

백화점용 건물의 전력소비특성을 고려한 수용률 실태분석 및 기준(안)

오기봉<한국조명·전기설비학회장/공학박사>
김수길<호서대학교 교수/공학박사>
김세동<두원공과대학 교수/공학박사/기술사>

1. 머리말

백화점은 취급 상품에 따라 종합 백화점, 전문점적 성격의 백화점 등으로 구분되고 있으며, 또한 입지 조건에 따라 터미널 백화점, 교외 백화점, 상가 백화점 등으로 분류되고 있다. 근래에 들어서는 24시간 이용할 수 있는 대형 쇼핑센터(홈플러스, 이마트, 월마트 등)도 증가하고 있는 추세이다.

백화점은 특성상 불특정의 많은 사람들이 특정한 시간대에 집중적으로 이용하게 되는 특성을 가지고 있고, 특히 연말연시와 세일 기간에는 많은 사람들이 집중적으로 이용함으로써 모든 구성 설비(조명, 냉난방설비, 승강기설비 등)가 이 시기를 최대로 하여 설계됨으로써 전체적으로 설비 운영에 효율을 기하기가 어렵다.

또한 쾌적한 조명환경을 유지하면서 특수 조명을 통한 조도를 향상함으로써 상품의 매출 신장률이 크게 향상되는 특성을 가지고 있으므로 백화점의 구성 설비의 특성과 부하 운전 특성, 고객의 이용 특성을 종합적으로 고려한 전기설비의 효율적인 합리적인 관리가 중요시되고 있다.

백화점용 건물의 전력 소비 특성을 조사 분석하였고, 아울러 전기설비설계사무소에서 적용하고 있는 설계 수용률을 조사 분석하였다. 데이터의 신뢰성을 비교 분석하기 위하여 선형적인 방법과 비선형적인 방법으로 그 경향을 추정하여 곡선으로 나타내었고, 이 때 얻어진 데이터 상호간의 결정계수(COD : coefficient of determination)로 데이터의 신뢰성을 확인하였다. 이러한 방법에 의하여 얻어진 분석 자료를 이용하여 적정 변압기 용량 설정을 위한 데이터 베이스를 만들고, 또한 변전설비용량의 합리적인 설계를 위하여 수용률 기준(안) 설정에 필요한 자료로 활용할 수 있으리라 사료된다.

2. 수용률 적용실태 및 기준(안)

2.1 합성 수용률/부등률 적용 실태

조사된 전체 자료의 특징과 중심적인 경향을 알아내기 위해서 평균값, 중앙값, 표준 편차, 회귀 모형식 등의 확률 통계적 파라미터들을 수용률 기준 설정을 위한 특징 파라미터로 선택하였다.

여기에서는 백화점 및 쇼핑센터 등의 용도로 사용

특집 : 수용률 기술

하는 백화점용 건축물을 대상으로 조사하였다. 변압기의 배크 방식은 2단 강압 또는 직접강압 방식을 혼용하여 채택하고 있고, 조사된 최대수요전력은 수전단에 설치되어 있는 최대수요전력계(DM)로부터 조사된 값이며, 수용률/부등률이 함께 반영된 것이므로 수용률/부등률에 대하여 분석하였다.

그림 1은 조사 백화점용 건물의 합성 수용률/부등률의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 수용률/부등률값은 34.7~81[%](단, 변압기시설용량 기준)이고, 평균값은 61.5[%], 표준편차는 15.8[%]로 분석되었다. 여기서 수용기의 정확한 부하설비용량을 추정하기가 어려워 시설된 변압기용량(2단 강압시에는 주변압기 용량을, 1단 강압시에는 전체 변압기용량을 기준으로 함)을 기준으로 하였으며, 당초 설계 단계시 변압기 용량은 부하설비

