

건축물의 전력소비특성을 고려한 수용률 실태 분석 및 기준(안)

김세동 <두원공과대학 교수/공학박사/기술사>

1 머리말

최근 병원의 기능이 고도화되고 있고, 다양한 특수 ME(의료용 전자기기)기기가 보급되고 있다. 그러므로 병원전기설비에 있어서는 일반 업무용 건축물과는 다른 전원설비의 신뢰성, 안전성, ME의 전격(電擊) 방지 조치, 쾌적환경을 위한 조명환경 확보 등 종합적인 대책이 요구되고 있다.

또한 순간정전도 허용하지 않는 ME기기의 사용 급증과 사무자동화기기의 급속한 보급, 쾌적한 환경 조성을 위한 냉방부하의 증가 등으로 전기에너지의 소비는 급속히 증가되고 있다.

따라서 병원시설과 같은 전력다소비 건축물에 있어서는 용도, 설비 구성을 고려한 부하 사용특성을 파악하여 효율적인 전력관리가 요구되며, 또한 하절기에 발생하는 최대수요전력의 적정한 제어를 통한 합리적인 전력관리가 절실하게 요구되고, 병원전기설비의 안전기준을 토대로 한 설계단계에서의 합리적인 전기설비 설계가 요청되고 있다.

산업자원부의 지원으로 수행한 '전력관리 효율화 운용방안' 연구보고서에 의하면, 전력다소비 건축물에 있어서는 부하관리가 효율적으로 이루어지지 못하여 상당한 전력손실을 초래하는 것으로 분석되었으

며, 이의 원인으로는 기본설계 단계에서부터의 정확한 부하계산 및 용량계산이 이루어지지 못한 것으로 지적되고 있다.

따라서 병원시설물에 대한 합리적 전기설비 설계에 필요한 기본 설계 및 실시 설계자료 등의 구축이 절실하게 필요하며, 기존의 병원시설에 대한 준공 이후의 운전특성 및 부하사용 특성을 실측, 분석하여 병원의 설비구성 특성과 사용 특성을 고려한 부하밀도, 수용률 기준 등의 합리적인 전기설비 설계 기준이 필요하다.

본연구에서는 병원시설물의 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/부등률 기준(안) 설정에 필요한 자료로 활용할

수 있으리라 사료된다.

2. 수용률 적용 실태 및 기준(안)

2.1 합성 수용률/부등률 적용 실태

대부분의 수용가에서 변압기의 배크 방식이 2단 강압 또는 직접강압 방식을 혼용하여 채택하고 있고, 조사된 최대수요전력은 수전단에 설치되어 있는 최대수요전력 계(DM)로부터 조사된 값이며, 수용률/부등률이 함께 반영된 것이므로 수용률/부등률에 대하여 분석하였다.

그림 1은 조사 병원 건물의 합성 수용률/부등률의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 수용률/부등률값은 27.2~76.85(%) (단, 변압기 시설용량 기준)이고, 평균값은 47.55(%), 표준 편차는 13.825(%)로 분석되었다. 여기서 수용가의 정확한 부하설비용량을 추정하기가 어려워 시설된 변압기 용량(2단 강압시에는 주변압기 용량을, 1단 강압

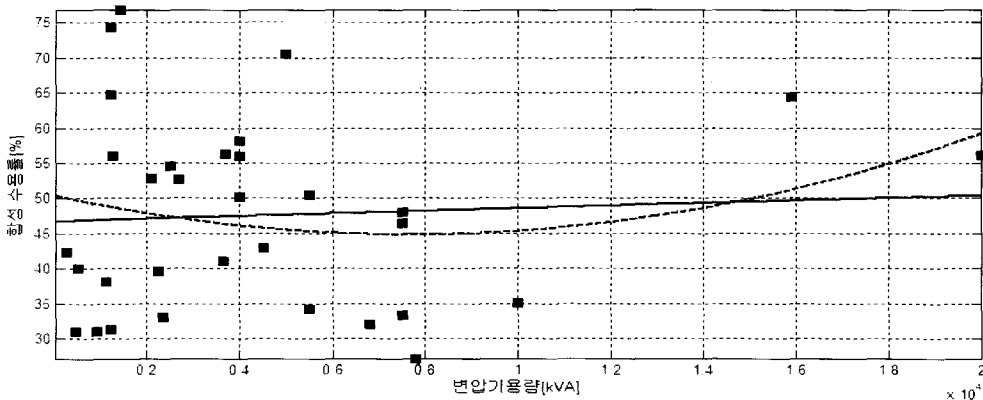
시에는 전체 변압기용량을 기준으로 함)을 기준으로 하였으며, 당초 설계 단계시 변압기 용량은 부하설비용량의 75~85(%)로 설계되었다고 가정할 경우, 전체 부하설비용량 기준시 조사된 합성 수용률/부등률은 20.4~65.3(%) 정도로 분포된 것으로 판단된다. 평균값은 38.04(%)로 판단된다.

