

국내 전력용변압기 이용실태에 관한 조사연구

김선구*, 배석명*, 방선배*, 정종욱*, 이관제**

*한국전기안전공사, **동국대학교

An Investigation on the Actual State of Utilization with Power Transformers in Korea

S.G Kim* · S.M Bae* · S.B Bang* · J.W Jung* · K.J Lee**

*Electrical Safety Research Institution KESCO, **DONGGUK UNIVERSITY

Abstract - 우리나라는 에너지자원의 해외의존도가 높고 에너지다소비 산업구조를 가지고 있으며 또한 국제유가 등락에 따라 경제가 큰 영향을 받으므로 이에 대한 대처방안으로 합리적인 에너지 이용효율개선과 범국민적 에너지절약의 중요성 갈수록 높아만 가고 있는 실정이다.

에너지절약을 위하여 고효율 변압기를 채택하는 방법도 전력용변압기의 효율적 이용방안중의 하나이므로, 본 연구는 국내 전력용변압기의 평균연간 부하율을 도출하여 합리적이고 타당성 있는 고효율변압기 기술기준안 작성을 위한 자료제공을 목적으로 수행되었으며, 연구결과 도출된 내용은 국내 전력용변압기의 최저효율제 국내기준 마련 등 변압기 관련기준안을 검토 보완하는데 활용 할 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서 론

현재 우리나라는 에너지절약을 위하여 2000년부터 고효율기 자체 인증제도를 전력용 변압기에도 적용 시행하고 있다. 전력용변압기는 아몰퍼스 코어, 자구미세화 강판 등 저손실의 새로운 재료기술 및 컴퓨터의 성능향상에 따른 해석, 설계기술의 발달로 효율이 갈수록 향상되어 가고 있으며, 변압기의 크기 또한 줄어들고 있다. 그러므로 국가 전체적으로는 고효율 변압기의 보급이 확대되면 기존 일반 변압기 대비 무부하 손실 및 부하 손실을 효과적으로 저감할 수 있다.

따라서 본 논문은 자가용수용가를 대상으로 한 전력용 변압기 이용실태에 관한 조사연구를 통해 합리적인 에너지이용 방안 제시 및 전력수요관리 기대효과를 사전 검토하고자 국내 변압기 보급 실태 파악, 국내외 전력용 변압기 기술동향조사 그리고 전국 자가용전기설비 수용가를 대상으로 표본추출 후 현장방문 실태조사를 통하여 수용가의 연간전력사용량을 기준으로 변압기별 평균연간 부하율 도출, 전력용변압기의 효율적 이용방안을 고찰하여 보고자 한다.

2. 전력용변압기 조사대상

2.1 자가용전기설비 수용가 현황

조사대상인 전국의 자가용전기설비수용가(저압 제외)는 2005년 12월말 기준하여 총 140,381호이었으며, 조사대상의 층별 분포를 보면 전기안전관리대행수용가인 수전용량 1,000[kW] 미만은 120,968호, 전기안전관리자가 상주하고 있는 1,000[kW] 이상의 수용가는 모두 19,413호인 것으로 나타났다.

○ 도시의 크기구분(2005년도 통계청 인구센서스 자료 참조(6))

- 대도시 : 특별시, 광역시 : 인구 100만 이상
- 중도시 : 인구 50만 이상 ~ 100만 미만

- 소도시 : 기타

1,000[kW] 미만의 자가용수용가를 업종별로 구분하여 보면 1, 2차 산업이 가장 많은 65,333호(54.01[%]), 두 번째로는 고층건물 및 공동주택 등이 23,933호(19.78[%]), 다음으로는 공공기관 및 교육기관 등은 20,679호(17.09[%]) 그리고 서비스 업종인 3차 산업은 가장 적은 11,023호(9.11[%])인 것으로 나타났다.

또한 1,000[kW] 이상의 자가용수용가를 업종별로 구분하여 보면 고층건물 및 공동주택 등이 39.95[%] (4,756호)로 가장 많았으며, 두 번째로는 1, 2차 산업으로서 35.44[%]인 6,880호, 공공기관 및 교육기관 등은 15.59[%]인 3,026호, 그리고 3차 산업은 가장 적은 9.02[%](1,751호)인 것으로 나타났다.