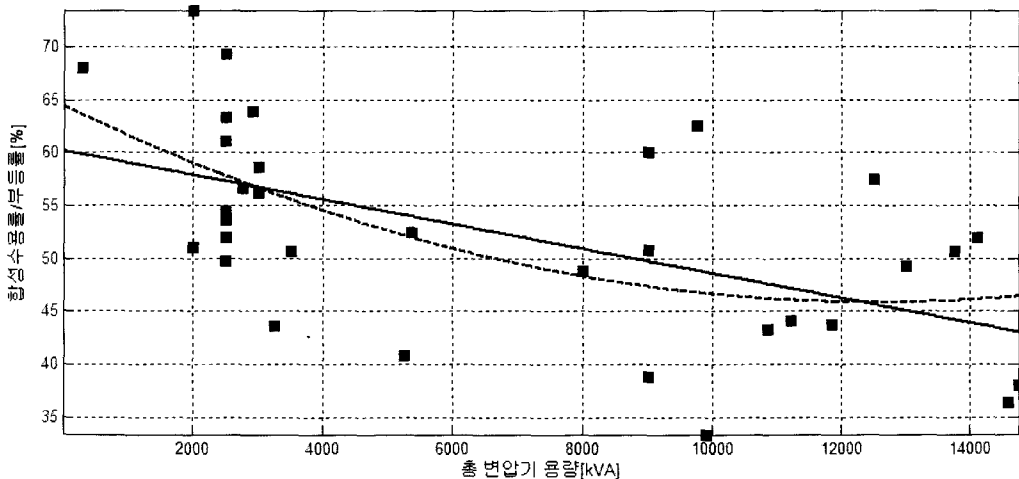
용량의 75~85[%]로 설계되었다고 가정할 경우, 전체 부하설비용량 기준시 조사된 합성 수용률/부등률은 26~68.85[%] 정도 분포되고, 평균값은 49.2[%]로 판단된다.

그림에서 보는 바와 같이 조사된 변압기시설용량과 합성 수용률/부등률과의 상관관계는 중간 정도인 것으로 분석되었고, 최소제공 평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서는 7.98[%], 2차 비선형 회귀 모형식에서는 7.80[%] 정도 발생한 것으로 분석되었다. 조사 결과 분석으로는 수용기에 시설된 전력용 변압기에 여유가 많은 것으로 판단된다.

2.2 일반전등전열부하의 수용률 적용실태 및 기준(안)

백화점용 건물의 부하 중에서 일반전등전열부하용

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
X : 총변압기용량(kVA)	14750	300	6728.78	4671	5250	33
Y : 합성수용률/부등률[%]	73.45	33.39	52.35	9.75	51.92	



항 목	회귀 모형식	최소제공평균오차	상관계수
1차 선형	$y = -0.0011x + 60.1778$	7.9804	-0.5565
2차 비선형	$y = 0.0000x^2 - 0.0029x + 64.4747$	7.8021	

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

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

그림 2는 조사 백화점용 건물의 일반전등전열부하용 수용률의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포 되어 있는 일반전등전열부하용 수용률값은 26.8~93.4(%)이고, 평균값은 65.71(%), 표준 편차 18.55(%)로 분석되었다.

