

사무소용 빌딩의 부하종별 국내외 수용률 적용실태 분석에 관한 연구

김 세 동
두원공과대학

Recommended Practice for a Reasonable Design Demand Factor and Analysis of Power Consumption Characteristics by loads in Office Buildings

Se-Dong Kim
Doowon Technical College

Abstract - 사무소용 빌딩과 같은 전력다소비 건물에서는 전력의 효율적 이용에 의한 에너지절감을 위해서 설계 단계부터 합리적인 전기설비 설계가 요청되고 있다. 본 연구에서는 사무소용 빌딩을 중심으로 일본과 우리나라에 있어서 일반전등전열부하 및 일반동력부하의 전력소비특성을 조사 분석하였고, 전기설계사무소의 설계단계에서 적용하는 수용률값을 조사하였다. 조사된 자료의 전체 특징과 중심적인 경향을 알아 보기 위해서 평균값, 표준편차, 최대값, 최소값, 중앙값 등의 특징파라미터를 분석하였고, 회귀분석을 통한 선형적인 방법과 비선형적인 방법으로 그 경향을 확인하였다. 그 결과 국내 합성 수용률/부동률 평균값은 46.4%로 나타나 전력용변압기는 용량에 있어서 많은 여유를 가지고 있는 것으로 나타났다. 이를 토대로 변전설비용량의 합리적인 설계를 위하여 부하종별 수용률 기준(안)을 제시하였고, 변전설비용량 산정에 필요한 자료를 데이터베이스화하였다

1. 서 론

사무소용 빌딩에 있어서 빌딩 기능이 점차 고도 정보화됨에 따라 전기 소비가 급격히 증가하고 있다. 이와 같은 전력다소비 건물은 전력의 효율적 이용에 의한 에너지 절감은 물론 전기에너지의 이용 합리화 축진이 더욱 요구된다.

따라서, 효율적인 전기설비 설계를 위해서는 빌딩의 부하 특성에 적합한 합리적이고 통계적인 부하 종별 수용률 적용 기준이 필요하다. 또한, 수용률은 적용값에 따라 변압기 용량 산정에 중요한 요인으로 작용되기도 하고, 전력회사와의 계약전력 및 송배전설비·발전설비의 용량 결정에 까지도 영향을 미치는 매우 중요한 요인이기도 하다. 그러나, 우리나라는 부하종류별 부하 가동 특성을 고려한 수용률 기준과 이를 제정하기 위해 필요한 우리나라의 통계적인 자료가 매우 부족하여 외국의 데이터를 이용하고 있는 실정이다.[1]

대한전기협회에서 제정한 '내선규정'에서 전등 및 소형 전기기계기구에 대해서 건축물의 종류에 따라 수용률을 제시하고 있다[2]. 한국동력자원연구소의 연구보고서(KE86-16)에 의하면 부하설비용량 기준 1000kW 이하와 이상의 건물로 구분하여 수용률 기준을 제시하였으나 합성 수용률 개념을 나타낸 것으로 설계 단계에서 부하종별로 적용할 수 없는 문제점이 지적된다[3]. 그리고, 한국건설기술연구원의 연구보고서(건기연 91-FE-112)에 의하면 상가없는 건물과 상가있는 건물로 구분하여 수용률 기준을 제시하였으나 주변압기를 설계하는데 참고가 가능하지만 직접강하방식의 부하종별 변압기 용량을 산정하는데 적용할 수 없는 문제점이 지적된다[4].

본 연구에서는 사무소용 빌딩을 중심으로 일본과 우리나라에 있어서 부하종류별 전력소비특성을 조사 분석하였고, 전기설계사무소에서 설계단계시 적용하는 수용률

을 조사하였다. 조사된 자료의 전체 특징과 중심적인 경향을 알아 보기 위해서 평균값, 표준편차, 최대값, 최소값, 중앙값 등의 특징파라미터를 분석하였고, 회귀분석을 통한 선형적인 방법과 비선형적인 방법으로 그 경향을 추정하여 곡선으로 나타내었다. 이를 토대로 변전설비용량의 합리적인 설계를 위하여 부하종별 수용률 기준(안)을 제시하였고, 변전설비용량 산정에 필요한 자료를 데이터베이스화하였다

2. 본 론

2.1 수용률 고찰

수용률은 건물 내에 시설된 전 부하설비용량에 대하여 실제로 사용되고 있는 부하의 최대수요전력의 비율을 나타내는 계수로서, 처음 전기설비를 설계할 때에 변전설비용량 및 간선 굵기 등을 결정하는데 필요한 지표이다.