○ 업종구분

- code 1 : 1, 2차 산업(농업, 어업, 금속, 기계, 건설, 식품, 전기, 전자 등)
- code 2 : 3차 산업(백화점, 상가, 시장, 호텔, 대형숙박 등)
- code 3 : 고층건물, 공동주택, 복합건물, 방송통신, 보험업, 보관 및 창고업 등
- code 4 : 공공기관, 교육기관, 공연장, 병원, 대학, 도서관, 군부대, 체육시설 등

2.2 조사대상 수용가 표본설정

조사대상인 전국의 자가용수용가 샘플 프레임의 구체적인 층별 분포는 다음 표 1과 같다.

이러한 표본추출들을 대상으로 전체 조사대상의 특성을 대표할 수 있는 표본추출에 특별히 유의하여, 통계기법에 근거한 일정 수준의 신뢰도 확보(95[%]±5[%] 오차 한계)하고자 층화할당(層化割當)에 의한 무작위 표본을 다음 표1과 같이 추출하였다.

표1. 추출된 표본의 층별 분포

구분	500[kW] 미만				700[kW] 미만				1,000[kW] 미만				1,000[kW] 이상			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
업종	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
호수	123	26	28	38	113	22	37	39	98	18	38	28	10	10	8	10

구분	3,000[kW] 이상				5,000[kW] 이상				합 계				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	총
업종	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	총
호수	18	18	20	20	10	9	9	10	372	104	140	144	760

3. 실태조사 방법 및 절차

3.1 부하율(load factor)

보통 사용하는 부하율(A)은 어느 기간의 평균전력과 최대전력의 비를 말하며, 이 부하율(A)은 변압기의 효율을 검토할 때 사용하는 부하율(B) [부하용량[kVA]/변압기용량[kVA]]과는 전혀 다른 개념이다.

$$\text{부하율(A)} = \frac{\text{평균전력}}{\text{최대전력}} \times 100[\%]$$

본 논문에서는 취급하고자 하는 부하율(B)은 어느 시점에서 특정변압기가 공급하는 부하용량과 변압기 시설용량과의 비율을 말하며, 변압기가 시설용량에 대하여 어느 정도의 부하로 운전되고 있는가를 보여주는 계수이다.

이 부하율은 변압기의 효율을 결정하는 중요한 요소가 된다.

$$\text{부하율(B)} = \frac{\text{부하용량}}{\text{변압기용량}} \times 100[\%]$$

3.2 조사방법 및 절차

변압기의 공급전력은 항상 일정한 것이 아니고 밤과 낮 그리고 계절 변화 등 시간의 흐름에 따라 연속적으로 변화하는 것이 일반적인 현상이다.

그러므로 변압기의 연간부하율을 파악하기 위해서는 조사(측정)기간을 1년 이상의 단위로 측정하는 것이 가장 정확한 방법이다. 그러나 본 논문에서는 전국의 자가용수용가를 대상으로 수용가내의 각 변압기마다 1년 동안 수많은 장비를 동원하여 각 변압기별 연간부하율을 파악한다는 것은 연구기간이라든지 용역금액, 인력과 장비 부족 등을 고려할 때, 현실적으로 불가능한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 전국의 자가용수용가내 각 변압기에 대한 연간부하율을 도출하기 위해서 다음과 같은 방법을 사용하였다.

먼저 전국의 한국전기안전공사 해당사업소의 실태조사 담당자가 도시규모별, 변압기 용량별 및 업종별로 구분되는 표본대상 수용가를 파악한 후, 표본조사 대상수용가를 직접 현장 방문하여 단선결선도를 파악 및 작성하는 등 변압기별 기본자료를 조사함과 동시에 고압측의 CT, PT를 이용 또는 저압측 부하전류를 측정하여 각 변압기별 현재의 전력사용량을 계산한다.

그리고 한국전력으로부터 표본조사 대상수용가의 연간 전력사용량을 파악한 후에 각 변압기별로 공급되는 현재의 공급전력을 기준으로 연간전력사용량을 나누게 되면 각 변압기가 공급한 연간전력량을 유추해 낼 수 있었으며, 이를 바탕으로 각 변압기별 연간부하율을 도출하였다.