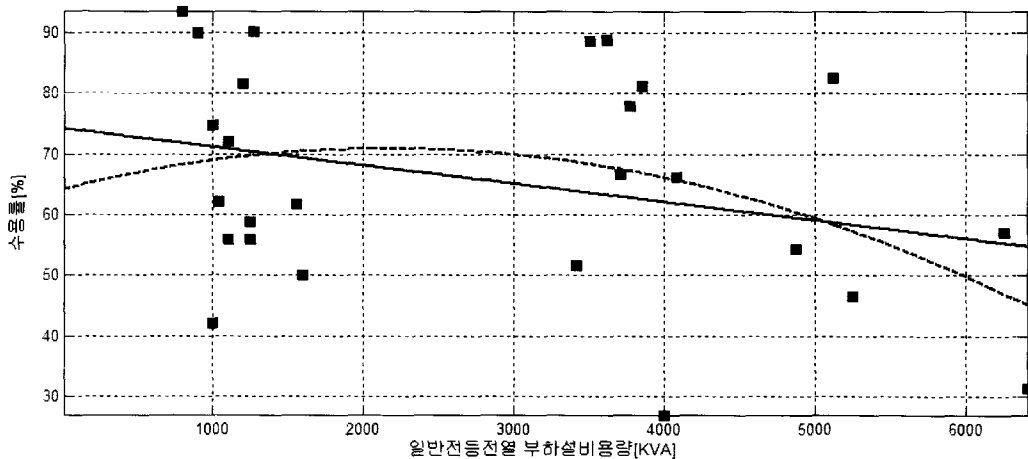
그림에서 보는 바와 같이 조사된 부하설비용량과 수용률과의 상관관계는 낮은 정도를 나타내는 것으로 분석되었다. 그리고 최소제곱 평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서 17.36(%), 2차 비선형 회귀 모형식에서 16.95(%) 정도 발생한 것으로 분석되었다.

조사 결과 분석으로는 수용가에 시설된 일반전등전열부하용 변압기에 여유가 있는 것으로 판단되며, 일반전등전열부하로 연결되는 부하 종류로는 일반전등 및 특수 조명등 부하 이외 백화점용 건물의 특성상 각종 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 83.3(%), 표준 편차는 11.21(%)로 분석되었다.

따라서 실태조사 수용률 및 설계 수용률의 평균값을 기준으로 장래 부하증가율, 고조파발생기기로 인한 변압기 출력감소율 등을 고려한 일반전등전열 부하의 수용률 범위는 58~92(%) (평균값 75(%)) 정

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
X : 일반전등전열 부하설비용량(KVA)	6400	800	2803.34	1829.03	2504.5	26
Y : 수용률(%)	93.4	26.8	65.71	18.55	64.2	



항 목	회귀 모형식	최소제곱평균오차	상관계수
1차 선형	$y = -0.003024 x + 74.19389$	17.3638	-0.2982
2차 비선형	$y = -0.0000 x^2 + 0.0062 x + 64.1435$	16.9544	

그림 2. 백화점용 건물의 일반전등전열부하용 수용률 적용실태와 회귀모형식

도를 반영하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

표 1. 일반전등전열 부하용 설계 수용률

항 목	최대치	최소치	평균치	표준 편차	중앙치	데이터 건수
일반전등전열 부하용 설계 수용률	100	63	83.3	11.21	82.5	10

2.3 일반 동력부하의 수용률 적용실태 및 기준 (안)

백화점용 건물의 부하 중에서 일반동력부하용 변압기가 시설되어 있는 수용가를 대상으로 분석하였으며, 최대수요전력은 수전일지 상에 작성된 자료를 기준으로 하였고, 부하설비용량은 수용가에서 제시한

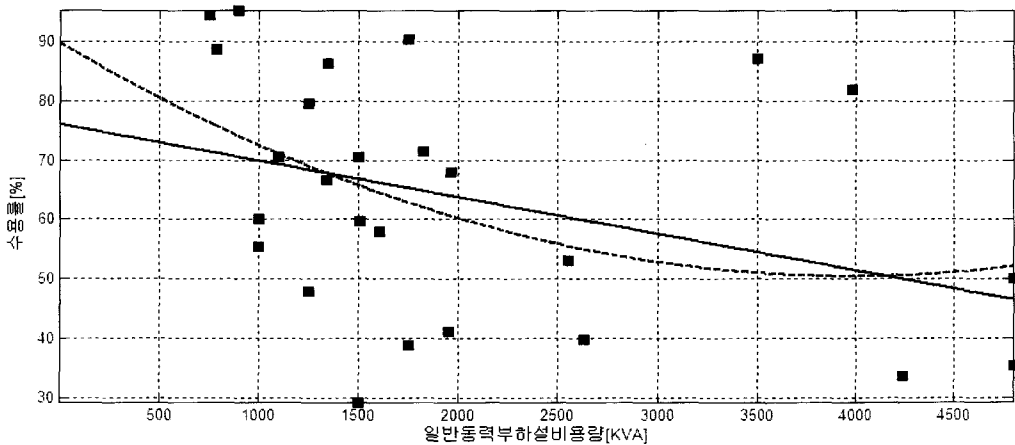
용량을 기준으로 하였다.