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

2.2 내선규정 및 선행 연구결과 검토

2.2.1 내선규정에서 정하고 있는 수용률 기준

대한전기협회에서 제정한 내선규정(205-8절)에서 전등 및 소형전기기계기구에 대해서 수용률 기준을 표 1과 같이 제시하고 있다[2]. 그러나, 동력부하 및 특수 부하(OA 부하, 전산부하 등)에 대한 수용률 기준은 제시된 자료가 없다.

표 1. 내선규정에서 정하고 있는 수용률 기준
Table 1. Demand factor prescribing by indoor wiring regulation

건축물의 종류	수용률[%]
호텔, 병원, 주택, 기숙사, 여관, 창고	10kVA 초과 부하 50%
사무실, 은행, 학교	10kVA 초과 부하 70%

2.2.2 한국동력자원연구소의 연구보고서

동력자원연구소의 보고서(KE86-16)에 의하면 표 2와 같이 1000kW 이하의 사무소용 건물과 1000kW 이상의 사무소용 건물로 구분하여 수용률 기준을 설정하였다. 그러나, 수용률의 개념이 합성 수용률을 나타낸 것으로

설계 단계시 부하종별 수용률을 적용하는데 문제점이 지적된다.

2.2.3 한국건설기술연구원의 연구보고서

한국건설기술연구원의 보고서(간기연91-FE-112)에 의하면, 표 3과 같이 5~10년의 최대수요전력 증가율을 감안, 상가없는 건물과 상가있는 건물로 구분하여 수용률 기준(안)을 제시하였다. 그러나, 수용률의 개념이 합성 수용률을 나타낸 것이며, 주변압기를 설계하는 데에는 참고가 가능하지만 직접강하방식의 변압기는 설계 단계에서 적용할 수 없는 문제점이 지적된다.

표 2. 동력자원연구소의 수용률 설정 기준(안)

Table 2. The proper standard of demand factor by KIER

부하설비용량	수용률 실태	수용률 기준(안)
1000kW 이하	56.6%	65%
1000kW 초과	48.2%	55%

표 3. 한국건설기술연구원의 수용률 설정 기준(안)

Table 3. The proper standard of demand factor by KICT

구분	수용률 실태	수용률 기준(안)	
		최대수요전력 증가 여유율 14%(5년) 고려시	최대수요전력 증가 여유율 35%(10년) 고려시
전체 건물에 대한 평균	48.7%		
상가없는 건물	46.2%	50%	60%
상가있는 건물	50.2%	55%	65%
1979년 이전 건물	52.1%		
1980~1985년사이의 건물	49.6%		
1986년 이후의 건물	45.4%		

2.3 국내 부하종별 특징파라미터 및 회귀분석이론을 이용한 수용률 분석

2.3.1 일반전등전열부하의 수용률 분석

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

표 4는 조사 빌딩 42개소의 일반전등전열부하용 수용률의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 일반전등전열부하용 수용률값은 35.5 ~ 95.5[%]이고, 평균값은 60.8[%], 표준 편차 13.9[%]로 분석되었다.

표 4. 일반전등전열부하의 수용률 적용실태 분석

Table 4. Present status of demand factor in lighting and outlet loads

항목	최대값	최소값	평균값	표준편차	중앙값	데이터건수
일반전등전열부하설비용량[kVA]	3,150	45	787.1	691.8	542.5	42
수용률[%]	95.5	35.5	60.8	13.9	58.2	

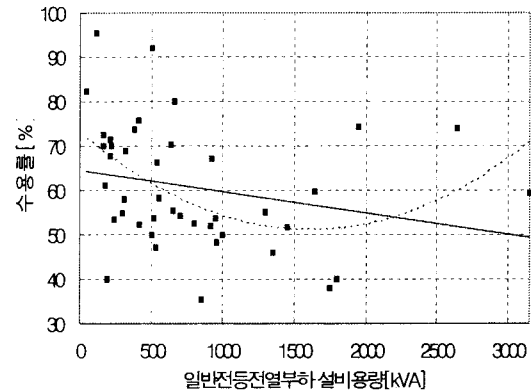
그림 1에서 보는 바와 같이 조사된 부하설비용량과 수용률과는 약한 상관관계를 나타내는 것으로 분석되었다. 그리고, 최소제곱평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서 13.3[%], 2차 비선형 회귀모형식에서 12.2[%] 발생한 것으로 분석되었다.

