

# 건물의 변전설비 손실 실태조사 및 분석에 관한 연구

A Study on Substation Equipment Loss Actual State Investigation  
and Analysis of Office Buildings

俞賢在\*

(Hyun-Jae Yoo)

## 요 약

본 논문은 우리나라 전력다소비 건물의 전기설비용량, 전력사용실태를 조사하여 통계적인 처리를 함으로써 대형건물의 합리적인 수요율 기준안을 제시 하였으며 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 설정된 수요율 기준안을 적용하면 전기설비투자비 절감, 전력손실 감소, 설비이용율 개선 및 전기요금 절약에 기여할 수 있었다.
- 2) 제안된 기준수요율의 실사용으로 투자비용 및 경비의 절감효과를 확인할 수 있었으며, 또한, 설비운용과 계획에도 유용하리라 생각된다.

## Abstract

In this paper, the reasonable design standard of Demand Factor for large office buildings is introduced that was made by the statistical way considering actual conditions, such as investigated electrical equipment capacity, electrical power consumption, etc.

The results are as follows.

- 1) It is shown tht the saving of electrical equipment investment, the decrease of power loss, the improvement of facilities utilization and the decrease of electrical power rates can be contributed by the application of the design standard.
- 2) The effect of reduction is showed to confirm the practical use of the proposed reference Demand Factor, and also, it is believed that this proposed reference Demand Factor will be useful in electrical equipment operation and planning.

\*正會員 : 한국전력공사 전자계산소

接受日字 : 1992年 4月 28日

# 1. 서 론

변전설비는 건물이 있는 곳에는 반드시 시설되고 건축설비 중에서 큰 몫을 차지하고 있을 뿐 만 아니라 건물이 고층화, 대형화 되고 전력다소비 시설이 증가하여, 전력설비도 대용량화가 요구되어 전기설비가 복잡하고 막대한 시설투자가 소요되는 등 변전손실 증가의 원인이 되고있다.

이와같은 현상은 국내 전력사용 실정에 맞는 합리적인 수요율(Demand Factor)기준이 없는 것이 주 원인이며 때로는 설계비와 공사비에 관련시켜서 높게 기준을 적용하는 경우도 있다.<sup>1), 2), 3)</sup> 변전설비에서 높은 수요율의 적용은 이들의 용량이 과대하게 시설되어 막대한 설비투자가 요구되며 변압기의 무부하손실 증가에 의한 전력손실을 초래하게 되고 이용율은 상대적으로 떨어지는 반면, 낮은 수요율의 적용은 이들 설비에 과부하가 걸리게 되어 소손될 염려가 있다.

그러므로 합리적인 변전설비 설계기준의 설정이 시급히 요구된다. 이에따라 본 연구에서는 전력을 다량소비하는 건물을 백화점, 사무실, 아파트, 대학교, 병원, 호텔로 구분하여 변전설비현황 및 전력사용실태<sup>4), 5)</sup>에 대해 조사를 하여 이 자료를 기본으로 하여 분석하였다.

이 분석에 의해 변전설비 용량의 수요율 기준안을 제시하였으며 이를 적용할 경우 변전손실을 절감할 수 있어 에너지 절감대책에 적극적이고 능동적으로 대처할 수 있도록 하였다.

## 2. 변압기손실과 해석이론

### 2.1 변압기의 손실

변압기의 손실은 부하에 관계되는 손실과, 이것에 대하여 무관계인 손실의 2종류로 구별하고, 전자를 부하손실(Load Loss), 후자를 무부하손실(No-Load Loss)이라고 한다. 이것을 다음과 같이 분류한다.<sup>6), 7)</sup>

무부하손실 {
 

- 철손 { 히스테리시스손
- 와류손
- 유전체손, 절연물 중의 손실

부하손실 {
 

- 저항손, 권선 및 구출선
- 와류손, 권선 및 구출선
- 표유손, 변압기 외함 및 기타

무부하손은 히스테리시스손과 와류손이 대부분을 차지해 철손이라고 부르며 부하손은 저항손과 와류손이 대부분으로 동손이라고 한다.