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

2.2 일반전등전열부하의 수용률 적용실태 및 기준(안)

병원의 부하 중에서 일반전등전열부하용 변압기가

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
X : 변압기용량(kVA)	20000	250	4505	4394	3675	32
Y : 합성수용률/부등률(%)	76.85	27.2	47.55	13.825	47.2	



항 목	회귀 모형식	최소제곱평균오차	상관계수
1차 선형	$y = 0.000 x + 46.721$	13.3332	0.0598
2차 비선형	$y = 0.000 x^2 - 0.001 x + 50.407$	13.0693	

그림 1. 병원 건물의 변압기시설용량 기준 합성수용률/부등률 적용실태와 회귀모형식

특집 : 수용률 기준

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

그림 2는 조사 병원 건물의 일반전등전열부하용 수용률의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 일반전등전열부하용 수용률값은 26.6~82.07[%]이고, 평균값은 48.99[%], 표준 편차는 15.87[%]로 분석되었다.

그림에서 보는 바와 같이 조사된 부하설비용량과 수용률과의 상관관계는 매우 낮은 정도를 나타내는 것으로 분석되었다. 그리고 최소제공 평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서 15.56[%], 2차 비선형 회귀 모형식에서 15.55[%] 정도 발생한 것으로 분석되었다.

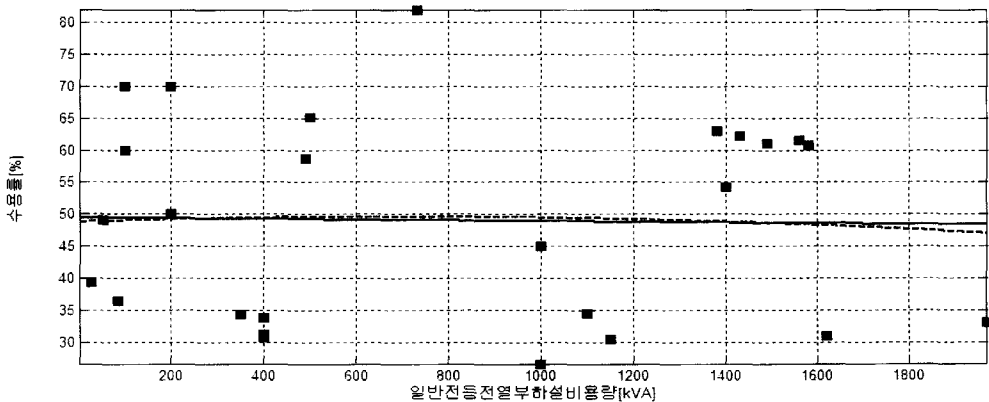
조사 결과 분석으로는 조사 대상수용가의 13개소

정도는 시설된 일반전등전열부하용 변압기에 여유가 많은 것으로 판단되며, 일반전등전열부하로 연결되는 부하 종류로는 전등부하 이외 병원건물의 특성상 각종 의료용 전기기기부하, 사무자동화기기 등이 연결되는 경우가 있으므로 연결 부하의 특성을 종합적으로 검토하여야 한다.

그리고 표 1은 전기설비설계사무소에서 적용하고 있는 일반전등전열부하의 설계 수용률을 통계 처리한 것이며, 평균값은 64.44[%], 표준 편차는 13.1[%]로 분석되었다.

