

국내 전력용 변압기의 현장실태조사 분석

이상익*, 배석영*, 김기현*, 전현재*
전기안전연구원*

Analysis of power transformers survey in domestic

Sang-Ick Lee*, Seok-Myeong Bae*, Gi-Hyun Kim*, Hyun-Jae Jeon*
Electrical Safety Research Institute

Abstract - 국내의 에너지 이용 효율개선과 에너지 절약의 중요성은 갈수록 높아 가고만 있는 상황이다. 이에 국내 전력용 변압기의 평균 연간부하율을 도출하여 합리적이고 타당성 있는 고효율 변압기 기술기준안의 작성이 필요하게 되었다. 우리나라의 평균연간 부하율을 변압기 용량별, 업종별, 지역별로 구분하여 조사하였으며 이를 토대로 전력용 변압기의 관련 기준안을 검토 보완하는데 활용할 수 있을 것이다. 이러한 고효율 변압기 기술기준안 수립에 의해 예상되는 기대효과는 국내 실정에 맞는 고효율 변압기의 생산 및 보급이 확대됨으로써 수용가의 전력요금 절감은 물론 관련업계의 시장 경쟁력 강화 효과를 기대할 수 있을 것이다.

1. 서 론

국내에는 에너지 다소비 산업구조를 가지고 있고, 세계적인 고유가 상황과 교토후협약과 같은 환경문제에 대처하는 방안으로 합리적인 에너지 이용효율개선과 범국민적 에너지절약의 중요성은 갈수록 높아 가고만 있는 상황이다. 이에 따라 정부는 에너지 절약을 위하여 2000년부터 고효율 기자재 인증제도를 전력용 변압기에도 적용 시행하고 있다. 그러나 고효율 기자재 인증제도의 운영현황과 파급효과에도 불구하고 최근 일부에서 주장하고 있는 것처럼 현행 고효율 기술기준에 적합하지 아니한 자구제어(磁區制御)변압기의 효율이 실제 운전상태에서 고효율 기자재 기술기준에 적합한 변압기보다 효율이 같거나 우수한지의 여부가 논란이 되고 있다. 이러한 논란 가운데 변압기의 연간부하율이 중요한 요소 중의 하나로 대두됨으로써 변압기 연간부하율에 대한 조사가 필요한 실정이다. 전력용 변압기는 아날로그 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 전력용 변압기의 이용실태조사를 통해 합리적인 에너지 이용 방안 제시 및 전력수요관리 기대효과를 사전 검토하고자 국내 변압기 보급 실태 파악, 국내의 전력용 변압기 기술동향 조사 그리고 전국 자가용 전기설비 수용가를 대상으로 표본 추출후 현장 방문 실태조사를 통한 평균연간부하율 도출, 전력용 변압기의 효율적 이용방안을 제안하고자 한다.

2. 본 론

2.1 조사대상

조사대상인 전국의 고압 자가용 수용가는 총 140,381호이었으며, 조사대상의 층별 분포를 보면 전기안전관리대행 수용가인 수전용량 1,000[kW] 미만은 120,968호, 전기안전관리자가 상주하는, 1,000[kW] 이상의 수용가는 모두 19,413호인 것으로 나타났다. 또한 조사대상의 자가용 수용가를 도시 크기별로 구분하여 보면 중대도시는 모두 68,619호(48.88%), 소도시는 71,762호(51.12%)인 것으로 나타났다.

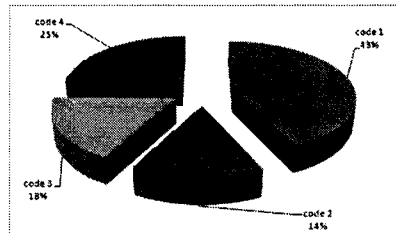
도시의 크기구분(2005년도 통계청 인구 센서스 자료 참조)

- 대도시: 특별시, 광역시(인구 100만 이상),
- 중도시: 인구 50만 이상 100만 미만,
- 소도시: 기타

1,000[kW] 미만의 자가용 수용가를 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 자가용 수용가를 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, 공인장, 병원, 대학, 도서관, 군부대, 체육시설 등



<그림 1> 업종별 구분

조사대상인 전국의 자가용 수용가 샘플 프레임의 구체적인 층별 분포는 표 1과 같다. 이러한 표본 추출틀을 대상으로 전체 조사대상의 특성을 대표할 수 있는 표본추출에 특별히 유의하여 통계기법에 근거한 일정 수준의 신뢰도 확보(95%±5% 오차한계)하고자 층화할당(層化割當)에 의한 무작위 표본을 다음 표와 같이 추출하였다.