### 2.2 손실의 해석이론

건물에 설치된 변압기가 용량 Q[kVA], 정격효율 η[%]로 운전될 경우 변전손실을 표시하면 다음과 같다.

먼저 전부하시 총손실 P<sub>t</sub>[kW]는

$$P_t = Q(1 - \eta/100)$$

단, P<sub>t</sub> = P<sub>i</sub> + P<sub>c</sub> (철손 + 동손) (1)

여기서 부하와 정격부하의 비를 r 이하라면

$$r = \frac{I_2}{I_{2n}} = \sqrt{\frac{I_2^2(R_1' + R_2)}{I_{2n}^2(R_1' + R_2)}} = \sqrt{\frac{P_i}{P_c}} \quad (2)$$

여기서 I<sub>2</sub>: 부하전류

I<sub>2n</sub>: 정격부하전류

R<sub>1</sub>': 2차로 환산한 1차저항

R<sub>2</sub>: 2차저항

한편 손실비(LR: Loss-Ratio)는

$$\alpha = P_c/P_i \quad (3)$$

이므로, 철손 P<sub>i</sub>[kW]는

$$P_i = \frac{P_t}{1 + \alpha} = \frac{\alpha Q(1 - \eta/100)}{1 + \alpha} \quad (4)$$

전부하동손 P<sub>c</sub>[kW]는

$$P_c = P_t \alpha = \frac{\alpha Q(1 - \eta/100)}{1 + \alpha} \quad (5)$$

이 된다. 그러므로, 식(2)에서

$$r = \sqrt{\frac{1}{\alpha}} \quad (6)$$

이 된다. 즉 식(6)에서 손실비가 큰 변압기 일수록 최고 효율점이 경부하측으로 이동함을 알 수 있다.

이 때 설비이용율을 X라고하면

$$x = \frac{W}{Q} \quad (7)$$

가 된다. 여기서, W = 평균부하[kW]

따라서 설비이용율 x에서의 변압기손실 P<sub>x</sub>[kW]는

$$P_x = P_i + x^2 \cdot P_c$$

$$= \frac{Q(1-\eta/100)}{(1+\alpha)} + \frac{\alpha(1-\eta/100)}{(1+\alpha)} \times \frac{W^2}{Q} \quad (8)$$

이때 전부하효율은 변압기상수 이므로

$$K = \frac{(1-\eta/100)}{(1+\alpha)} \quad (9)$$

라 하며

$$P_x = KQ + K\alpha \frac{W^2}{Q} = K(Q + \alpha \frac{W^2}{Q}) \quad (10)$$

이 된다. 위 식에서 보는바와 같이 평균부하량이 일정하다고 보면 변압기의 철손은 변압기용량이 증가할수록 커지고, 동손비는 변압기용량이 증가할수록 감소되는것을 알 수 있다.

### 2.3 변압기의 최적 용량선정

수전변압기의 전부하효율을 97.5[%], 평균부하를 100[kW], 손실비를 1.5라고 할 경우 변압기의 최적용량을 구해보면 다음과 같다.<sup>9)</sup>

식 (9)에서

$$K = \frac{(1-0.975)}{2.5} = \frac{1}{100} \text{이므로}$$

$$P_x = \frac{1}{100} (Q + 1.5 \frac{(10,000)}{Q}) = \frac{Q}{100} + \frac{150}{Q}$$

이다. 이때 손실  $P_x$ [kW]를 최소로 하는 변압기용량  $Q$ [kVA]는

$$\frac{dp_x}{dQ} = \frac{1}{100} - \frac{150}{Q^2} = 0$$

$$\therefore Q = 122.5 \text{[kVA]}$$

가 된다.

따라서 변압기 용량이 122.5[kVA]에서 손실이 최소가 됨을 알 수 있다.