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

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
X : 일반전등전열 부하설비용량(kVA)	1970	28	796.73	610.91	615.5	26
Y : 수용률[%]	82.07	26.6	48.99	15.87	49.5	



항 목	회귀 모형식	최소제공평균오차	상관계수
1차 선형	$y = -0.001x + 49.441$	15.5606	-0.0214
2차 비선형	$y = -0.000x^2 + 0.0023x + 48.7723$	15.5542	

그림 2. 병원 건물의 일반전등전열부하용 수용률 적용실태와 회귀모형식

표 1. 일반전등전열부하용 설계 수용률

항 목	최대치	최소치	평균치	표준 편차	중앙치	데이터 건수
일반전등 전열부하용 설계 수용률	80	50	64.44	13.1	60	9

2.3 일반동력부하의 수용률 적용실태 및 기준(안)

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

그림 3은 조사 병원 건물의 일반동력부하용 수용률의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포 되어 있는 일반동력부하용 수용률값은 16.36~86.66(%) 이고, 평균값은 52.40(%), 표준 편차는 8.89(%)로

분석되었다.

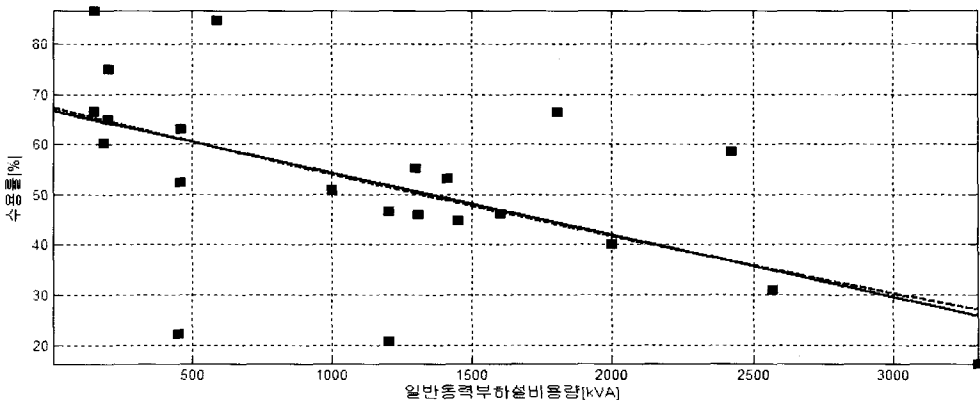
그림에서 보는 바와 같이 조사된 부하설비용량과 수용률과의 상관관계는 중간 정도를 나타내는 것으로 분석되었다. 그리고 최소제공 평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서 15.08(%), 2차 비선형 회귀 모형식에서 15.07(%) 정도 발생한 것으로 분석되었다.

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

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

따라서 실태조사 수용률 및 설계 수용률의 평균값

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
X : 일반동력부하설비용량(kVA)	3300	150	1154	881.85	1200	22
Y : 수용률(%)	86.66	16.36	52.398	18.89	52.79	



항 목	회귀 모형식	최소제공평균오차	상관계수
1차 선형	$y = -0.012x + 66.68$	15.0766	-0.5773
2차 비선형	$y = 0.000x^2 - 0.014x + 67.3048$	15.0711	

그림 3. 병원 건물의 일반동력부하용 수용률 적용실태와 회귀모형식

특집 : 수용률 기준

을 기준으로 장래 부하증가를, 고조파발생기기로 인한 변압기 출력감소를 등을 고려한 일반동력 부하의 수용률 범위는 40~70(%) (평균값 55(%) 정도를 반영하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

표 2. 일반동력부하용 설계 수용률

항 목	최대치	최소치	평균치	표준 편차	중앙치	데이터 건수
일반동력부하용 설계 수용률	75	40	61.56	10.92	65	9

3. 일본의 부하밀도 및 변전시설밀도 적용 실태

일본전설공업협회에서 제공하는 전기설비데이터 자료 중 병원 건물을 중심으로 2000~2001년도의 데이터에서 연면적과 변압기시설용량, 부하종별 부하

시설용량 등을 조사 분석하였다.