<표 1> 표본 층별 분포

구분	500kW미만				700kW미만				1,000kW미만				소 계			
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	334	66	103	105

구분	1,000kW이상				2,000kW이상				3,000kW이상				소 계			
업종	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
호수	10	10	8	10	9	10	10	9	9	9	10	10	28	29	28	30

구분	5,000kW이상								소 계				합 계			
업종	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	계			
호수	10	9	9	10	10	9	9	10	372	104	140	144	760			

2.2 실태조사 방법

2.2.1 부하율

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

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

부하율(A)에서 최대전력을 수용가의 합성 최대전력인 배전 변압기 용량으로 보는 경우에는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\text{변압기용량} = \frac{\text{설비용량의총합} \times \text{수용률}}{100}$$

$$\text{부하율}(A) = \frac{\text{평균전력}}{\text{최대전력}} = \frac{\text{평균전력}}{\text{설비용량의 총합} \times \frac{\text{수용률}}{100}}$$

$$= \frac{\text{평균전력} \times \text{부동률}}{\text{설비용량의 총합} \times \frac{\text{수용률}}{100}}$$

위의 계산식에서 부하율은 부동률에 비해하지만 수용률에는 반비례함을 알 수 있다.

본 논문에서 부하율(B)은 어느 시점에서 특정 변압기가 공급하는 부하용량과 시설용량에 대하여 어느 정도의 부하로 운전되고 있는가를 보여주는 계수이다. 이 부하율은 변압기의 효율을 결정하는 중요한 요소가 된다.

$$\text{부하율}(D) = \frac{\text{부하용량}}{\text{변압기 용량}} \times 100[\%]$$

2.2.2 변압기의 등가부하율

변압기의 공급전력은 항상 일정한 것이 아니고 연속적으로 기록을 이루면서 변화하는 것이 일반적인 현상이며 이는 시간별, 주야별, 일별, 계절로 매년 유사한 형태로 순환하고 있으며, 부하수준은 심야와 주간, 평일과 휴일, 그리고 계절간에 커다란 격차가 있는 것이 특징이다. 따라서 이와 같이 수시로 변화하는 변압기의 부하율을 일정기간 동안의 부하율을 나타낼 수 있는 방식이 필요할 때 이를 등가부하율이라고 하며, 다음의 식으로 표현된다.

$$Pe = \frac{P_1^2 T_1 + P_2^2 T_2 + \dots + P_k^2 T_k}{T_1 + T_2 + \dots + T_k} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k P_j^2 T_j}{\sum_{j=1}^k T_j}}$$

P : 시간에 따른 부하율
T : 동일전력의 공급시간

2.2.3 수용률과 변압기의 용량선정

수용설비에 전력을 공급하기 위한 변압기의 설비용량을 결정함에 있어서 각 수용설비의 사용상태는 시간적으로 항상 변화하고 또한 모두가 한꺼번에 사용되는 것이 아니므로 반드시 수용설비 용량과 동일한 용량의 전력용 변압기를 준비할 필요는 없으므로 변압기의 설비용량은 수용설비 용량의 일정수준 내에서 공급능력을 갖는 변압기를 선정하는 것이 일반적이다. 따라서 변압기를 설치하는 경우의 용량선정은 "합성최대용량" 즉 상정되는 "연간 최대수용전력"을 기준으로 통상적으로 아래와 같이 결정한다.

$$\text{변압기 용량} = \frac{\sum \text{설비용량}[kVA] \times \text{수용률}}{\text{부동률} \times \text{역률}} [kVA]$$

변압기의 용량을 선정함에 있어서 업종별 수용률과 수용부하별 특성 및 운전조건의 적용방법에 따라 선정결과에 큰 영향을 미치게 되고 이는 곧 운전 변압기의 효율을 검토할 때 적용하는 부하율에 직접적인 영향을 미치게 된다.