표 1. 건물용도별 전기시설 및 전력사용 현황

Table 1. The present states of electrical equipment and electric power usage of the building

용도	항목	조사개소	건물연면적 [㎡]	전기설비사항				
				부하설비용량 [kW]	변전설비용량 [kVA]	최대부하 [kW]	연간소비전력 [MWH]	평균소비전력 [kW]
백화점		40	21,938	3,330	2,714	1,294	2,809	320.74
사무실		73	26,671	2,836	2,206	1,235	2,634	300.72
아파트		24	26,677	2,982	1,603	865	3,011	343.72
대학교		34	102,858	3,405	1,868	1,021	2,912	332.45
병원		31	38,085	2,453	2,014	1,098	2,706	308.95
호텔		41	15,675	1,966	1,535	991	2,988	341.11
평균		243	38,650	2,829	1,990	1,084	2,843	324.62

### 3. 실태조사 및 분석

#### 3.1 조사대상과 방법

건물의 합리적인 수요율기준 설정을 위한 전기설비 조사대상 및 전력사용 실태를 건물용도, 조사개소, 건평, 부하설비용량, 변전설비용량, 최대부하전력, 연간소비전력량, 평균소비전력 등으로 조사<sup>12)</sup>하였다.

여기에 사용된 건물규모는 백화점, 사무실, 대학교, 병원, 호텔의 경우는 총건평을 기준으로 하고 아파트의 경우 평형별 세대수를 적용했다. 부하설비용량 및 변전설비용량, 최대부하전력은 현재 시설된 변전설비 수요율 및 최대부하를 기준으로한 수요율의 비교분석 및 과용량상태를 분석하기 위해 선정하였으며, 연간소비전력량은 변전설비의 부하율, 설비이용율, 변전효율등을 분석하기 위해 선정하였다.

조사대상 지역은 서울, 부산, 대구, 광주, 전주, 대전 및 수도권지역 등 전국에 걸쳐서 선정하였으며 조사방법은 조명·전기설비학회지('89년 3월, '90년 3월, '91년 9월)등의 자료를 참조했다.<sup>3), 5), 12)</sup>

#### 3.2 전기시설 및 전력사용 실태

각 조사대상 건물의 용도별 평균전기설비 및 전력사용 실태를 조사하여 표1에 나타내었다.

## 4. 조사결과 및 분석

### 4.1 수요율 실태

각 대상 건물별로 조사된 전기설비용량과 최대부하에 의해 구한 수요율을 표 2에 나타내었다. 표 2의 각 수치들은 조사대상개소 수요율의 평균치 및 평균편차이다.

표 2에 나타난 바와 같이 각 건물용도별 평균수요율은 백화점 39[%], 사무실 44[%], 아파트 29[%], 대학교 30[%], 병원 45[%], 호텔 50[%]로서 다양함을 알 수 있다. 따라서 적정 수요율기준은 각 건물을 용도별로 구분하여 설정하는 것이 합리적이라고 할 수 있다.

표 3은 우리나라 제규정상 수요율<sup>9), 13)</sup>을 나타낸 것이다.

표 2. 건물의 용도별 수요율 현황

Table 2. The present states of demand factor of the building

건물용도	조사개소	수요율[%]
백 화 점	40	38.9±19.3
사 무 실	73	43.5±15.5
아 파 트	24	29.0±12.7
대 학 교	34	30.0±18.3
병 원	31	44.8±19.7
호 텔	41	50.4±17.4

### 4.2 용어정의에 대한 이론적 고찰

#### 1) 과용량율

변압기의 설비용량은 최대부하전력보다 큰

것이 보통이며 과용량율은 변압기설비용량과 최대부하전력과의 비를 말하고, 반드시 1보다 큰 값으로 된다.

$$\text{과용량율} = \frac{\text{변압기설비용량}}{\text{최대부하전력}} \times 100[\%]$$

#### 2) 설비수요율

어느 건물내에 소속된 변압기의 설비용량은 각 부하설비용량 합성과의 비보다 작은 것이 보통이고 설비수요의 종별, 기간 등에 따라 다르며 변압기 설비용량과 총부하설비용량과의 비를 말한다.

$$\text{설비수요율} = \frac{\text{변압기설비용량}}{\text{최대부하전력}} \times 100[\%]$$

#### 3) 최대부하수요율

전력사용은 시각과 계절등에 따라서 차이가 있다. 어떤 기간중의 최대부하 전력과 총부하설비용량과의 비를 말한다.

$$\text{최대부하수요율} = \frac{\text{최대부하전력}}{\text{총부하설비용량}} \times 100[\%]$$

그런데 각 용량율 및 수요율은 건물, 부하종류, 용량, 사용상태 등의 조건에 따라 다르므로 일률적으로 적용하는 것은 그리 용이하지 않기 때문에 설계시에는 대상건물, 부하특성 등을 충분히 검토한 후 해당 건물의 부하설비에 적합한 용량율 및 수요율을 적용해야 한다.