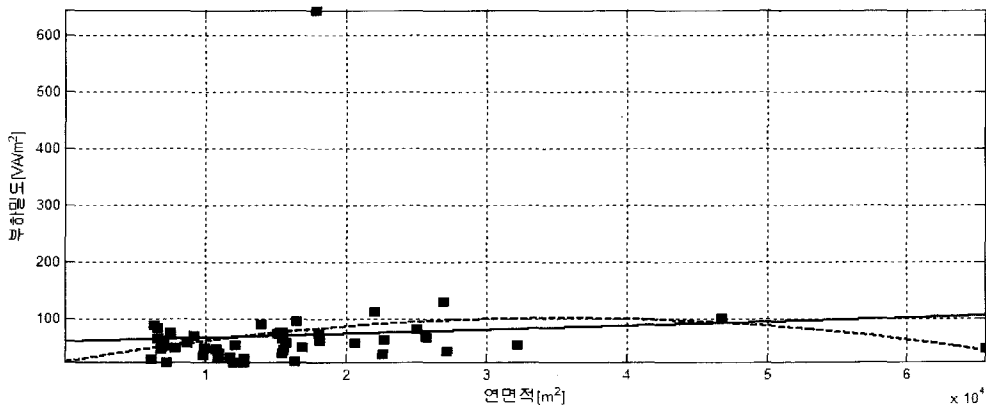
3.1 일반전등전열부하의 부하밀도 적용실태

일반전등전열부하용 변압기용량과 부하설비용량이 제시되어 있는 수용기를 대상으로 분석하였으며, 그림 4는 조사 병원건물의 일반전등전열부하용 부하밀도의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포 되어 있는 일반전등전열부하용 부하밀도는 22.16~644.15(VA/m²)이고, 평균값은 70.54(VA/m²), 표준 편차 87.9(VA/m²)로 분석되었다.

그림에서 보는 바와 같이 조사된 부하밀도와 연면적과의 상관관계는 매우 낮은 정도를 나타내는 것으로 분석되었다. 그리고, 최소제공 평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서 86.67(VA/m²), 2차 비선형 회귀 모형식에서 85.53(VA/m²) 정도 발생한 것으로 분석되었다.

따라서, 일반전등전열부하로 연결되는 부하 종류

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
X : 연면적(m ²)	65637	6234	16048	10794	14482.5	48
Y : 부하밀도(VA/ m ²)	644.15	22.16	70.54	87.9	57.23	



항 목	회귀 모형식	최소제공평균오차	상관계수
1차 선형	$y = 0.000x + 59.446$	86.6686	0.0849
2차 비선형	$y = -0.0000x^2 + 0.0044x + 23.0946$	85.5318	

그림 4. 병원건물의 일반전등전열부하용 부하밀도 적용실태와 회귀모형식

로는 전등부하 이외 병원건물의 특성상 각종 의료용 전기기기부하, 사무자동화기기 등이 연결되는 경우가 있으므로 연결 부하의 특성을 종합적으로 검토하여야 한다.

3.2 일반전등전열부하의 변전시설밀도 적용 실태

일반전등전열부하용 변압기용량과 부하설비용량이 제시되어 있는 수용가를 대상으로 분석하였으며, 그림 5는 조사 병원건물의 일반전등전열부하용 변전시설밀도의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 일반전등전열부하용 변전시설밀도는 15.23~197.69[VA/m²]이고, 평균값은 47.0[VA/m²], 표준 편차 25.34[VA/m²]로 분석되었다.