2.2.4 실태조사 방법 및 절차

변압기의 공급 전력은 항상 일정한 것이 아니고 밤과 낮 그리고 계절 변화 등 시간의 흐름에 따라 연속적으로 변화하는 것이 일반적인 현상이다. 그러므로 변압기의 연간 부하율을 파악한다는 것은 연구기간, 금액, 인력과 장비 부족 등을 고려할 때 현실적으로 불가능한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 전국의 자가용 수용가내 각 변압기에 대한 연간 부하율을 도출하기 위해서 다음과 같은 방법을 사용하였다.

먼저 업종별, 용량별, 지역별로 구분되는 표본대상 수용가를 파악한 후 표본조사 대상 수용가를 직접 현장 방문하여 단선결선도를 파악 및 작성하는 등 변압기별 기본 자료를 조사함과 동시에 고압측의 CT, PT를 이용 또는 저압측 부하전류를 측정하여 각 변압기별 현재의 전력 사용량을 계산한다.

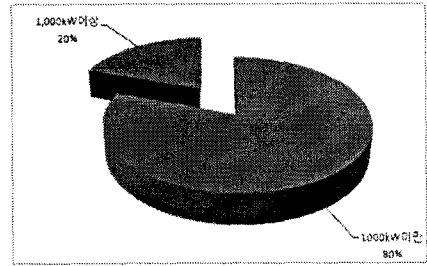
그리고 한국전력으로부터 표본조사 대상 수용가의 연간 전력 사용량을 파악한 후 각 변압기별로 공급되는 현재의 공급전력을 기준으로 연간 전력 사용량을 나누게 되면 각 변압기가 공급한 연간 전력량을 유추해 낼 수 있었으며 이를 바탕으로 각 변압기별 연간 부하율을 도출하였다.

2.3 실태조사 결과 분석

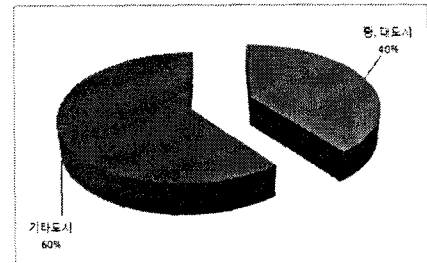
전국을 대상으로 실시한 전력용 변압기 이용 실태조사 결과를 보면 조사대상은 자가용 수용가를 기준으로 하면 743호 이었으며 변압기로 기준하면 변압기 총 대수는 1,698대로서 한 수용가당 2.28대를 보유하고 있는 것으로 조사되었다. 주요 분석내용을 보면 다음과 같다.

2.3.1 수용가 기준

실태 조사된 자가용 수용가를 총 743호를 분석하여 보면 그림 2와 같이 계약용량 1,000kW 미만은 80.48%, 1,000kW 이상은 19.52%인 것으로 나타났으며 도시 규모별로 구분하여 보면 그림 3과 같이 중대도시가 39.57%, 기타도시 60.43%인 것으로 나타났다.



〈그림 2〉 용량별 수용가

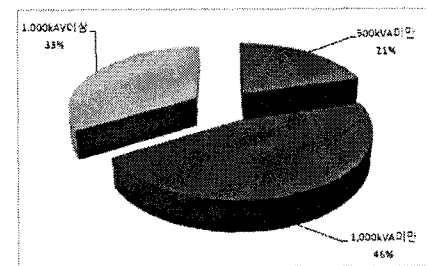


〈그림 3〉 도시규모별 구분

업종 구분별로는 1,000kW 미만 598호는 업종 구분 1(제1, 2차 산업)이 40.11%로 가장 많았으며, 업종 구분 2(3차 서비스 산업)가 9.56%로 가장 적은 것으로 조사되었다.