조사 결과, 조사 수용가 대부분이 일반전등전열부하용 변압기의 여유가 많게 운전되고 있는 것으로 판단되며, 일반전등전열부하로 연결되는 부하 종류로는 전등부하 이외 각종 사무자동화기기 등이다.

표 5는 전기설계사무소 34개소에서 조사한 일반전등전열부하의 설계 수용률을 통계 처리한 것이며, 평균값은

65.2[%], 표준 편차는 9.2[%]로 분석되었다.

일반적으로 변압기용량은 설계시 관련 기준에 준하여 수용률을 적용하고 있지만, 실제 현장에서 운영된 결과의 실태조사 평균 수용률이 60.8[%]로 낮게 운영되고 있었으므로 내선규정에서 정하고 있는 수용률 기준보다 설계수용률을 낮게 설정하여도 무리가 없는 것으로 판단된다.



항목	회귀 모형식	최소제곱평균오차	상관계수
1차선형	$y = -0.0048x + 64.563$	13.3	-0.24
2차비선형	$y = 0.000008x^2 - 0.0272x + 73.017$	12.2	

그림 1. 일반전등전열부하의 수용률 적용 실태 및 회귀 모형식

Fig. 1. Present status of demand factor and regression analysis model in lighting and outlet loads

표 5. 일반전등전열부하용 설계수용률

Table 5. Demand factor of design in lighting and outlet loads

항목	최대값	최소값	평균값	표준편차	중앙값	데이터건수
일반전등전열부하용 설계수용률	100	57	65.2	9.2	60	34

따라서, 일반전등전열부하의 수용률 범위는 60 ~ 65[%](중앙값 63[%]) 정도를 반영하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 다만, 장래 부하증가율과 고조파발생기기로 인한 변압기 출력감소를 등을 고려하여 일반전등전열부하의 수용률을 설계자가 조정할 수 있다.

2.3.2 일반동력부하의 수용률 분석.

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

표 6은 조사 빌딩 42개소의 일반동력부하용 수용률의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 일반동력부하용 수용률값은 22.5 ~ 89.9[%]이고, 평균값은 48.3[%], 표준 편차 18.2[%]로 분석되었다.

표 6. 일반동력부하의 수용률 적용실태 분석

Table 6. Present status of demand factor in general motor loads

항목	최대값	최소값	평균값	표준편차	중앙값	데이터건수
일반동력부하설비용량[kVA]	4,307	210	1,255.3	1,121.3	800	42
수용률[%]	89.9	22.5	48.3	18.2	44.5	

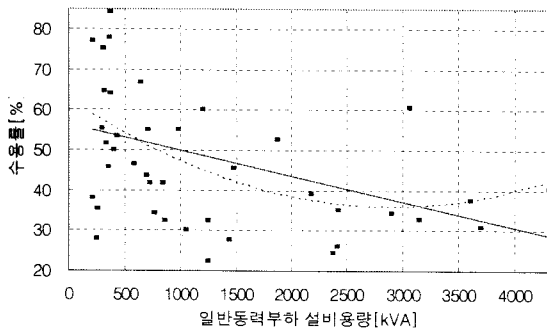
그림 2에서 보는 바와 같이 조사된 부하설비용량과 수용률과는 중간정도의 상관관계를 나타내는 것으로 분석

되었다. 그리고, 최소제공평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서 16.5[%], 2차 비선형 회귀모형식에서 16.1[%] 발생한 것으로 분석되었다.

조사 결과, 조사 수용가 대부분이 일반동력부하용 변압기의 여유가 많게 운전되고 있는 것으로 판단되며, 일반동력부하로 연결되는 부하 종류로는 급배수설비, 환기설비 이외 FCU, AHU 등이다.

그리고, 표 7은 전기설계사무소 34개소에서 조사한 일반동력부하의 설계 수용률을 통계 처리한 것이며, 평균값은 62.9[%], 표준 편차는 7.7[%]로 분석되었다.

일반동력부하에 대한 수용률을 제시하고 있는 기준은 없으며, 실제 현장에서 운영된 결과의 실태조사 평균 수용률이 48.3[%]로 낮게 운영되고 있었고, 설계사무소에서 적용하는 값보다도 매우 낮게 운전되고 있음을 알 수 있으므로 일반동력부하의 설계수용률을 낮게 설정하여도 무리가 없는 것으로 판단된다. 따라서, 일반동력부하의 수용률 범위는 50~63[%](중앙값 56.5[%]) 정도를 반영하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 다만, 장래 부하증가율과 고조파발생기호 인한 변압기 출력감소를 등을 고려하여 일반동력부하의 수용률을 설계자가 조정할 수 있다.