## 5. 수요율 기준안 설정

### 5.1 안전여유율

유별난 장래의 부하용량 증가가 없다고 하더라도 업종변경으로 인한 부하용량 과다, 이상

표 3. 우리나라의 제규정상 수요율

Table 3. The demand factor of the various regulations in Korea

전기공급규정		내선규정 205-10조. 간선의 전선규기		
부하설비 [kW]	승 율 [%]	용 량 별 [kVA]	수 요 율 [%]	비 고
0~75	100	0~10	100	전등, 소형 전기기계기구
76~150	85	10초과	50	주택, 기숙사, 여관, 호텔, 병원, 창고
151~225	75	10초과	70	학교, 사무실, 은행
226~300	65			
300kW초과	60			

기온으로 인한 냉, 난방 부하증가를 등 전혀 예측치 못한 전력사용 증대 또는 사고에 대비하고 설비기기의 신뢰도와 안전성을 감안하여 적당한 여유율(10[%])을 고려하여 설계에 반영하는 것이 바람직하다.

**5.2 수요율 기준설정**

표 2로 부터 분류된 건물범위 내의 최대부하 수요율에 건물종류별 편차(10~20[%]), 안전 여유율(10[%])을 고려하여 20~30[%]정도 여유를 주어 표 4와 같은 기준안<sup>2), 3), 12)</sup>을 제시하였다.

위와같은 적정 수요율의 기준설정에 필요한 것은 현재의 각 건물용도별 총부하설비용량에 대한 최대부하의 비율인 현재의 수요율과 장래 전력 수요율 등을 예측하는 것이다. 장래 전력 수요 및 수요율 증가예측은 과거의 전력수요 및 수요율 증가를 고려하여 이루어진다.

**표 4. 제안된 기준 수요율**

**Table 4. The proposed reference Demand Factor**

건 물 용 도	과용량율 [%]	설비수요율 [%]	최대부하수요율 [%]	여유율 [%]	기준안 [%]	비 고
백 화 점	209.7	81.5	38.9	28.5	50	평균 수요율 기준
사 무 실	178.6	77.8	43.5	14.9	50	
아 파 트	185.3	53.8	29.0	20.7	35	
대 학 교	183.0	54.9	30.0	33.3	40	
병 원	183.4	82.1	44.8	22.8	55	
호 텔	154.9	78.1	50.4	19.0	60	

**표 5. 실태별 설비이용율 비교**

**Table 5. The comparison of equipment utility factor by the actual state**

항 목 용 도	현 실 태			기준안적용시	
	과용량율 [%]	부 하 율 [%]	설비이용율 [%]	과용량율 [%]	설비이용율 [%]
백 화 점	209.7	24.8	11.8	163.1	15.2
사 무 실	178.6	24.3	13.6	155.4	15.6
아 파 트	185.3	39.7	21.4	153.5	25.8
대 학 교	183.0	32.6	17.8	137.3	23.7
병 원	183.4	28.1	15.3	149.4	18.8
호 텔	154.9	34.4	22.2	130.1	26.4

**6. 변전손실 절감효과**

본 논문에서 제시한 기준안의 타당성을 입증하기 위해서 역률 0.8, 설비이용율 x에서의 변전효율  $\eta_m$ 를 구해보면

$$\begin{aligned} \eta_m &= \frac{\text{출력}}{\text{출력} + \text{손실}} \times 100[\%] \\ &= \frac{\text{출력}}{\text{출력} + \text{철손} + \text{전부하동손}} \times 100[\%] \\ &= \frac{x \cdot Q \cdot \cos\theta}{x \cdot Q \cdot \cos\theta + L_i + x^2 \cdot L_c} \times 100[\%] \\ &= \frac{Q \cdot \cos\theta}{Q \cdot \cos\theta + \frac{L_i}{x} + x \cdot L_c} \times 100[\%] \quad (11) \end{aligned}$$

와 같이 표시할 수 있다.

