

아파트의 동력변압기 용량 최적화 연구

(A Study on the Optimization of Power Transformer in Apartment Housing)

이기홍* · 성세진**

(Ki-Hong Lee · Se-Jin Seong)

요 약

본 연구에서는 아파트에 시설되어 있는 동력설비들의 운전실태를 측정하고 분석하여 동력변압기의 최적용량산출을 위한 동력부하의 종합수용률을 제시하였다.

측정결과 설비별 수용률은 급수동력부하는 47[%], 오수정화는 44[%]로 분석되었으며 변압기를 효율적으로 운전하기 위해서는 동력부하의 종합 수용률을 현재의 52[%]에서 42[%]로 변경하는것이 적절한 것으로 분석되었다.

Abstract

To establish the optimized capacity of power transformer, this paper proposed the total demand factor of power supply facility. For this purpose, it was measured and analysed the operating pattern of power supply facility installed in the apartment. As a result, it is found that the demand factor of each facility is following that : i) In case of power water supply facility ; 47[%], ii) In case of waste water facility ; 44[%]. Also, it was analysed that the optimized total demand factor of power load is proper 42[%] than 52[%] to lead the efficiency operation.

1. 서 론

최근 아파트의 급속한 보급에 의해 전체 가구수 대비 아파트의 비율이 단독주택을 앞서고 있어 아파트 중심의 주거문화가 정착되고 있음을 보여주고 있다. 또한 이러한 아파트의 양적팽창과 더불어 각종 주택기술분야에서도 기술발전과 변천이 이루어져 왔다. 특히 설비분야에서는 난방방식이 기존의 중앙난방 중심에서 개별난방 중심으로 바뀌었고 급수방식도 옥상물탱크가 있는 고가수조방식에서 가압급수방

식으로 바뀌고 있다.

또한 인버터 엘리베이터 보급의 일반화 및 고효율 조명기구 채택 등과 같이 효율향상과 서비스 수준 제고를 위해 많은 설비들이 변모되었고 그 결과 전력소비특성도 크게 변화되었다.

한편 주택부문에서의 전력소비는 국내 총 전력소비의 약 16%를 차지하고 있어 주택에서의 전력소비 특성에 대한 정확한 규명과 효율적 이용방안에 대한 연구가 차지하는 의미는 매우 크다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 아파트의 각종 공용설비들의 전력소비특성을 실측하고 이들을 분석하여 안정적 전력공급과 효율적 운전을 동시에 실현할 수 있는 최적의 동력변압기 용량산출을 위해 필요한 동

* 정회원 : 대한주택공사 주택연구소 연구원

** 정회원 : 충남대학교 전기과 교수

접수일자 2000년 11월 24일

력부하 수용률을 제시하고자 한다.

2. 부하전력 측정 및 결과

2.1 전력설비 현황 및 측정대상

아파트에서 전력을 공급하는 변압기는 그림 1과 같이 각 세대에 전력을 공급하는 전동전열변압기와 공용설비에 전력을 공급하는 동력변압기로 대별된다.

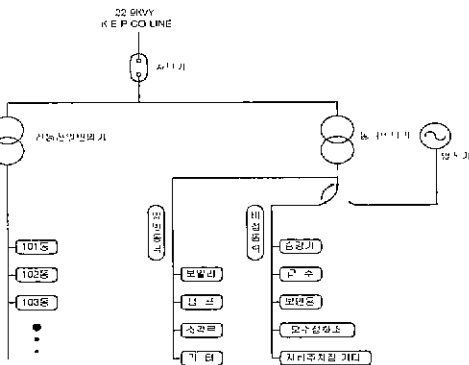


그림 1. 아파트의 전원계통과 전력부하
Fig. 1. Transformers and Power loads in Apartment Housing

또한 동력변압기로부터 전력을 공급받는 부하에는 보일러, 펌프 등과 같이 난방에 관계되는 일반동력부하와 승강기, 급수, 보안등, 오수정화설비 등과 같이 한전계통에서의 전력공급이 중단되면 곧 바로 비상발전기와 연결되어 전력을 공급받을 수 있는 비상동력부하들로 구분된다[1].