항 목	회귀 모형식	최소제공 평균오차	상관계수
1차 선형	$y = -0.0064x + 56.353$	16.5	-0.396
2차 비선형	$y = 0.000003x^2 - 0.0184x + 62.489$	16.1	

그림 2. 일반동력부하의 수용률 적용실태 및 회귀모형식
Fig. 2. Present status of demand factor and regression analysis model in general motor loads

표 7. 일반동력부하용 설계수용률
Table 7. Demand factor of design in general motor loads

항 목	최대값	최소값	평균값	표준편차	중앙값	데이터건수
일반동력부하용 설계 수용률 [%]	80	42	62.9	7.7	64	34

2.4 일본의 부하중별 특징과라미터 및 회귀분석이론을 이용한 수용률 분석

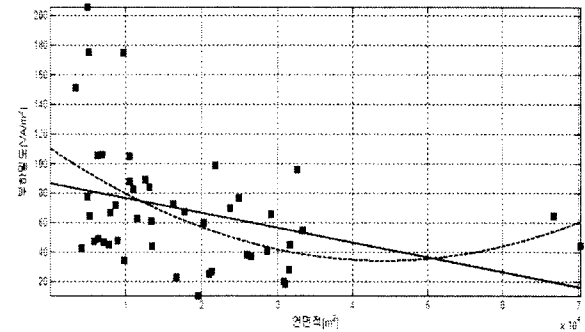
일본전선공업협회에서 제공하는 전기설비데이터 자료 중 사무소용 건물을 중심으로 2000~2001년도의 데이터에서 연면적과 변압기시설용량, 부하중별 부하시설용량 등을 조사 분석하였다.

2.4.1 일반전등전열부하의 부하밀도 적용실태

일반전등전열부하용 변압기용량과 부하설비용량이 제시되어 있는 수용가를 대상으로 분석하였으며, 그림 3은 조사 사무소건물의 일반 전등전열부하용 부하밀도의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 일반전등전열부하용 부하밀도는 10.59~205.87[VA/㎡] 이고, 평균값은 68.36[VA/㎡], 표준 편차 41.73[VA/㎡]로 분석되었다.

그림에서 보는 바와 같이 조사된 부하밀도와 연면적과의 상관관계는 낮은 정도를 나타내는 것으로 분석되었다. 그리고, 최소제공 평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서 38.8[VA/㎡], 2차 비선형 회귀 모형식에서 36.54[VA/㎡] 정도 발생한 것으로 분석되었다.

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
X : 연면적[㎡]	70258	3329	18083	14217	13345	47
Y : 부하밀도[VA/㎡]	205.87	10.59	68.36	41.73	62.56	



항 목	회귀 모형식	최소제공 평균오차	상관계수
1차 선형	$y = -0.001x + 86.515$	38.8016	-0.342
2차 비선형	$y = 0.0000x^2 - 0.003x + 110.4733$	36.5423	

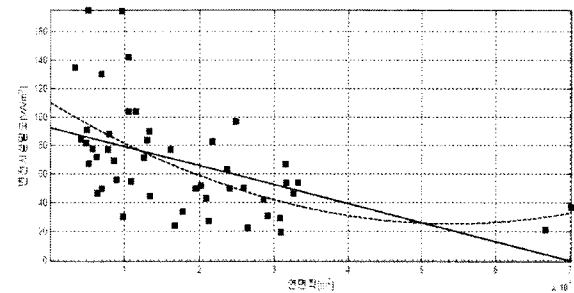
그림 3. 일반전등전열부하용 부하밀도 적용실태와 회귀 모형식

Fig. 3. Present status of demand factor and regression analysis model of load density in lighting and outlet loads

2.4.2 일반전등전열부하의 변전시설밀도 적용실태

일반전등전열부하용 변압기용량과 부하설비용량이 제시되어 있는 수용가를 대상으로 분석하였으며, 그림 4는 조사 사무소용 건물의 일반전등전열부하용 변전시설밀도의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 일반전등전열부하용 변전시설밀도는 19.37~175.43[VA/㎡]이고, 평균값은 68.2[VA/㎡], 표준 편차 37.08[VA/㎡]로 분석되었다.