그림에서 보는 바와 같이 조사된 변전시설밀도와 연면적과의 상관관계는 매우 낮은 정도를 나타내는

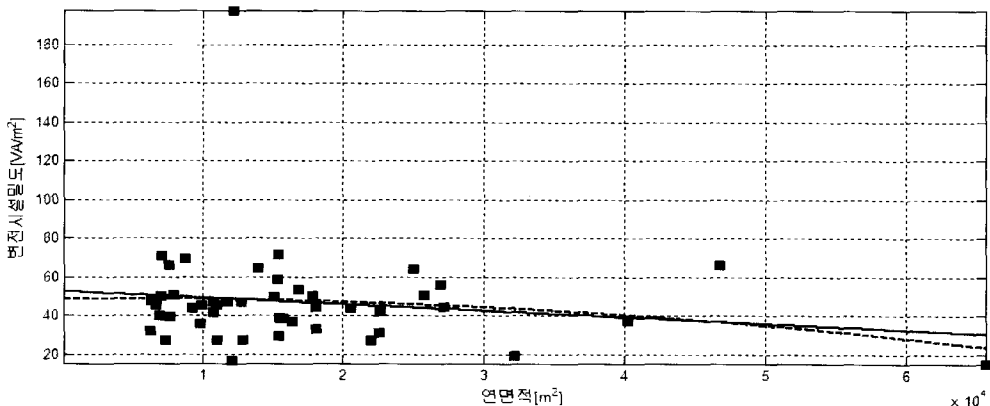
것으로 분석되었다. 그리고 최소제곱 평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서 24.82[VA/m²], 2차 비선형 회귀 모형식에서 24.78[VA/m²] 정도 발생한 것으로 분석되었다.

따라서 일반전등전열부하로 연결되는 부하 종류로는 전등부하 이외 병원건물의 특성상 각종 의료용 전기기기부하, 사무자동화기기 등이 연결되는 경우가 있으므로 연결 부하의 특성을 종합적으로 검토하여야 한다.

3.3 일반동력부하의 부하밀도 적용실태

일반동력부하용 변압기용량과 부하설비용량이 제시되어 있는 수용가를 대상으로 분석하였으며, 그림 6은 조사 병원건물의 일반동력부하용 부하밀도의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 일반동력부하용 부하밀도는 11.04~236.67[VA/

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
X : 연면적[m ²]	65637	6234	16251.8	11098	13900	51
Y : 변전시설밀도[VA/ m ²]	197.69	15.23	47	25.34	44.38	

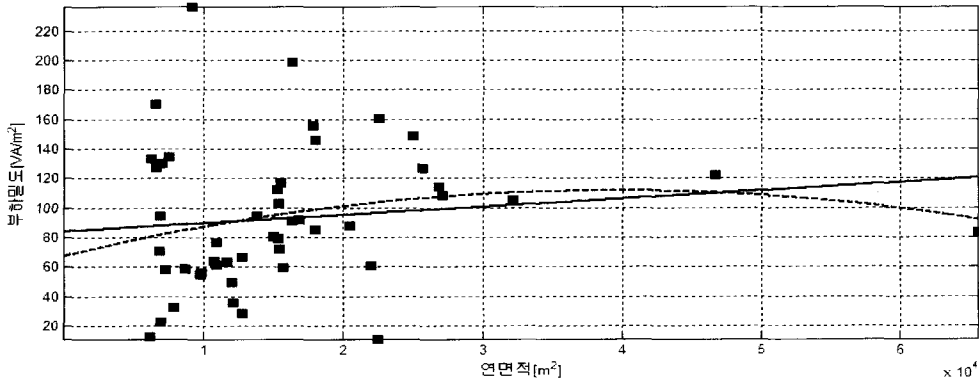


항 목	회귀 모형식	최소제곱평균오차	상관계수
1차 선형	$y = -0.000x + 52.4649$	24.8226	-0.147
2차 비선형	$y = -0.0000x^2 + 0.000x + 48.7241$	24.7795	