2.3.2 변압기 기준

실태조사된 전력용 변압기 1,698대를 대상으로 분석하여 보면 그림 4와 같이 변압기 용량 500kVA 미만은 26.6%, 1,000kVA 미만은 46.1%, 1,000kVA 이상은 33.2%인 것으로 나타났다. 또한 도시규모별로는 중대도시는 39.99%, 기타도시는 60.01%이었으며, 변압기를 수전용과 배전용으로 구분하여 보면 수전용 변압기가 94.29%로 대부분을 차지하고 있었고, 배전용 변압기는 4.71%로 나타났다.



〈그림 4〉 변압기 용량별 대상

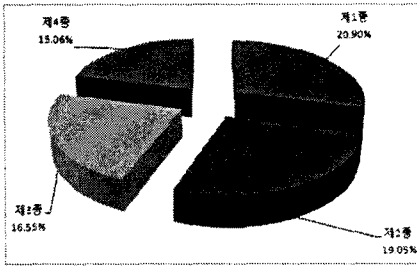
2.3.3 연간부하율

전체 표본에 근거한 모집단 변압기의 평균연간부하율의 추정치는 18.4%이며, 모집단 평균부하율의 신뢰구간은 95%이다.

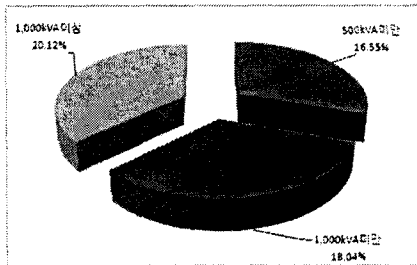
표본을 업종별로 층화하였을 때 그림 5와 같이 제1종 업종(1, 2차 산업)이 20.9%로 가장 높은 것으로 조사되었으며, 다음으로는 제2종 업종(3차 산업)이 19.1%, 공공기관 등 제4종 업종이 15.1%로 가장 낮았으며, 제1종 업종과 제4종 업종과의 부하율의 차이는 5.84%인 것으로 나타났다.

특별시, 광역시를 포함한 인구 50만 이상 중·대도시의 모집단 변압기의 평균연간부하율의 추정치는 18.5%이며, 인구 50만 미만의 기타지역 변압기의 평균연간부하율의 추정치는 18.4%로 조사되었다. 모집단 변압기의 평균연간부하율을 도시규모별로 비교 분석하였을 때 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않고 있다.

모집단중 용량 500[kVA] 미만인 총 변압기의 평균연간부하율의 추정치는 그림 6과 같이 16.55%, 용량 1,000[kVA]이상인 변압기의 평균연가부하율의 추정치는 20.1%인 것으로 나타났다.
모집단 변압기의 평균연간부하율을 용량별로 비교 분석하였을 때 변압기 용량이 클수록 부하율이 높은 것으로 분석되었다.



〈그림 5〉 업종별 평균연간부하율



〈그림 6〉 용량별 평균연간부하율

3. 결 론

실태조사 결과 국내의 연간부하율의 추정치는 18.4%로 조사되었다. 또한, 연간부하율을 업종별로 구분하여 분석하면 연간부하율은 제1종업종인 1, 2차 산업이 20.09%로 가장 높았으며 다음으로는 제2종 업종인 3차산업이 19.1%, 제4종 업종인 공공기관 및 교육기관 등은 15.1%로 가장 낮은 것으로 나타났다. 그러나 도시규모별 연간부하율은 중대도시 및 기타 지역이 각각 18.5%, 18.4%로 도시 규모별로는 통계적으로 거의 차이가 없는 것으로 조사되었다. 또한 연간부하율을 변압기 용량별로 구분하여 볼 때 용량 500[kVA] 미만은 16.6%이었으나 용량 1,000[kVA]미만의 변압기는 18%, 용량 1,000[kVA] 이상은 20.1%로 나타나 변압기의 평균연간부하율은 변압기의 용량이 클수록 높은 것으로 조사되었다.
고효율 변압기의 지속적인 보급확대 등은 국가적으로 상당한 이익이 발생하므로 강력한 지원제도와 시행을 통해 추진되어야 할 것으로 판단 된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국과학기술정보원, “기술산업정보분석 전력용변압기”
- [2] 박창호, “배전용변압기 최적 부하관리 방안에 관한 연구”, 학위논문, 2005.6
- [3] 한국전력거래소 전력통계, <http://www.kpx.or.kr>