본 연구에서는 동력변압기의 부하특성과 엘리베이터, 급수, 오수정화설비 등과 같은 동력설비들의 전력소비특성을 측정하고 분석하였다.

2.2 측정방법

동력변압기 및 각종 동력부하의 간선에 전력측정기를 설치하여 1주 단위로 전압, 전류, 전력, 역률, 고조파 등을 측정하였다. 측정시기는 동력변압기의 부하율이 최대가 되는 동절기에 전국의 아파트에서 8개의 표본단지를 추출하여 측정하였다.

2.3. 측정결과

2.3.1 동력변압기

아파트 단지의 동력변압기 부하전력은 동절기에 소비전력이 최대가 되며 중앙난방의 경우 하루 중앙난방설비가 동작되는 시간에 최대소비전력이 나타나고 있는 것으로 분석되었다.

그림 2는 이와같이 측정된 난방방식별 동력변압기의 일부하 곡선이며 그림에서 종축에 표시한 상대계수는 변압기의 정격 용량 대비 부하전력을 나타낸다.

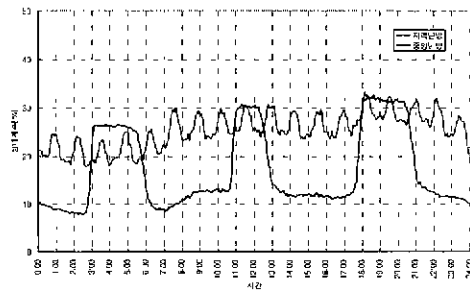


그림 2. 동력변압기의 일부하곡선 예
Fig. 2. Example of Load Profiles in Power Transformer

각 아파트에서 측정된 동력변압기의 부하전력을 나타내면 표 1과 같다. 표 1에서와 같이 최대전력은 변압기 정격용량의 23%~36%의 범위에 있는 것으로 분석되었다 따라서 일반적 변압기의 효율특성은 그림 3과 같이 정격용량 대비 부하율이 약 50% 이상일 때 최고를 나타내므로 현행 아파트에서의 동력변압기는 비효율적으로 운전되고 있음을 알 수 있다.

표 1. 동력변압기 용량 대비 부하전력
Table 1. Load Power against Power Transformer Capacity

난방방식	단지명	최저전력 [%]	평균전력 [%]	최대전력 [%]
중앙난방	구리B	9	18	34
	대전B	3	10	23
지역난방	군포A	10	20	34
	군포B	16	25	36
개별난방	공주A	10	19	34
	옥천A	7	16	35
	부안A	4	19	33
범위	-	4~16	10~25	23~36
평균	-	8	18	33

또한 역률은 측정단지 모두가 97%~100%로

아파트의 동력변압기 용량 최적화 연구

매우 양호한 상태로 측정되었으며 동력변압기에서의 고조파는 현재 변압기의 여유율이 충분하므로 별다른 문제가 없는 것으로 측정되었다. 표 2는 수원 A 아파트에서 측정한 고조파로서 고조파 차수별로 측정기간 중 가장 크게 발생된 량들을 나타낸다.

표 2. 동력변압기의 각 차수별 고조파 최대치
Table 2. Harmonics in Power Transformer

고조파 차수	5	7	11	13	17	19
전압 고조파[%]	2.6	2.3	1.4	1.1	0.6	0.5
전류 고조파[%]	28	24	10	7	1.9	2.1

2.3.2 엘리베이터

최근 일반적으로 보급되고 있는 개별 및 지역난방 아파트의 동력변압기 동력설비 중에서 엘리베이터가 차지하는 부하비율이 가장 크다.

그러나 엘리베이터의 전력소비 특성을 나타내는 요소 중 전부하 상승전류의 표준적인 기준치가 명확 실하여 적절한 동력변압기 용량산정에 어려움이 있었다[2].

따라서 본 연구에서는 엘리베이터의 각 기종별 전력소비특성에 대한 기준을 수립하기 위해 전력분석기를 이용하여 4개 제조사의 각 기종별(12기종) 전부하 상승전류를 측정하였다.