식(11)에서 보는 바와 같이 효율은 설비이용율 x에 의해서 좌우됨을 알 수 있다. 따라서 현재의 설비이용율과 기준안 적용시의 설비이용율과의 변전효율을 비교하여 변전손실 절감율을 구할 수 있다.

표 6. 실태별 변전손실 절감율

Table 6. The rates of loss reduction in substation equipments by the actual state

건 물 용 도			변전효율실태 [%]	기준안적용시변전효율 [%]	변전손실절감율 [%]
백	화	점	95.02	95.66	12.9
사	무	실	94.82	95.42	11.6
아	파	트	96.62	97.12	14.8
대	학	교	95.31	97.03	36.7
병		원	95.58	96.35	17.4
호		텔	96.02	97.18	29.1

표 5는 현실태 및 기준안 석용시 설비용을 비교 한 것이며 표 6은 각각의 변전효율과 손실절감율을 구한것이다.

기법을 개발하여 실무자에게 널리 보급, 활용하도록 해야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

## 7. 결 론

변압기 손실감소를 위하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 국내 대형건물은 지나치게 과용량 상태로 변전손실(20~30[%])증가를 유발시키고 있었다.

(2) 건물의 변압기 용량선정시 설비용량을 사용목적, 부하종류에 따라 수요율을 구분 적용하는 것이 바람직하므로 현재 내선규정 205-10조(간선의 전선규격)는 적용상 비합리적이라 생각되어, 보완을 요한다.

(3) 본 논문에서 제시한 수요율안을 적용할 경우 변전설비 및 투자비절감, 변전손실감소, 과용량상태 저감, 전기요금감소, 변전설비 이용율의 개선등 적용효과가 매우 크므로 제안된 수요율안을 적극적으로 활용하여 변전손실을 감소(20~30[%]) 하도록 하며 에너지 절감대책 및 경제적 효과도 기여할 수 있다. 또한, 건물용도에 적합한 수요율안이 설정되었다 하더라도 설정된 수요율안을 충족시킬 수 있는 최적 변압기용량 설계기법이 없으면 적용시에 한계가 있기 마련이다.

그러므로 이를 극복하기 위해서는 표준 설계

- 1) D.S.Bassett/K.N.Clinard, "Distribution Automation and The utility System", 1990 Power Engineering Society Winter Meeting, pp. 449~454, 1990. 2
- 2) 송언빈, "합리적인 건물자동화시스템의 설계요점", 조명·전기설비학회지, Vol.3, No.1, pp.11~22, 1989.
- 3) 정지열의 3명, "아파트 동력부하의 전력수요실태", 조명·전기설비학회지, Vol.3, No.3, pp.25~32, 1989.
- 4) 김채규의 3명, "공동주택 단지내의 판매시설에 대한 전력수요실태", 조명·전기설비학회지, Vol.5, No.3, pp.15~24, 1992.
- 5) 장병철의 3명, "중층아파트의 가전기기보유 및 사용형태에 관한 조사연구" 조명·전기설비학회, Vol. 6, No.1, pp.15~24, 1992.
- 6) 박민호, 유도기기, 동명사, 1981.3, pp.58~75.
- 7) 박영문, 새로운 에너지 관리전략 으로서의 전력부하관리(상), 대한전기학회지기술해설, 1983.
- 8) 원종수, 최신전기설비(상, 하), 교문사, 1980
- 9) 대한전기협회, 내선규정, 1984.
- 10) 대한전기학회(춘계학술발표회), 전원개발계획의 방법론, pp.5~21, 1988.4.
- 11) 이재인, 부하관리의 합리화방안, 대한전기학회지 기술해설.
- 12) 지철근의 3명, 건물의 수요율 및 부동율 기준설정에 관한 연구, 대한전기학회지, pp54~62, 1990.3.
- 13) 박충규의 2명, 개정판, 전기법규, 보성문화사, 1986. 2.