그림 3은 조사 백화점용 건물의 일반동력부하용 수용률의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 일반동력부하용 수용률값은 29.3~95.3 [%]이고, 평균값은 63.58[%], 표준 편차 20.33 [%]로 분석되었다.

그림에서 보는 바와 같이 조사된 부하설비용량과 수용률과의 상관관계는 중간보다 낮은 정도를 나타내는 것으로 분석되었다. 그리고 최소제곱 평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서 18.51[%], 2차 비선형 회귀 모형식에서 18.25[%] 정도 발생한 것으로 분석되었다.

조사 결과 분석으로는 수용가에 시설된 일반동력부하용 변압기에 여유가 많은 것으로 판단되며, 일반동력부하로 연결되는 부하 종류로는 동력부하 이외의 백

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
X : 일반동력부하 설비용량(kVA)	4800	750	2022.15	1227.22	1554	26
Y : 수용률(%)	95.3	29.3	63.58	20.33	63.3	



항 목	회귀 모형식	최소제곱평균오차	상관계수
1차 선형	$y = -0.0061x + 76.013851$	18.5155	-0.3710
2차 비선형	$y = 0.0000x^2 - 0.0197x + 89.858$	18.2554	

그림 3. 백화점용 건물의 일반동력부하용 수용률 적용실태와 회귀모형식

화점용 건물의 특성상 FCU, AHU 및 패키지 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 64.6(%), 표준 편차는 12.04(%)로 분석되었다.

표 2. 일반동력 부하용 설계 수용률

항 목	최대치	최소치	평균치	표준 편차	중앙치	데이터 건수
일반동력부하용 설계 수용률	85	50	64.6	12.04	62.5	10

따라서 실태조사 수용률 및 설계 수용률의 평균값

을 기준으로 장래 부하증가율, 고조파발생기기로 인한 변압기 출력감소율 등을 고려한 일반동력 부하의 수용률 범위는 47~83(%) (평균값 65(%)) 정도를 반영하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

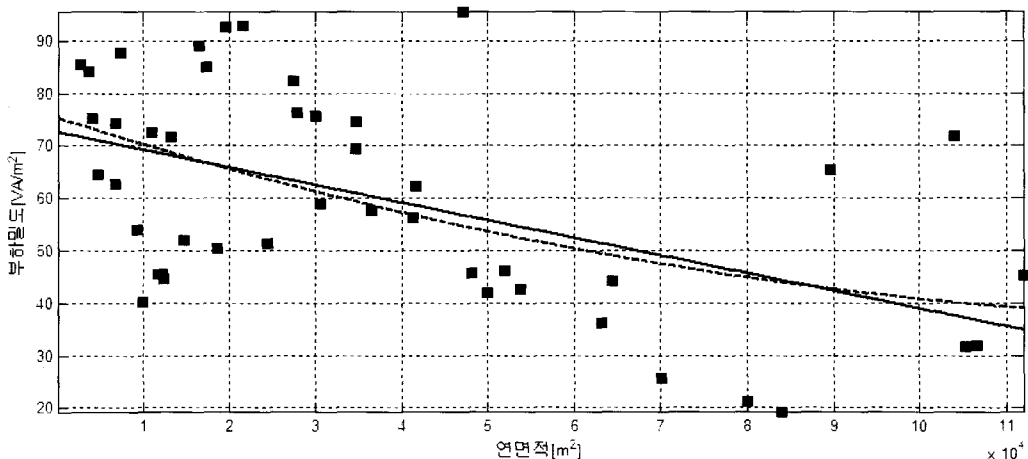
3. 일본의 부하밀도 및 변전시설밀도 적용 실태

일본전설공업협회에서 제공하는 전기설비데이터 자료 중 백화점용 건물을 중심으로 2000~2001년도의 데이터에서 연면적과 변압기시설용량, 부하종별 부하시설용량 등을 조사 분석하였다.