측정방법은 각 제조사별 최신 기종의 엘리베이터가 설치되어 운행되고 있는 아파트 현장에서 정격부하에 해당하는 분동(Weight : 엘리베이터의 부하실험을 위해 제작된 쇠덩치)을 실은 상태로 운행하면서 인버터 입력단에서 전부하 상승전류 및 역률, 고조파 등을 실측하였다.

이와같은 방법에 의해 각 제조사별로 측정한 전부하 상승전류 측정치를 각 기종별로 분류하고 이들을 신뢰수준 95[%]에서의 신뢰구간 최대값을 가지고 각 기종별 전부하 상승전류의 기준치로 선정하였다.

이 기준치에 안전율 20[%]를 고려한 결과를 표 3에 나타내었다.

표 3. 엘리베이터의 전부하 상승전류
Table 3. Full Load Current of Elevators

인승	11			13			15			17		
속도 [m/min]	60	90	105	60	90	105	60	90	105	60	90	105
전류[A]	21	26	33	22	31	35	25	32	40	31	38	42

2.3.3 급수 동력부하

아파트에서의 급수시스템은 일반적으로 옥상에 물탱크가 있는 고가수조 방식과 물탱크 없이 지하 저수조에서 인버터 등에 의해 직접 세대에 물을 공급하는 가압급수 방식이 있다.

이들 급수동력부하의 설비용량에 대하여 측정된 소비전력들을 나타내면 표 4와 같다.

표 4. 급수동력설비 소비전력 측정 결과
Table 4. Consumption Power in Water supply system

구분	측정 단지	설비용량	평균 전력 [%]	최대 전력 [%]	수용률 [%]
고가수조 방식	보령A	84.38 [kVA]	50	84	72
	부산B	169 [kVA]	34	63	45
	대전B	156 [kVA]	42	71	46
	군포A	125 [kVA]	22	52	45
	포항A	45 [kW]	(3)	57	44
가압급수 방식	수원A	76.5 [kW]	20	55	40
	대구A	33 [kW]	37	44	35
	평균		34	61	47

2.3.4 오수정화 설비

오수정화설비는 아파트에서 발생하는 오수를 정화시키는 설비로서 정화방식에 따라 크게 장기폭기식과 점축산화식으로 분류된다.

표 5. 오수정화설비 소비전력 측정결과
Table 5. Consumption Power in Waste Water facility

구분	측정 단지	부하 [kVA]	평균 전력 [%]	최대 전력 [%]	수용률 [%]
장기폭기식	부산B	156	51	55	53
	대전D	182	33	48	45
점축산화식	보령A	67	36	40	40
	부산A	65	35	53	43
	부산A	88	25	36	35
	대전C	65	31	37	36
	군포B	64	43	61	57
	평균		36	47	44

3. 동력변압기의 최적용량 산정

3.1 현행 동력변압기의 용량산정 분석

3.1.1 현행 동력변압기의 용량산정 방식과 수용률

공동주택에서의 동력변압기는 일반적으로 사용 목적에 따라 일반(난방)동력용 변압기와 비상동력용 변압기로 구분한다. 그러나 수전용량이 1000[kVA]이하인 경우에는 일반동력변압기와 비상동력변압기로 구분하지 않고 이들을 통합한 통합동력용 변압기를 적용하는 것이 일반적이다. 지역난방 및 개별난방 방식의 아파트에 주로 시설되는 통합동력용 변압기의 용량은 다음과 같이 산출된다.

$$\begin{aligned} & \text{최대수요부하[kVA]} \\ & = \text{승강기 전원용량의 합} \times \text{승강기 수용률} \\ & + \text{일반동력부하} \times \text{일반동력부하 종합수용률} \\ & + \text{비상동력부하} \times \text{비상동력부하 종합수용률(52\%)} \end{aligned}$$

3.1.2 동력부하별 변압기 용량

동력변압기의 용량 중 각각의 동력부하들이 어느 비율로 산정되는지 알아보기 위해 총 17개 단지의 설계량을 분석하고 그 결과를 표 6에 나타내었다. 중앙난방방식 단지에서는 난방부하, 지역 및 개별난방방식 단지에서는 승강기 부하가 가장 큰 용량을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

