

## 사무소용빌딩의 전력소비특성을 고려한 특징파라미터 및 회귀분석을 통한 조명 및 일반동력부하의 수용률 분석

(Recommended Practice for Demand Factor by Feature Parameters and Regression Analysis depending on Power Consumption Characteristics in Office Buildings)

김세동\* 남기범, 정형용, 신화영, 김성환  
(Se-Dong Kim\*, Doowon Technical College, Ki-Beom Nam, Hyung-Yong Jung,  
Hwa-Young Shin, KEEA, Sung-Hwan Kim, Univ. of Seoul)

### Abstract

It is increased electrical energy consumption with the development of intelligence society in the office buildings 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 54 office buildings and 34 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

업무용 빌딩에 있어서 빌딩 기능이 점차 고도 정보화됨에 따라 전기 소비가 급격히 증가하고 있다. 이와 같은 전력다소비 건물에서 전력의 효율적 이용에 의한 에너지 절감은 물론 전기에너지의 이용 합리화 촉진이 요구되고 있다.

따라서, 빌딩의 부하 특성에 적합한 합리적이고 통계적인 부하 중별 수용률 적용 기준이 요구되며, 수용률 적용값에 따라 변압기 용량 산정에 중요한 요인이 된다. 아울러 전력회사와의 계약전력 및 송배전설비·발전설비의 용량 결정에까지 영향이 미치는 매우 중요한 요인이다. 그러나, 부하중류별 부하 가동 특성을 고려한 우리나라의 통계적인 자료가 매우 부족하여 외국의 데이터를 이용하고 있는 실정이다.[1][2]

대한전기협회에서 제정한 '내선규정'에서 전동 및 소형전기기계기구에 대해서 건축물의 종류에 따라 수용률을 제시하고 있다[3]. 한국동력자원연구소의 연구보고서(KE86-16)에 의하면 부하설비 용량 기준 1000kW 이하와 이상의 건물로 구분하여 수용률 기준을 제시하였으나 합성 수용률 개념

을 나타낸 것으로 설계 단계에서 부하중별로 적용할 수 없는 문제점이 지적된다[4]. 그리고, 한국건설기술연구원의 연구보고서(전기연91-FE-112)에 의하면 상가없는 건물과 상가있는 건물로 구분하여 수용률 기준을 제시하였으나 주변압기를 설계하는데 참고가 가능하지만 직접강하방식의 부하중별 변압기 용량을 산정하는데 적용할 수 없는 문제점이 지적된다[5].

본 연구에서는 사무소용 빌딩을 중심으로 조명 및 동력부하 중류별 전력소비특성을 조사 분석하였고, 전기설계사무소에서 설계단계시 적용하는 수용률을 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 부하중별 수용률 기준(안)을 제시하였고, 변전설비용량 산정에 필요한 자료를 데이터베이스화하였다.

### 2. 변압기 용량 산정과 수용률 고찰

## 2.1 전력용변압기의 용량 산정

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 용량이 부하설비용량에 대하여 적정하지 못하면 다음과 같은 문제가 발생할 수 있다[1].

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

(2) 반면에 변압기 용량이 너무 크게 되면 설비용의 증가, 계약 전력의 증대, 무부하 손실의 증대 등 직접적으로 경제적 부담이 발생한다. 더욱이 우리나라 발전설비용량이 증가하게 되며 국민 경제적 부담이 커지는 요인이 된다.

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 집계한 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, 사무자동화기기, 일반동력, 냉방동력, 특수 부하 등의 부하종별 설비용량을 결정한다. 그러나, 기본 설계 단계에서는 부하설비용량을 추정하기가 어려워 각종 국내외 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 설계한다.

## 2.2 수용률

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 총 부하설비용량에 비해 적은 것이 일반적이다. 이처럼 수용률은 전력수요 정도를 나타내기 위하여 사용되는 것으로서 건물의 용도, 부하의 종류, 운전기간 등에 따라 다르게 나타난다. 수용률은 변압기뱅크별 또는 부하 종류별로 표준값을 제시하여야 하나 앞에서 설명한 바와 같이 관련 자료 및 기준이 매우 미흡한 실정이다.

## 3. 내선규정 및 선행 연구 결과 검토

### 3.1 내선규정에서 정하고 있는 수용률 기준

대한전기협회에서 제정한 내선규정(205-8절)에서 전등 및 소형전기기계기구에 대해서 수용률 기준을 표 1과 같이 제시하고 있다[3].