3.1 일반전등전열부하의 부하밀도 적용실태

일반전등전열부하용 변압기용량과 부하설비용량이

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
X : 연면적[m^2]	111956	2679	37400.13	31715.18	27790	45
Y : 부하밀도[VA/ m^2]	95.44	19.1	60.01	20.46	58.86	



항 목	회귀 모형식	최소제곱평균오차	상관계수
1차 선형	$y = -0.000337x + 72.603$	17.2687	-0.5215
2차 비선형	$y = 0.0000x^2 - 0.000522x + 75.335$	17.1892	

그림 4. 백화점용 건물의 일반전등전열부하용 부하밀도 적용실태와 회귀모형식

제시되어 있는 수용가를 대상으로 분석하였으며, 그림 4는 조사 백화점용 건물의 일반전등전열부하용 부하밀도의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포 되어 있는 일반전등전열부하용 부하밀도는 19.1~95.44[VA/m²]이고, 평균값은 60.01[VA/m²], 표준 편차 20.46[VA/m²]로 분석되었다.

그림에서 보는 바와 같이 조사된 부하밀도와 연면적과의 상관관계는 중간 정도를 나타내는 것으로 분석되었다. 그리고 최소제곱 평균오차는 1차 선형 회귀 모형식에서 17.26[VA/m²], 2차 비선형 회귀 모형식에서 17.19[VA/m²] 정도 발생한 것으로 분석되었다.

따라서 일반전등전열부하로 연결되는 부하 종류로는 전등부하 이외 백화점용 건물의 특성상 각종 사무 자동화기기 등이 연결되는 경우가 있으므로 연결 부하의 특성을 종합적으로 검토하여야 한다.

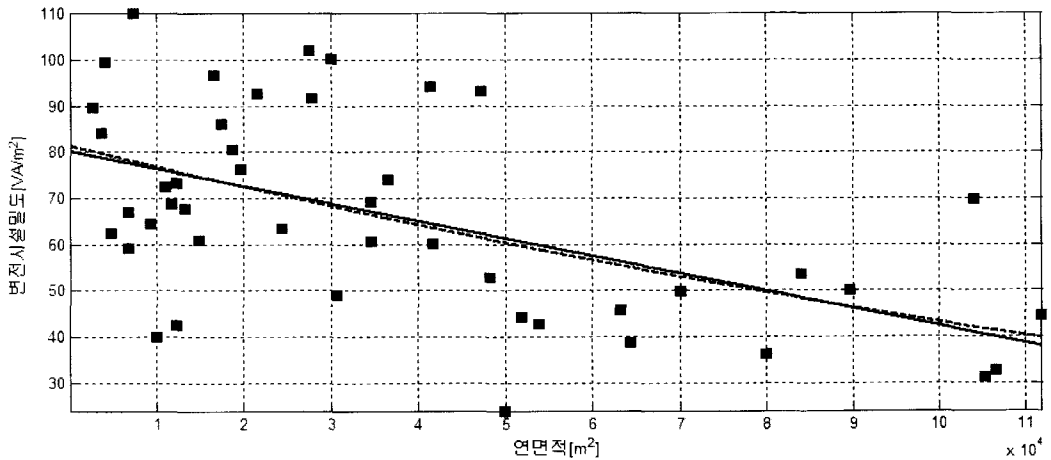
3.2 일반전등전열부하의 변전시설밀도 적용 실태

일반전등전열부하용 변압기용량과 부하설비용량이 제시되어 있는 수용가를 대상으로 분석하였으며, 그림 5는 조사 백화점용 건물의 일반전등전열부하용 변전시설밀도의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포 되어 있는 일반전등전열부하용 변전시설밀도는 24.04~110.2[VA/m²]이고, 평균값은 66.01[VA/m²], 표준 편차 21.98[VA/m²]로 분석되었다.