표 6. 동력변압기의 부하별 용량구성비
Table 6. Load Capacity Ratio in Power Transformer.
단위: (%)

난방 방식	일반		비상							
	난방	승강기	급수	배수	급배기팬	소방	오수정화	전동전열	비상콘센트	가스저장소
중앙난방	29	26	10	3	3	5	(11)	23	1	-
지역난방	5	37	12	3	8	7	(7)	26	1	-
개별난방	-	38	13	3	2	6	(13)	30	3	(13)

3.2 동력변압기의 최적 용량 산정 방안

3.2.1 변압기의 효율적 운전

변압기의 운전상태를 나타내기 위해 본 연구에서는 변압기 정격 부하율이라는 용어를 다음과 같이

정의하였다.

변압기 정격 부하율

$$= \frac{\text{평균전력(1일)}}{\text{변압기의 정격용량}} \times 100[\%]$$

즉, 변압기의 정격 부하율은 변압기의 정격용량에 대한 1일간 평균전력의 백분율을 나타낸다.

또한 변압기의 운전효율은 부하량에 따라 변한다. 국내에서 변압기를 생산하는 주요 3개사에서 생산하는 변압기들의 효율특성을 조사한 결과 대부분 그림 3과 같이 부하율이 약 50[%] 이상일 때 효율이 최대인 것으로 나타났다. 따라서 변압기의 효율적 운전만을 고려하면 평균전력이 50[%] 이상이 되도록 용량을 산출하는 것이 바람직하다.

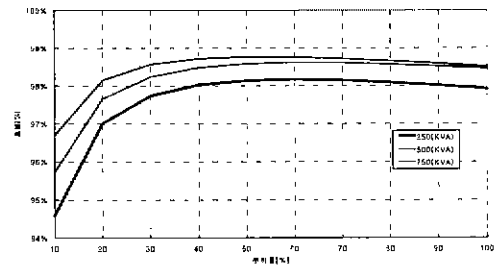


그림 3. 부하율에 따른 변압기의 효율 변화 예 (A사)
Fig 3. Example of efficiency for Load Factor in Transformer

3.2.2 고조파를 고려한 변압기 용량 산정

고조파는 기본파 주파수의 정수배 주파수를 갖는 주기적 파형 또는 그 양이며 이러한 고조파는 기본파에 중첩되어 기본파를 왜곡시키거나 그 크기를 변화시키므로서 전력설비에 소음과 진동, 열발생 등의 악영향을 끼친다[3].

따라서 ANSI/IEEE에서는 고조파 전류에 의한 열발생에 의해 변압기의 전류공급능력이 저하되는 정도를 계산하는 방법을 제시하고 있는데 이와같이 고조파전류에 의한 변압기의 전력공급능력 저하에 대한 개념을 변압기 산업계에서는 통상 *k-Factor* 라는 용어로 사용하고 있다[4].

이는 고조파전류의 영향을 고려하여 전원설비의

용량을 결정하는데 필요한 요소로서 특히 변압기 등에서 와전류손에 의한 열발생을 감안하여 용량을 결정하는 것으로 다음과 같은 식으로 정의되고 있다[5].

$$k-Factor = \frac{\sum_{h=1}^{h=k_{max}} h^2 (I_h/I_1)^2}{\sum_{h=1}^{h=k_{max}} (I_h/I_1)^2}$$

단, h 는 고조파 치수,
 (I_h/I_1) 는 기본과전류에 대한 고조파전류비

바꾸어말하면 $k-Factor$ 는 기본과전류 크기에 대한 고조파전류 크기의 상대적 비율을 의미하며 이는 변압기의 부하 전제가 고조파를 발생하는 부하일 경우 와전류에 의한 변압기의 열발생 현상을 고려하여 변압기 용량을 $k-Factor$ 배로 산정한다[6].

즉, $k-Factor$ 가 2일 경우 고조파를 발생하는 부하들만 갖고 있는 변압기는 고조파를 발생하지 않는 부하만 갖고 있는 변압기보다 그 용량을 2배로 하여야 한다는 의미이다.