표 1. 내선규정에서 정하고 있는 수용률 기준

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

그러나, 동력부하 및 특수 부하(OA 부하, 전산 부하 등)에 대한 수용률 기준은 제시된 자료가 없다.

### 3.2 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.

표 2. 동력자원연구소의 수용률 설정 기준(안)

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

### 3.3 한국건설기술연구원의 연구보고서

한국건설기술연구원의 보고서(건기연91-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 직접강화방식의 변압기는 설계 단계에서 적용할 수 없는 문제점이 지적된다.

표 3. 한국건설기술연구원의 수용률 설정 기준

구 분	수용률 실태	수용률 기준(안)	
		최대수요전력 증가율 14%(5년) 고려시	최대수요전력 증가율 35%(10년) 고려시
전체 건물에 대한 평균	48.7%		
상가 없는 건물	46.2%	50%	60%
상가 있는 건물	50.2%	55%	65%
1979년 이전 건물	52.1%		
1980~1985년사이의 건물	49.6%		
1986년 이후의 건물	45.4%		

## 4. 부하종별 특징파라미터 및 회귀분석이론을 이용한 수용률 분석

### 4.1 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.

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.

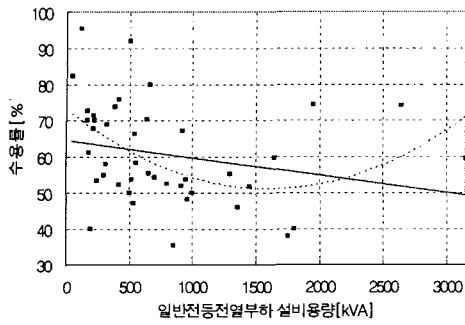
조사 결과, 조사 수용가 대부분이 일반전등전열부하용 변압기의 여유가 많이 운전되고 있는 것으로 판단되며, 일반전등전열부하로 연결되는 부하종류로는 전등부하 이외 각종 사무자동화기기 등이다.

표 5는 전기설계사무소 34개소에서 조사한 일반전등전열부하의 설계 수용률을 통계 처리한 것이며, 평균값은 65.2[%], 표준 편차는 9.2[%]로 분석되었다.

표 4. 일반전등전열부하의 수용률 적용실태 분석

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

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



항 목	회귀 모형식	최소제곱 평균오차	상관계 수
1차선형	$y = -0.0048x + 64.563$	13.3	-0.2406
2차비선형	$y = 0.000008x^2 - 0.0272x + 73.017$	12.2	

그림 1. 일반전등전열 부하의 수용률 적용 실태 및 회귀 모형식

표 5. 일반전등전열부하용 설계수용률

항 목	최대값	최소값	평균값	표준 편차	중앙값	데이터 건수
설계 수용률	100	57	65.2	9.2	60	34

1) 일반전등전열부하 설비용량 1000kVA 이하의 경우

표 6은 조사 빌딩 33개소의 일반전등전열부하용 수용률의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 일반전등전열부하용 수용률값은 35.5 ~ 95.5[%]이고, 평균값은 62.2[%], 표준 편차 13.9[%]로 분석되었다.

그림 2는 1000kVA 이하의 부하설비용량을 가진 수용가의 수용률 산포도와 회귀모형식을 보여 주고 있다.

표 6. 일반전등전열부하(1000kVA 이하)의 수용률 적용실태 분석

항 목	최대값	최소값	평균값	표준편차	중앙값	데이터 건수
부하설비용량 [kVA]	1000	45	485.8	282.9	500	33
수용률[%]	95.5	35.5	62.2	13.9	58.2	

2) 일반전등전열부하설비용량 1000kVA 초과  
의 경우

표 7은 조사 빌딩 9개소의 일반전등전열부하용 수용률의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 일반전등전열부하용 수용률값은

74.4 ~ 37.9[%]이고, 평균값은 55.4[%], 표준 편차 13.2[%]로 분석되었다.

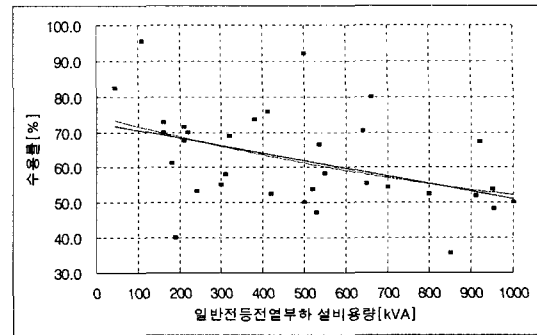


그림 2. 일반전등전열 부하의 수용률 적용 실태 및 회귀 모형식

그림 3은 1000kVA 초과  
의 부하설비용량을 가진 수용가의 수용률 산포도와 회귀모형식을 보여 주고 있다.