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
X : 연면적[㎡]	70258	3329	18208	14092	13389	48
Y : 변전시설밀도[VA/㎡]	175.43	19.37	68.2	37.08	59.5	



항 목	회귀 모형식	최소제공 평균오차	상관계수
1차 선형	$y = -0.001x + 92.426$	31.6576	-0.5056
2차 비선형	$y = 0.0000x^2 - 0.003161x + 110.37$	30.1295	

그림 4. 일반전등전열부하용 변전시설밀도 적용실태와 회귀모형식

Fig. 4. Present status of demand factor and regression analysis model of substation density in lighting and outlet loads

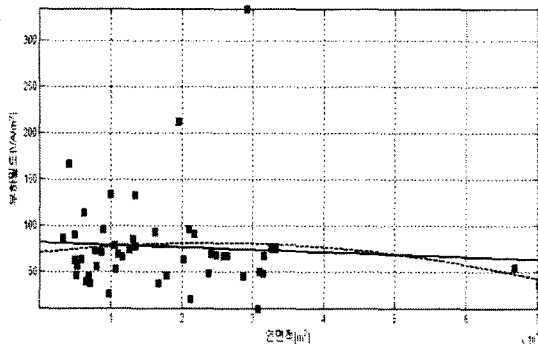
그림에서 보는 바와 같이 조사된 변전시설밀도와 연면적과의 상관관계는 중간 정도를 나타내는 것으로 분석되었다. 그리고, 최소제곱 평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서 31.66[VA/㎡], 2차 비선형 회귀 모형식에서 30.13[VA/㎡] 정도 발생한 것으로 분석되었다.

2.4.3 일반동력부하의 부하밀도 적용실태

일반동력부하용 변압기용량과 부하설비용량이 제시되어 있는 수용가를 대상으로 분석하였으며, 그림 5는 조사 사무소 건물의 일반동력부하용 부하밀도의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포 되어 있는 일반동력부하용 부하밀도는 11.22~334.39VA/㎡이고, 평균값은 76.73[VA/㎡], 표준 편차 51.98[VA/㎡]로 분석되었다.

그림에서 보는 바와 같이 조사된 부하밀도와 연면적과의 상관관계는 매우 낮은 정도를 나타내는 것으로 분석되었다. 그리고, 최소제곱 평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서 51.32[VA/㎡], 2차 비선형 회귀 모형식에서 50.96[VA/㎡] 정도 발생한 것으로 분석되었다.

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
X : 연면적[㎡]	70258	3329	18208	14092	13389	48
Y : 부하밀도[VA/㎡]	334.39	11.22	76.73	51.98	67.56	



항 목	회귀 모형식	최소제곱 평균오차	상관계수
1차 선형	$y = -0.000x + 81.4138$	51.3155	-0.0697
2차 비선형	$y = -0.0000x^2 + 0.0008x + 70.303$	50.9617	

그림 5. 일반동력부하용 부하밀도 적용실태와 회귀모형식

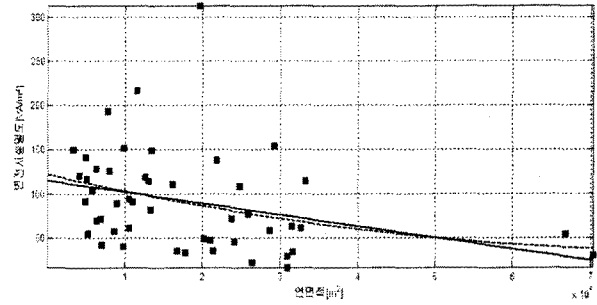
Fig. 5. Present status of demand factor and regression analysis model of load density in general motors

2.4.4 일반동력부하의 변전시설밀도 적용실태

일반동력부하용 변압기용량과 부하설비용량이 제시되어 있는 수용가를 대상으로 분석하였으며, 그림 6은 조사 사무소 건물의 일반동력부하용 변전시설밀도의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포 되어 있는 일반동력부하용 변전시설밀도는 16.14~312.21VA/㎡이고, 평균값은 91.42[VA/㎡], 표준 편차 56.62[VA/㎡]로 분석되었다.

그림에서 보는 바와 같이 조사된 변전시설밀도와 연면적과의 상관관계는 중간 보다 낮은 정도를 나타내는 것으로 분석되었다. 그리고, 최소제곱 평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서 53.07[VA/㎡], 2차 비선형 회귀 모형식에서 52.93[VA/㎡] 정도 발생한 것으로 분석되었다.