$k-Factor$ 는 수식에서 알 수 있듯이 변압기의 용량 산정에 미치는 영향은 THD의 크기보다는 주파수에 더 종속적인 것을 알 수 있다.

본 연구에서 공동주택 동력변압기에서 측정한 고조파량을 가지고 $k-Factor$ 를 산출한 결과 약 1.5~2.0정도의 범위에 있는 것으로 나타났다.

따라서 고조파를 고려하여 변압기용량을 산정할 때에는 고조파 발생부하 용량의 1.5~2.0배 정도로 산출하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

3.3 적정한 동력부하의 종합수용률 설정

3.3.1 동력부하의 종합수용률 설정 조건

본 연구에서는 동력부하의 종합수용률을 다음과 같은 조건하에서 설정하였다.

(1) 지역 또는 개별난방방식의 공동주택 중심으로 수용률을 설정한다.

(2) 아파트의 전체 동력부하중 50%는 고조파를 발생하는 부하이다. 인버터승강기, 인버터 가압급수 시스템 등을 고려하여 동력변압기 부하 중 50%는 고조파를 발생하는 부하들로 구성되어 있다는 조건을 설정하였다. 이러한 조건은 표 6의 부하별 변압기 용량설계치 분석결과와 실제 운전실태를 고려할 때

타당한 것으로 판단된다. 또한 고조파를 고려한 변압기 용량 산정방식으로 $k-Factor$ 는 2를 적용하였다.

(3) 지역 및 개별난방 아파트에서의 동력변압기 정격 부하율(평균전력)과 최대전력은 표 1의 측정결과에서 신뢰수준 95%의 신뢰구간 최대값을 선택하면 각각 24%와 36%로 산출된다.

따라서 동력변압기의 최대전력은 평균전력의 1.5배가 되는 것으로 나타났다.

또한 부하구성비에서 50%를 차지하고 있는 고조파 발생부하에 $k-Factor(=2)$ 를 적용하면 평균전력과 최대전력은 24%, 36%에서 각각 절반에 해당하는 12%와 18%를 합산하여야 하므로 결국 36%와 54%라는 결과를 얻을 수 있다.

(4) 승강기와 승강기를 제외한 동력부하들에 대한 동력변압기의 용량 구성비를 40 : 60으로 설정하였다.

(5) 승강기에 대한 변압기의 용량은 본 연구에서 제시한 전부하 상승전류의 기준값과 같이 새롭게 제시된 설계요소들을 기준으로 산정하였다. 새로운 설계요소 기준들은 기존의 기준들보다 평균적으로 약 20%정도 축소된 것으로 계산된 것으로 나타났으며 이러한 변화는 전체 동력변압기 용량에서 약 8%가 축소되는 결과를 얻을 수 있다.

3.3.2 동력부하의 종합수용률 설정 결과

이상과 같은 조건들에 의해 동력변압기의 용량을 산출할 때 운전효율을 향상시키기 위해서는 현행 동력변압기 용량을 축소하여야 된다는 결론을 얻을 수 있다. 표 7에서는 현행 동력변압기의 설계용량 기준 대비 축소되는 변압기의 용량에 따라 동력변압기 정격 부하율(평균전력)이 증가하는 것을 나타내었다.

즉, 현행 동력변압기의 정격 부하율이 36%이므로 부하가 일정한 상태에서 이 정격 부하율을 40%, 45%, 50%로 증가시키기 위해서는 동력부하의 종합수용률을 현재의 52%에서 50%, 42%, 35%로 적용하여 변압기의 용량을 90%, 80%, 72%로 축소해야 된다는 것을 나타내고 있다.

표 8에는 동력부하의 종합수용률 값을 하향조정함에 따라 축소되는 동력변압기의 용량을 현행 동력변압기 용량 기준대비 백분율로 나타내었다.

변압기의 용량 산정은 장래의 부하 증설 고려와 함께 효율적 운전측면도 고려하여야 한다.

따라서 설계자의 설계 의지와 설비의 용도에 따라 변압기의 용량이 결정된다고 할 수 있다.