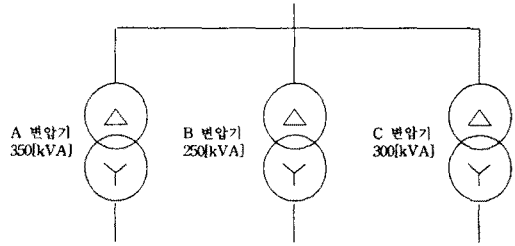
자가용수용가내 각 변압기별 연간부하율을 도출하는 구체적 예를 들면 다음과 같다.

< 계산 예 >

□ 조건

- 수용가 연간전력사용량 : 1,666,962[kWh]
- 기간 : 2005.10~2006.09(12개월)
- 수용가 역률('06.09 현재) : $\cos \phi = 0.9$
- 변압기별 순간 전력사용량(총 280.7[kW])
- A 변압기 : 113.7[kW]
- B 변압기 : 92.4[kW]
- C 변압기 : 74.6[kW]

○ 단선결선도



※ A 변압기 연간전력사용량

$$= \frac{113.7}{280.7} \times 1,666,962 = 675,218 \text{ [kWh]}$$

A 연간 추정부하율

$$= \frac{675,218}{350 \text{ [kVA]} \times 0.9 \times 365 \times 24} \times 100 = 24.4[\%]$$

□ 변압기별 연간 부하율 계산결과

- A 변압기 : 24.4[%]
- B 변압기 : 27.8[%]
- 변압기 : 28.1[%]

4. 실태조사 결과분석

4.1 조사된 샘플에 대한 분석

4.1.1 수용가 기준

실태 조사된 샘플 수용가를 검토하는 과정에서 일부 신뢰도가 떨어지는 실태조사표를 제외한 결과, 최종 분석대상으로 된 수용가는 총 743호 이었다,

이를 수용가 계약용량별로 구분하여 보면, 1,000[kW] 미만인 수용가는 80.48[%](598호), 1,000[kW] 이상인 수용가는 19.52[%](145호)인 것으로 나타났다.

또한 도시 규모별로는 중대도시가 39.57[%](294호), 기타 도시는 60.43[%](449호)인 것으로 조사되었다.

4.1.2 전력용 변압기 기준

실태 조사된 전력용변압기는 총 1,698대이었으며 이중에서 변압기 용량 1,000[kW]미만은 1,134대인 66.78[%], 1,000[kW]이상은 564대인 33.22[%]인 것으로 나타났다.

또한 변압기를 수전용과 배전용으로 구분하여 보면 수전용변압기는 전체 중 94.29[%]로서 대부분을 차지하고 있는 것으로 조사되었다.

4.2 연간 부하율에 대한 분석

4.2.1 전체자료

전체 표본에 근거한 모집단 변압기의 평균연간부하율의 추정치는 18.4[%]이며, 모집단 평균부하율의 95[%] 신뢰구간은 (17.8, 19.1)이다.

표2. 연간부하율(전체)

부하율	평균	표본수	SD	SE	95[%] 신뢰구간
연간 부하율	18.43	1,698	13.98	0.34	(17.76, 19.09)

주) SD : 표준편차, SE : 표준오차

4.2.2 용량별 연간 부하율

모집단을 변압기 용량별로 나누어 분석해 보면, 용량 500[kVA] 미만인 총 변압기의 평균연간부하율의 추정치는 16.6[%]이며, 또한 용량 500[kVA]~999[kVA] 사이의 총 변압기의 평균연간부하율의 추정치는 18.0[%], 그리고 용량 1,000[kVA] 이상인 총 변압기의 평균연간부하율의 추정치는 20.1[%]인 것으로 나타났다.

표3. 용량별 연간부하율

용량	연간부하율				
	mean	size	SD	SE	95[%] 신뢰구간
500[kVA] 미만	16.55	351	11.94	0.64	(15.30, 17.81)
500~999[kVA]	18.04	783	13.88	0.49	(17.06, 19.01)
1,000[kVA] 이상	20.12	564	15.09	0.64	(18.88, 21.37)
total	18.43	1,698	13.98	0.34	(17.76, 19.09)

모집단 변압기의 평균연간부하율을 용량별로 비교분석하였을 때, 변압기의 용량이 클수록 연간부하율이 높은 것으로 분석되었다.(유의수준 0.05)