그림에서 보는 바와 같이 조사된 변전시설밀도와 연면적과의 상관관계는 중간 정도를 나타내는 것으로 분석되었다. 그리고 최소제곱 평균오차는 1차 선형 회귀 모형식에서 18.23[VA/m²], 2차 비선형 회귀 모형식에서 18.22[VA/m²] 정도 발생한 것으로 분석되었다.

따라서 일반전등전열부하로 연결되는 부하 종류로

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
X : 연면적[m ²]	111956	2679	37400.13	31715.18	27790	45
Y : 변전시설밀도[VA/ m ²]	110.2	24.04	66.01	21.98	64.58	



항 목	회귀 모형식	최소제곱평균오차	상관계수
1차 선형	$y = -0.0003x + 80.1355$	18.2379	-0.5444
2차 비선형	$y = 0.0000x^2 - 0.0004x + 81.3659$	18.2226	

그림 5. 백화점용 건물의 일반전등전열부하용 변전시설밀도 적용실태와 회귀모형식

는 일반 전등, 특수 조명 부하 이외 백화점 건물의 특성상 각종 소형전기기계기구 부하, 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 백화점건물의 일반동력부하용 부하밀도의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포 되어 있는 일반동력부하용 부하밀도는 10.62~242.27 [VA/m²]이고, 평균값은 53.29[VA/m²], 표준 편차 35.73[VA/m²]로 분석되었다.

그림에서 보는 바와 같이 조사된 부하밀도와 연면

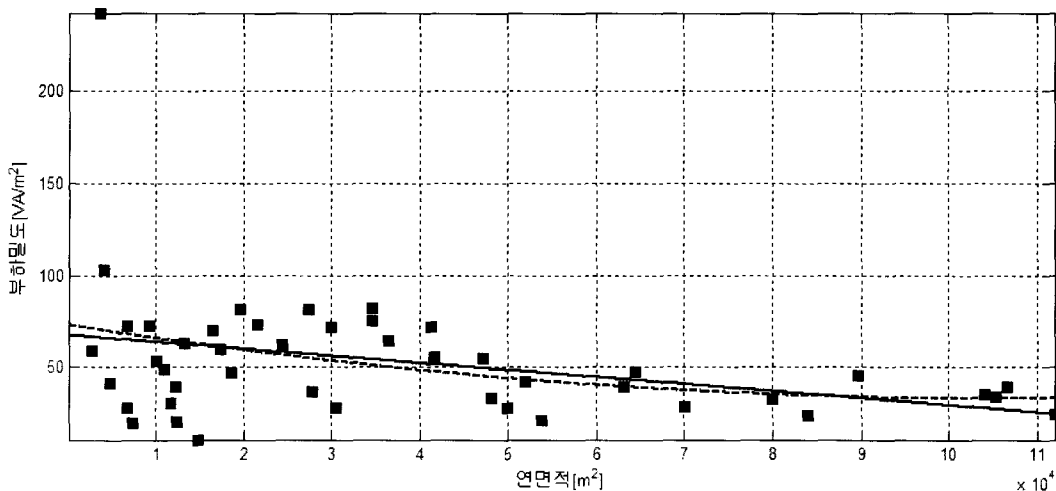
적과의 상관관계는 중간보다 낮은 정도를 나타내는 것으로 분석되었다. 그리고 최소제공 평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서 32.23[VA/m²], 2차 비선형 회귀 모형식에서 33.06[VA/m²] 정도 발생한 것으로 분석되었다.