표 7. 일반전등전열부하(1000kVA 초과)의 수용률 적용실태 분석

항 목	최대값	최소값	평균값	표준편차	중앙값	데이터 건수
일반전등전열 부하설비용량 [kVA]	3150	1298	1892	620.4	1750	9
수용률[%]	74.4	37.9	55.4	13.2	55.1	

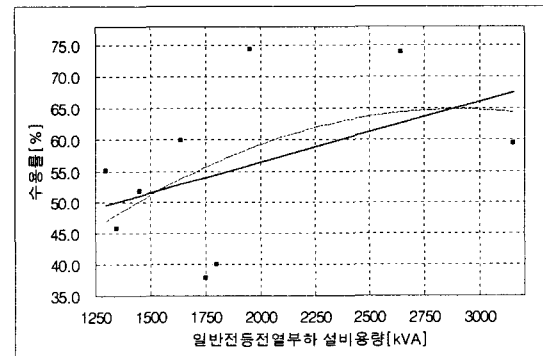


그림 3. 일반전등전열 부하의 수용률 적용 실태 및 회귀 모형식

#### 4.2 일반동력부하의 수용률 분석

일반동력부하용 변압기가 시설되어 있는 수용가를 대상으로 분석하였으며, 최대수요전력은 수전일 지 상에 작성된 자료를 기준으로 하였고, 부하설비

용량은 수용가에서 제시한 용량을 기준으로 하였다.

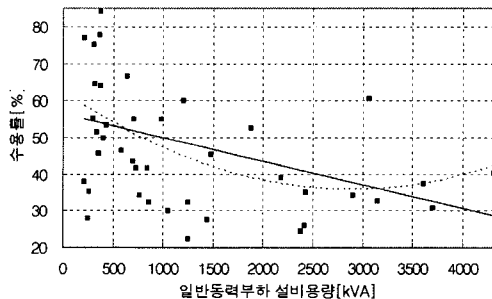
표 8은 조사 빌딩 42개소의 일반동력부하용 수용률의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 일반동력부하용 수용률값은 22.5 ~ 89.9[%]이고, 평균값은 48.3[%], 표준 편차 18.2[%]로 분석되었다.

그림 4에서 보는 바와 같이 조사된 부하설비용량과 수용률과는 중간정도의 상관관계를 나타내는 것으로 분석되었다. 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.

표 8. 일반동력부하의 수용률 적용실태 분석

항 목	최대값	최소값	평균값	표준편차	중앙값	데이터 건수
일반동력부하 설비용량[kVA]	4,307	210	1,255.3	1,121.3	800	42
수용률[%]	89.9	22.5	48.3	18.2	44.5	



항 목	회귀 모형식	최소제공 평균오차	상관계수
1차선형	$y = -0.0064x + 56.353$	16.5	-0.3958
2차비선형	$y = 0.000003x^2 - 0.0184x + 62.489$	16.1	

그림 4. 일반동력부하의 수용률 적용 실태 및 회귀 모형식

그리고, 표 9는 전기설계사무소 34개소에서 조사한 일반동력부하의 설계 수용률을 통계 처리한 것이며, 평균값은 62.9[%], 표준 편차는 7.7[%]로 분

석되었다.

일반동력부하에 대한 수용률을 제시하고 있는 기준은 없으며, 실제 현장에서 운영된 결과의 실태 조사 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 고조파발생기기로 인한 변압기 출력감소율 등을 고려하여 일반동력부하의 수용률을 설계자가 조정할 수 있다.

표 9. 일반동력부하용 설계수용률

항 목	최대값	최소값	평균값	표준편차	중앙값	데이터 건수
설계 수용률	80	42	62.9	7.7	64	34

1) 일반동력부하설비용량 1000kVA 이하의 경우

표 10은 조사 빌딩 24개소의 일반동력부하용 수용률의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 일반동력부하용 수용률값은 28 ~ 89.9[%]이고, 평균값은 54.5[%], 표준 편차 17.2[%]로 분석되었다.

그림 5는 1000kVA 이하의 부하설비용량을 가진 수용가의 수용률 산포도와 회귀모형식을 보여 주고 있다.