아파트에서의 동력변압기도 효율적 운전만을 강조하여 정격 부하율이 50[%] 이상이 되도록 용량을 산정할 수도 있겠으나 일반적으로 아파트의 변압기 수명은 건물수명과 함께 함을 고려할 때 향후 냉방부하에 의한 피크 등과 같은 비상시에 활용할 수 있도록 여유율이 약 32[%] 정도이고 정격부하율이 45[%] 정도가 되는 변압기 용량이 가장 적절한 용량으로 판단된다.

따라서 아파트에서의 동력부하 종합수용률은 동력 변압기 용량이 현행 동력변압기 용량의 80[%] 가 되는 42[%] 가 적절한 값으로 추정된다.

표 7. 동력변압기의 용량축소와 정격부하율
Table 7. Reduced Capacity and Average power in power Transformer

변압기 용량	현행	축소된 변압기 용량(현행대비)			
		100[%]	90[%]	80[%]	72[%]
정격 부하율 (평균전력)	36	40	45	50	
최대전력	54	60	68	75	
여유율	46	40	32	25	
동력부하 종합 수용률	52	50	42	35	

표 8. 동력부하의 종합수용률과 변압기용량
Table 8. Demand factor and Reduced capacity ratio of Transformer

현행 대비 동력변압기 용량 [%]	90	88	86	84	82	80	78	76	74	72
동력부하의 종합수용률	50	49	47	45	43	42	40	38	36	35

4. 결 론

전기에너지는 다른 어느 에너지로도 대체할 수 없는 필수에너지로서 에너지 자원이 빈약한 국내의 실정을 고려할 때 불필요하게 낭비되는 전기에너지를 저감하는 것은 매우 중요한 과제라 생각된다.

본 연구에서는 공동주택에 시설되는 동력변압기의 용량을 최적화하여 효율적 운전을 도모하기 위해 각

종 동력설비들에 대한 전력소비특성을 측정하고 분석하여 동력변압기 용량산정의 합리적 설계기준안을 제시하였다.

동력부하들에 전력을 공급하는 변압기는 항상 운전되고 있는 전원설비이므로 효율적 운전이 크게 요구되는 기기인 반면에 장래의 부하 증설에도 충분한 여유율을 확보하여야 한다는 양면성을 가지고 있다.

그러나 본 연구에서 현재 운전되고 있는 공동주택의 동력변압기를 측정하여 본 결과 대부분 비효율적으로 운전되고 있는 것으로 나타났다.

따라서 동력변압기의 효율적 운전을 위해서는 현행 용량보다 축소되는 것이 바람직하며 이에 필요한 동력부하의 종합수용률을 제시하였다.

또한 본 연구에서는 승강기의 기종별 전부하 상승 전류의 기준값을 수립하였고 고조파를 고려한 동력 변압기의 용량산출방법을 제시하였다.

참 고 문 헌

- (1) 대한주택공사 "아파트 동력부하 수요율 실태 조사 연구", p.45, 1989, 6
- (2) 대한주택공사 "인버터승강기의 동력설비용량산정 및 고조파 해석에 관한 연구", p.34, 1993, 12.
- (3) 한국전기안전공사 "전기시용장소의 고조파 장해분석 연구", p.47, 1996, 12.
- (4) IEEE PRESS "Power Electronic Converter Harmonics", P113, 1996.
- (5) IEEE Std 519-1992 (IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems).
- (6) ANSI/IEEE C57.110-1986 (IEEE Recommended Practice for Establishing Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents).

◇ 저자소개 ◇

이 기 홍 (李起弘)

1962년 11월 17일생, 1988년 충남대 공대 전기과 졸업(학사), 1990년 동 대학원 졸업(석사), 1999년 동대학원 박사과정 수료, 현재 대한주택공사 주택연구소 연구원.

성 세 진 (成世鎭)

1948년 7월 15일생, 1973년 서울대 공대 공업교육과 졸업(학사), 1975년 동 대학원 졸업(석사), 1988년 일본 동경공업대 대학원 졸업(박사), 현재 충남대 공대 전기공학과 교수.