따라서 일반동력부하로 연결되는 부하 종류로는 일반 동력부하 이외 백화점건물의 특성상 각종 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

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
X : 연면적 [m ²]	111956	2679	37400.13	31715.18	27790	45
Y : 부하밀도[VA/ m ²]	242.27	10.62	53.29	35.73	46.87	



항 목	회귀 모형식	최소제공평균오차	상관계수
1차 선형	$y = -0.0003x + 67.593$	33.2347	-0.3393
2차 비선형	$y = 0.0000x^2 - 0.0004x + 73.255$	33.0573	

그림 6. 백화점용 건물의 일반동력부하용 부하밀도 적용실태와 회귀모형식

특집 : 수용률 기술

7은 조사 백화점 건물의 일반동력부하용 변전시설밀도의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 일반동력부하용 변전시설밀도는 16.21~224.59VA/m²이고, 평균값은 61.31(VA/m²), 표준 편차 39.07(VA/m²)로 분석되었다.

그림에서 보는 바와 같이 조사된 변전시설밀도와 연면적과의 상관관계는 중간 정도를 나타내는 것으로 분석되었다. 그리고 최소제공 평균오차는 1차 선형 회귀

모형식에서 35.06(VA/m²), 2차 비선형 회귀 모형식에서 34.76(VA/m²) 정도 발생한 것으로 분석되었다.

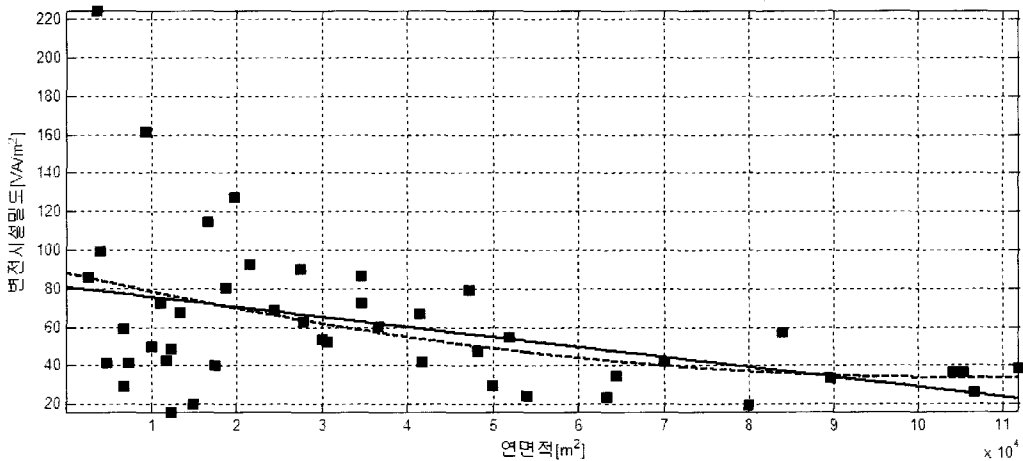
따라서 일반동력부하로 연결되는 부하 종류로는 일반동력부하 이외 백화점 건물의 특성상 각종 전열부하, 승강기, 소방설비, 곤돌라 등이 연결되는 경우가 있으므로 연결 부하의 특성을 종합적으로 검토하여야 한다.

4. 수용률 기준(안) 결과 고찰

표 4. 일본 백화점용 건물의 부하밀도와 변전시설밀도 적용 실태

부 하 용 도	실태 조사 평균값	최소제공 평균오차	적용 수용률
일반전등전열부하의 부하밀도	60.01(VA/mm ²)	17.23(VA/mm ²)	110.0(%)
일반전등전열부하의 변전시설밀도	66.01(VA/mm ²)	18.22(VA/mm ²)	
일반동력부하의 부하밀도	53.29(VA/mm ²)	33.14(VA/mm ²)	115.0(%)
일반동력부하의 변전시설밀도	61.31(VA/mm ²)	34.91(VA/mm ²)	

항 목	최대치	최소치	평균치	표준편차	중앙치	데이터건수
X : 연면적[m ²]	111956	2679	37400.13	31715.18	27790	45
Y : 변전시설밀도(VA/ m ²)	224.59	16.21	61.31	39.07	52.49	



