감소를 등을 고려한 일반동력 부하의 수용률 범위는 40 ~ 70 [%](평균값 55 [%]) 정도를 반영하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

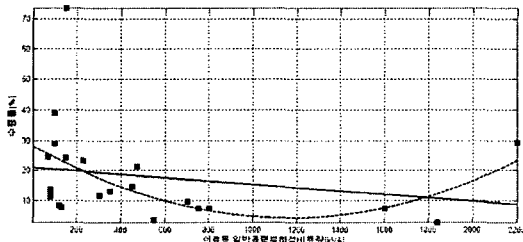
3.4 의료용일반동력부하의 수용률 적용실태 및 기준(안)

의료용 일반동력 부하용 변압기가 시설되어 있는 수용가를 대상으로 분석하였으며, 최대수요전력은 수전일 지 상에 작성된 자료를 기준으로 하였고, 부하설비용량은 수용가에서 제시한 용량을 기준으로 하였다.

그림 4는 조사 병원의 의료용 일반동력부하용 수용률의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포 되어 있는 수용률값은 2.71 ~ 73.33[%]이고, 평균값은 17.93[%], 표준 편차 15.56[%]로 분석되었다.

그림에서 보는 바와 같이 조사된 부하설비용량과 수용률과의 상관관계는 낮게 나타내는 것으로 분석되었다. 그리고, 최소제곱 평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서 14.85[%], 2차 비선형 회귀 모형식에서 13.64[%] 정도 발생한 것으로 분석되었다.

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
X : 의료용 일반동력 부하설비용량[kVA]	2200	70	513.7	608.8	265	22
Y : 수용률[%]	73.3	2.71	17.9	15.56	12.82	



항 목	회귀 모형식	최소제곱 평균오차	상관계수
1차 선형	$y = -0.005x + 20.7466$	14.8503	-0.21
2차비선형	$y = 0.000x^2 + 0.041x + 28.134$	13.6402	40

그림 4. 의료용 일반동력부하의 수용률 적용 실태와 회귀모형식

조사 결과 분석으로는 조사대상 수용가 중 21개소에 시설된 의료용 일반동력 부하의 변압기에 여유가 많은 것으로 판단되며, 의료용 일반동력 부하에 연결되는 경우가 있으므로 연결 부하의 특성을 종합적으로 검토하여야 한다.

그리고, 표 3은 전기설비설계사무소에서 적용하고 있는 의료용 일반동력 부하의 설계 수용률을 통계 처리한 것이며, 평균값은 70[%], 표준 편차는 15[%]로 분석되었다.

따라서, 의료용 일반동력 부하의 수용률 범위는 31 ~ 59 [%](평균값 45 [%]) 정도를 반영하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

표 3. 의료용 일반동력 부하용 설계 수용률

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
의료용 일반동력부하용 설계 수용률	100	60	70	15	65	7

4. 수용률 기준(안)

표 4는 앞에서 조사 분석한 종합병원의 부하 종별 수용률 적용 실태 결과 및 평균값, 그리고 설계 수용률의 평균값을 토대로 부하 종별 수용률 기준(안)을 종합 정리하여 나타낸 것이다.[8] 최근에는 각종 의료용 전기기기, 개인용 컴퓨터, 소형 및 대형 사무자동화기기, 무정전전원장치 등과 같은 고조파 발생원 부하가 상당히 보급되면서 k-factor를 고려한 변압기 시설용량을 산정하는 관계로 수용률 기준이 낮게 유지되는 경우가 많으므로 고조파발생기기로 인한 변압기 출력감소를 등을 고려하여 설계에 반영하는 것이 필요하다.

표 4. 종합병원의 부하 종별 수용률 적용 실태와 수용률 기준(안)

부 하 용 도	조사 수용률 평균값	설계 수용률 평균값	평균 값	수용률 범위
합성 수용률/부등률	37.04%			24~50%
일반진등전열부하용 수용률	49.0%	64.44%	60%	45~75%
일반동력부하용 수용률	52.4%	61.56%	55%	40~70%
냉방동력부하용 수용률	76.7%	85.0%	85%	70~100%
비상동력부하용 수용률	41.9%	81.63%	60%	43~87%
수술실, 의료 및 전산용 UPS 부하의 수용률	23.6%	89.29%	55%	39~71%
의료용 일반동력부하의 수용률	17.9%	70%	45%	31~59%

5. 결 론

본 연구에서는 종합병원의 전력 소비 특성을 고려하여 합리적인 수용률 기준(안) 설정을 위하여 전력 사용 실태를 중점적으로 분석하였으며, 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 변압기 용량 산정에 중요한 지표인 합성 수용률의 적용 현황은 37.04%로 조사되었으며, 대부분의 수용가에서 변압기 용량이 과다 설계되었음을 알 수 있었다.

따라서, 우리나라의 기후 특성과 설비 가동 특성을 고려한 수용률/부동률의 기준이 필요하다.

3) 부하종별 수용률 평균값 기준은 일반전등전열부하용이 60%, 일반동력부하용이 55%, 냉방동력부하용이 85%, 비상동력부하용이 60%, 비상전등전열부하용은 60%, 수술실 의료 및 전산용 UPS부하용은 55%, 의료용 일반동력부하용은 45%, 의료용 비상전력부하용은 50% 등으로 분석되었다.

본고에서는 종합병원을 대상으로 부하설비에 대한 운전 특성을 조사 분석하고 통계 처리하여 기준(안)을 제시함으로써 종합병원의 규모별 또는 부하 용도별로 수용률 기준을 적용하여 적절한 변압기용량을 산정하는데 크게 기여하리라 사료된다. 지면 관계로 다양한 부하 용도별 통계 자료를 제시하지 못하였음을 양지하여 주시기 바라오며, 관련 자료는 한국조명전기설비학회 및 (주)도서출판 기다리를 통하여 판매되고 있음을 알려드립니다.

앞에서 설명한 바와 같이 '수용률 기준'이 변압기 용량 산정에 매우 중요한 역할을 하게 되며, 더욱이 한국 전력공사와의 '계약전력' 산정에 적용되고, 전력회사의 '공급 능력'에 까지 영향을 미치기 때문에 국가적인 차원에서 우리나라 실정에 적합한 '수용률 기준'을 정립하는데 계속적으로 노력하여야 한다고 생각한다.

References

- [1] Robert D. Briskman, IEEE Recommended Practice for Electric Power Systems in Commercial Buildings, Std 241-1974
- [2] National Electrical Code, NFPA, 1981
- [3] 지철근 외, 건물의 수요율 및 부동률 기준 설정에 관한 연구, 조명전기설비학회지, Vol. 4, No. 1. 1990
- [4] 김세동, 사무소건물의 전기설비 용량 산정에 관한 연구, 전기연, 91-FE-112, 1991
- [5] 김세동, 지하상가시설의 부하특성과 수용률 기준 설정에 관한 연구, 조명전기설비학회지, Vol. 10, No. 4. 1996
- [6] 대한전기협회, 전기연감, pp.80~85, 2002
- [7] 대한전기협회, 내선규정전문위원회, 최신개정판, 내선규정, pp.198~199, 2001
- [8] 김세동, 오기봉 외, 업무용건물의 전력소비특성을 고려한 수용률 기준 제정연구, 한국조명전기설비학회, 2004