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
X : 연면적[㎡]	70258	3329	18208	14092	13389.5	48
Y : 변전시설밀도[VA/㎡]	312.21	16.14	91.42	56.62	79.82	



항 목	회귀 모형식	최소제곱 평균오차	상관계수
1차 선형	$y = -0.001x + 114.876$	53.074	-0.3206
2차 비선형	$y = 0.0000x^2 - 0.002x + 122.041$	52.932	

그림 6. 일반동력부하용 변전시설밀도 적용실태와 회귀모형식

Fig. 6. Present status of demand factor and regression analysis model of substation density in general motors

3. 결 론

본 연구에서는 사무소용 빌딩의 부하종별 전력소비 특성을 고려하여 특징파라미터를 분석하였고, 회귀분석을 통하여 경향을 확인하였다. 이를 토대로 부하종별 수용률 기준(안)을 제시하였고, 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 실태조사 결과, 합성 수용률/부등을 평균값은 46.4[%]로 분석되었으며, 대부분의 수용가에서 변압기는 용량에 있어서 많은 여유를 갖고 운전되고 있는 것으로 나타났다. 따라서, 우리나라의 설비 가동 특성을 고려한 수용률/부등의 기준이 필요함을 확인할 수 있었다. 부하 종별 수용률 적용 실태와 수용률 기준(안)은 다음과 같다.

부 하 종 류	실태조사 수용률의 평균값[%]	설계 수용률의 평균값[%]	수용률 기준[%]	
			범위	중앙값
합성 수용률/부등률	46.4			
일반전등전열부하용	60.8	65.2	60-65	62.5
일반동력부하용	48.3	62.9	50-60	55

2) 일본 사무소 건물의 부하 종별 부하밀도와 변전시설밀도를 토대로 수용률 적용 실태 결과, 표에서 보는 바와 같이 일반 전등전열부하의 경우는 부하밀도와 변전시설밀도가 거의 같게 나타났으며, 적용 수용률은 100[%]로 분석된다.

부 하 용 도	실태 조사 평균값	최소제곱 평균오차	적용 수용률
일반전등전열부하의 부하밀도	68.36[VA/㎡]	37.67[VA/㎡]	100%
일반전등전열부하의 변전시설밀도	68.2[VA/㎡]	30.9[VA/㎡]	
일반동력부하의 부하밀도	76.73[VA/㎡]	51.1[VA/㎡]	119%
일반동력부하의 변전시설밀도	91.42[VA/㎡]	53.0[VA/㎡]	

그리고, 일반동력부하의 경우는 변전시설밀도가 부하밀도보다 높게 나타났으며, 적용 수용률은 119[%]로 분석된다. 이러한 요인으로는 표준 용량의 변압기를 선정하고,뱅크 수를 고려하는 등의 이유로 오히려 수용률이 높게 적용된 것으로 생각된다.

여기에서 일반전등전열부하에는 각종 사무자동화기기 및 소형 전기기계기구 실험장치에 대한 부하도 포함한

것으로 사료되며, 일반동력부하에는 소형 및 대형 실험 장치 및 냉방동력부하도 포함한 것으로 사료된다.

3) 최근에는 개인용 컴퓨터, 소형 및 대형 실험장치, 무정전전원장치 등과 같은 고조파 발생원 부하가 상당히 보급되면서 고조파발생기기로 인한 변압기 출력 감소율 및 장차 부하 증가율 등을 고려하여 설계에 반영하는 것이 필요하다.

4) 업무용 빌딩에 적용되는 변압기는 경부하가 걸리는 시간이 많으므로 손실 발생이 많다. 따라서, 변압기 운전 효율을 향상시키기 위해서는 부하 구성 특성과 전력소비 특성(평균 부하율 등)을 정확히 검토하고, 최고 효율이 되도록 용량 설계를 하여야 한다. 현재 업무용 빌딩의 부하 구성 특성과 전력소비 특성에 관한 구체적이고 체계적인 통계 자료가 전무한 실정으로 산학연이 공동 연구할 수 있는 지원 체제가 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김세동 외, 업무용건물의 전력소비특성을 고려한 수용률 기준 제정 연구, 한국조명전기설비학회, 2004
- [2] 대한전기협회, 내선규정전문위원회, 최신개정판, 내선규정, pp.198-199, 2005
- [3] 박상동 외, 전기설비의 에너지절약 연구, 한국동력자원연구소, KE86-16, 1986
- [4] 김세동 외, 사무소건물의 전기설비 용량 산정에 관한 연구, 전기연, 91-FE-112, 1991