그림 5. 일본 병원건물의 일반전등전열부하용 변전시설밀도 적용실태와 회귀모형식

특집 : 수용률 기준

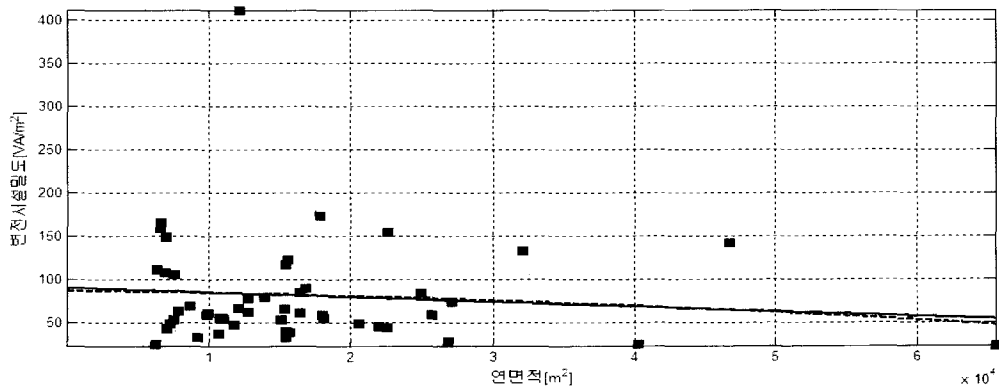
항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
X : 연면적[m^2]	65637	6234	16048	10794	14482.5	48
Y : 일반동력 부하밀도[VA/ m^2]	236.67	11.04	92.84	47.4	86.48	



항 목	회귀 모형식	최소제곱평균오차	상관계수
1차 선형	$y = 0.001 x + 84.0066$	46.5411	0.1255
2차 비선형	$y = -0.0000 x^2 + 0.0022 x + 67.364$	46.0982	

그림 6. 일본 병원건물의 일반동력부하용 부하밀도 적용상태와 회귀모형식

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
X : 연면적[m^2]	65637	6234	16439.9	11128	14482.5	50
Y : 변전시설밀도[VA/ m^2]	411.86	22.85	80.89	62.4	60.83	



항 목	회귀 모형식	최소제곱평균오차	상관계수
1차 선형	$y = -0.000 x + 90.0495$	61.4758	-0.0993
2차 비선형	$y = -0.0000 x^2 - 0.000 x + 86.242$	61.4584	

그림 7. 일본 병원건물의 일반동력부하용 변전시설밀도 적용상태와 회귀모형식

m²)이고, 평균값은 92.84(VA/m²), 표준 편차 47.4(VA/m²)로 분석되었다.

그림에서 보는 바와 같이 조사된 부하밀도와 연면적과의 상관관계는 매우 낮은 정도를 나타내는 것으로 분석되었다. 그리고 최소제공 평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서 46.54(VA/m²), 2차 비선형 회귀 모형식에서 46.10(VA/m²) 정도 발생한 것으로 분석되었다.

따라서 일반동력부하로 연결되는 부하 종류로는 일반동력부하 이외 대학건물의 특성상 각종 시험용 전열부하, 승강기, 소방설비, 곤돌라 등이 연결되는 경우가 있으므로 연결 부하의 특성을 종합적으로 검토하여야 한다.

3.4 일반동력부하의 변전시설밀도 적용실태

일반동력부하용 변압기용량과 부하설비용량이 제시되어 있는 수용가를 대상으로 분석하였으며, 그림 7은 조사 병원건물의 일반동력부하용 변전시설밀도의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 일반동력부하용 변전시설밀도는 22.85~411.86(VA/m²)이고, 평균값은 80.89(VA/m²), 표준 편차 62.4(VA/m²)로 분석되었다.

그림에서 보는 바와 같이 조사된 변전시설밀도와 연

면적과의 상관관계는 매우 낮은 정도를 나타내는 것으로 분석되었다. 그리고 최소제공 평균오차는 1차 선형 회귀 모형식에서 61.48(VA/m²), 2차 비선형 회귀 모형식에서 61.46(VA/m²) 정도 발생한 것으로 분석되었다.

따라서 일반동력부하로 연결되는 부하 종류로는 일반동력부하 이외 대학건물의 특성상 각종 시험용 전열부하, 승강기, 소방설비, 곤돌라 등이 연결되는 경우가 있으므로 연결 부하의 특성을 종합적으로 검토하여야 한다.

4. 수용률 기준(안) 결과 고찰

4.1 병원시설물의 부하종별 적용 실태 결과 및 기준(안)

표 3은 앞에서 조사 분석한 병원 건물의 부하종별 수용률 적용 실태 결과 및 평균값, 그리고 설계 수용률의 평균값을 토대로 부하 종별 수용률 기준(안)을 종합 정리하여 나타낸 것이다. 최근에는 개인용 컴퓨터, 의료용 전자기기, 무정전전원장치 등과 같은 고조파 발생원 부하가 상당히 보급되면서 k-factor를 고려한 변압기 시설용량을 산정하는 관계로 수용률 기준이 낮게 유지되는 경우가 많으므로 이러한 사항을 고려하여 설계에 반영하는 것이 필요하다.