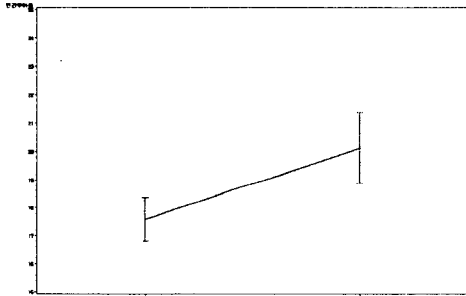


그림1. 용량별 연간부하율에 대한 신뢰구간

4.2.3 도시규모별 연간 부하율

모집단을 특별시, 광역시를 포함한 인구 50만 이상 중대도시의 모집단 변압기의 평균연간부하율의 추정치는 18.5[%]이며, 95[%] 신뢰구간은 (17.5, 19.4)이며, 인구 50만 미만 지역의 변압기의 평균연간부하율의 추정치는 18.4[%], 95[%] 신뢰구간은 (17.5, 19.3)이다.

표4. 도시규모별 연간부하율

도시 규모	연간부하율				
	mean	size	SD	SE	95[%] 신뢰구간
중대도시	18.45	679	12.91	0.50	(17.48, 19.43)
기타	18.41	1,019	14.66	0.46	(17.51, 19.31)
total	18.43	1,698	13.98	0.34	(17.76, 19.09)

모집단 변압기의 평균연간부하율을 인구에 따른 도시 규모별로 비교분석하였을 때, 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않고 있다.(유의수준 0.05)

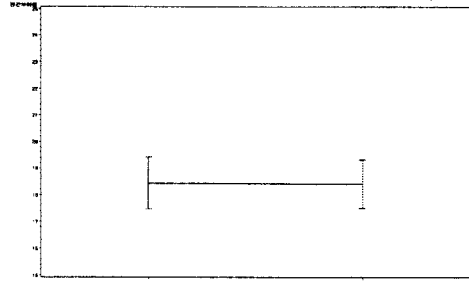


그림2. 도시 규모별 연간부하율에 대한 신뢰구간

5. 결 론

이상과 같이 수용가에 대한 전력용변압기 이용실태조사결과 우리나라의 연간평균부하율의 추정치는 18.4[%]로 조사되었다.

도시규모별 연간부하율은 중대도시 및 기타지역이 각각 18.5[%], 18.4[%]로서 도시규모별로는 통계적으로 거의 차이가 없는 것으로 조사되었다.

그러나 연간부하율을 변압기용량별로 구분하여 볼 때, 용량 500[kVA] 미만은 16.6[%]이었으나 용량 500[kVA]~999[kVA] 사이의 변압기는 18.0[%] 그리고 용량 1,000[kVA] 이상은 20.1[%]로 나타나 변압기의 평균연간부하율은 변압기의 용량이 클수록 높은 것으로 조사되었다.

현재 우리나라에서는 에너지소비효율등급제도, 에너지절약마크제도, 고효율기자재 인증제도 등 세 가지 효율관리제도가 시행중이며, 전력용변압기와 관련해서는 2000년 9월에 유입변압기, 2001년 12월에는 몰드변압기가 고효율기자재로 선정되어 실사용 보급중이다.

이러한 고효율변압기의 지속적인 보급 확대는 국가적으로 상당한 이익을 가져오는 것이므로, 본 연구결과를 토대로 전력용변압기의 최저효율제 국내기준 마련 및 고효율 기자재 인증제도와 관련된 고효율변압기의 기준안 등을 검토 보완하면 국내 실정에 적합한 고효율변압기의 생산 및 보급이 확대됨으로써 수용가의 전력요금 절감은 물론 관련업계의 시장경쟁력 강화를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- 1] 대기전력 및 고효율 전동기 기술기준 연구보고서. 2006년 7월, 한국전기연구원.
- 2] 효율관리제도 개선 및 관련기준의 국제 표준화 추진에 관한 연구, 2005. 6 산업자원부.
- 3] 기술산업정보분석 전력용변압기, 한국과학기술정보연구원.
- 4] 전력용변압기 예방진단기술의 최신 기술동향, 2006.4.28 한국전기연구원.
- 5] 김정인 외 7명, 효율관리제도 개선 및 관련기준의 국제 표준화 추진에 관한 연구(최종보고서), 2004-E-NC16-P-01-3-000, 산업자원부, pp.268-277, 2005. 6.
- 6] 한국전력거래소 전력통계, <http://www.kpx.or.kr>.
- 7] 한국전기산업진흥회 산업통계, <http://www.koerna.or.kr>.