표 10. 일반동력부하(1000kVA 이하)의 수용률 적용실태 분석

항 목	최대값	최소값	평균값	표준편차	중앙값	데이터 건수
일반동력부하 설비용량[kVA]	980	210	478.1	234.7	371.0	24
수용률[%]	89.9	28	54.5	17.2	52.6	

2) 일반동력부하설비용량 1000kVA 초과인 경우

표 11은 조사 빌딩 18개소의 일반동력부하용 수용률의 적용 현황을 통계 분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 일반동력부하용 수용률값은 22.5 ~ 88.8[%]이고, 평균값은 40[%], 표준 편차 16.5[%]로 분석되었다.

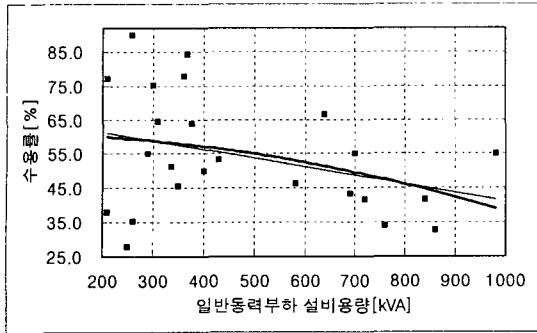


그림 5. 일반동력부하의 수용률 적용 실태 및 회귀 모형식

그림 6은 1000kVA 초과인 부하설비용량을 가진 수용가의 수용률 산포도와 회귀모형식을 보여 주고 있다.

표 11. 일반동력부하(1000kVA 초과)의 수용률 적용실태 분석

항 목	최대값	최소값	평균값	표준편차	중앙값	데이터 건수
일반동력부하 설비용량[kVA]	4307	1050	2291.6	984.2	2280	18
수용률[%]	88.8	22.5	40	16.5	34.7	

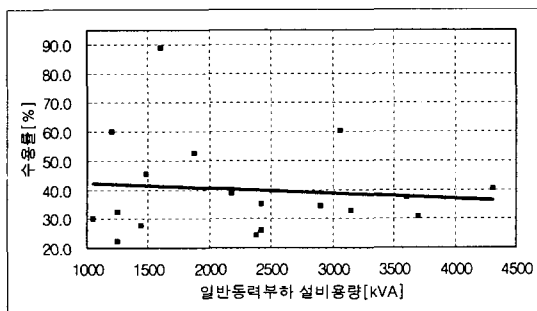


그림 6. 일반동력부하의 수용률 적용 실태 및 회귀 모형식

## 5. 결론

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

- 1) 실태조사 결과, 합성 수용률/부등률 평균값은

46.4[%]로 분석되었으며, 대부분의 수용가에서 변압기 용량의 여유가 많게 운전되는 것을 알 수 있었다. 따라서, 우리나라의 설비 가동 특성을 고려한 수용률/부등률의 기준이 필요함을 확인할 수 있었다.

- 2) 조명 및 일반동력부하 수용률 적용 실태와 수용률 기준(안)은 다음과 같다.

부 하 종 류	실태조사 수용률의 평균값[%]	설계 수용률의 평균값[%]	수용률 기준	
			범위[%]	중앙값[%]
일반전등전열부하용	60.8	65.2	60~65	62.5
- 1000kVA 이하	62.2		60~65	62.5
- 1000kVA 초과	55.4		50~60	55.0
일반동력부하용	48.3	62.9	50~63	57
- 1000kVA 이하	54.5		50~60	55
- 1000kVA 초과	40.0			40

- 3) 최근에는 개인용 컴퓨터, 소형 및 대형 실험장치, 무정전전원장치 등과 같은 고조파 발생원 부하가 상당히 보급되면서 고조파발생기로 인한 변압기 출력 감소 및 장치 부하 증가 등을 고려하여 설계에 반영하는 것이 필요하다.

## References

- [1] 김세동, 업무용빌딩의 전력소비특성을 고려한 수용률/부등률의 적용에 관한 연구, Vol.16, No.6, pp.74-79, 2002
- [2] 지철근 외, 건축전기설비설계기준, 건설교통부, 2000
- [3] 대한전기협회, 내선규정전문위원회, 최신개정판, 내선규정, pp.198~199, 2005
- [4] 박상동 외, 전기설비의 에너지절약 연구, 한국동력자원연구소, KE86-16, 1986
- [5] 김세동 외, 사무소건물의 전기설비 용량 산정에 관한 연구, 건기연, 91-FE-112, 1991