표 3. 병원시설물의 부하 종별 수용률 기준(안)

부 하 용 도	조사 수용률 평균값	설계 수용률 평균값	평균값	수용률 범위
합성 수용률/부등률	37.04(%)			24~50(%)
일반전등전열부하용 수용률	49.0(%)	64.44(%)	60(%)	45~75(%)
일반동력부하용 수용률	52.4(%)	61.56(%)	55(%)	40~70(%)
냉방동력부하용 수용률	76.7(%)	85(%)	85(%)	70~100(%)
비상동력부하용 수용률	41.9(%)	81.63(%)	60(%)	43~87(%)
비상전등전열부하용 수용률	44(%)	83.75(%)	60(%)	45~75(%)
수술실, 의료 및 전산용 UPS부하의 수용률	23.6(%)	89.29(%)	55(%)	39~71(%)
의료용 일반동력부하의 수용률	17.9(%)	70(%)	45(%)	31~59(%)
의료용 비상전력부하의 수용률	10.59(%)	84.17(%)	50(%)	43~57(%)

표 4. 일본 병원 건물의 부하밀도와 변전시설밀도 적용 실태

부 하 용 도	실태 조사 평균값	최소제곱 평균오차	적용 수용률
일반전등전열부하의 부하밀도	70.54[VA/mm ²]	86.1[VA/mm ²]	67[%]
일반전등전열부하의 변전시설밀도	47[VA/mm ²]	24.8[VA/mm ²]	
일반동력부하의 부하밀도	92.84[VA/mm ²]	46.3[VA/mm ²]	87[%]
일반동력부하의 변전시설밀도	80.89[VA/mm ²]	61.46[VA/mm ²]	

4.2 일본 병원 건물의 부하종별 적용 실태 결과 및 적용 수용률

표 4는 앞에서 조사 분석한 병원 건물의 부하 종별 부하밀도와 변전시설밀도의 자료로부터 설계 수용률 적용 실태 결과를 정리하여 나타낸 것이다. 표에서 보는 바와 같이 적용 수용률의 경우, 일반 전등전열부하는 67[%], 일반동력부하는 87[%]로 분석된다. 다만 여기에서 일반전등전열부하에는 각종 사무자동화 기기 및 의료용 전자기기에 대한 부하도 포함한 것으로 사료되며, 일반동력부하에는 의료용 기기(X-ray 등) 및 냉방동력부하도 포함한 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 병원시설물의 부하설비에 대한 운전 특성을 조사 분석하고 통계 처리하여 기준(안)을 제시함으로써 병원시설물의 규모에 적합하고 부하 용도별로 수용률 기준을 적용하고, 적절한 변압기용량을 산정하는데 크게 기여하리라 사료된다. 지면 관계로 다양한 부하 용도별 통계 자료를 제시하지 못하였음을 양지하여 주시기 바라오며, 보다 많은 자료는 한국조명전기설비학회 및 (주)도서출판 기다리를 통하여 입수할 수 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 정

립하는데 계속적으로 노력하여야 한다고 생각한다.

참 고 문 헌

- (1) 오기봉, 김세동 외, 업무용건물의 전력소비특성을 고려한 수용률 기준 제정연구, 한국조명전기설비학회, 2004.
- (2) 대한전기협회, 내선규정전문위원회, 최신개정판, 내선규정, pp.198~199, 2003.
- (3) 전기공급약관, 한국전력공사, 2003.

◇ 저 자 소 개 ◇



김세동(金世東)

1956년 3월 3일생. 1980년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1986년 동대학원 졸업. 2000년 서울시립대 전기전자공학부 대학원 졸업(박사). 한국전력공사(1979~1984) 근무. 한국건설기술연구원(1984~1997.2) 수석연구원 역임. 현재 두원공과대학 전기공학과 교수. 전기설비기술사. 본 학회 학술이사, 편수위원. 관심분야 : 전력설비 진단 및 DSP, 전기설비 최적설계.