항 목	회귀 모형식	최소제공평균오차	상관계수
1차 선형	$y = -0.0005x + 80.700$	35.0557	-0.4206
2차 비선형	$y = 0.0000x^2 - 0.001x + 88.202$	34.7600	

그림 7. 백화점용 건물의 일반동력부하용 변전시설밀도 적용실태와 회귀모형식

표 3. 백화점용 건물의 부하 종별 수용률 적용 실태와 수용률 기준(안)

부 하 용 도	조사 수용률 평균값	설계 수용률 평균값	평균값	수용률 범위
합성 수용률/부등률	49.2[%]			42~56[%]
일반전등전열부하용 수용률	65.71[%]	83.3[%]	75[%]	58~92[%]
일반동력부하용 수용률	63.58[%]	64.6[%]	65[%]	47~83[%]
냉방동력부하용 수용률	68.77[%]	83.5[%]	80[%]	65~95[%]
비상동력부하용 수용률	55.96[%]	80.63[%]	70[%]	54~86[%]

4.1 백화점용 건물의 부하종별 적용 실태 결과 및 기준(안)

표 3은 앞에서 조사 분석한 백화점용 건물의 부하 종별 수용률 적용 실태 결과 및 평균값, 그리고 설계 수용률의 평균값을 토대로 부하 종별 수용률 기준(안)을 종합 정리하여 나타낸 것이다. 최근에는 개인용 컴퓨터, 소형 및 대형 사무자동화기기 등과 같은 고조파 발생원 부하가 상당히 보급되면서 k-factor를 고려한 변압기 시설용량을 산정하는 관계로 수용률/부등률 기준이 낮게 유지되는 경우가 많으므로 고조파발생기기로 인한 변압기 출력감소율 및 장래 부하증가를 등을 고려하여 설계에 반영하는 것이 필요하다.

4.2 일본 백화점용건물의 부하종별 적용 실태 결과 및 적용 수용률

표 4는 앞에서 조사 분석한 백화점 건물의 부하 종별 부하밀도와 변전시설밀도를 토대로 수용률 적용 실태 결과를 정리하여 나타낸 것이다. 표에서 보는 바와 같이 적용 수용률의 경우, 일반 전등전열 부하는 110.0[%], 일반동력 부하는 115.0[%]로 분석된다. 다만 여기에서 일반전등전열부하에는 각종 사무자동화기기 및 소형 전기기계기구 등에 대한 부하도 포함한 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 백화점용 건물의 부하설비에 대한 운전 특성을 조사 분석하고 통계 처리하여 기준(안)을 제시함으로써 백화점용 건물의 규모별 또는 부하 용도별로 수용률 기준을 적용하여 적정한 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 한국전력공사와의 '계약전력' 산정에 적용되고, 전력회사의 '공급 능력'에 까지 영향을 미치기 때문에 국가적인 차원에서 우리나라 실정에 적합한 '수용률 기준'을 정립하는데 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, 2004.
- [3] 전기공급약관, 한국전력공사, 2004.

◇ 저 자 소 개 ◇



오기봉(吳基鳳)

1937년 12월 26일생(1936. 8. 9). 1962년 연세대학교 전기공학과 졸업(학사). 1973년 연세대학교 산업대학원 졸업(석사). 1992년 홍익대학교 대학원 졸업(박사). 1962년 5월부터 성동공고 교사. 경기공업전문대학 교수. 서울산업대학교 교수 재직후 2003년 2월 28일 정년퇴임. 본 학회 부회장, 감사 역임. 현재 본 학회 회장, 서울산업대학교 명예교수, 중앙자연지리연구회 명예회장.



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.



김수길(金秀吉)

1965년 8월 2일생. 1988년 2월 서울대학교 공과대학 전기공학과 졸업(학사). 1991년 2월 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 2월 서울대학교 대학원 전기공학부 졸업(박사). 1997년~현재 호서대학교 전기정보통신공학부 부교수, 본 학회 사업이사.