

변압기 효율 적정화를 위한 변압기 부하율 조사 및 추정

(Investigation and Estimation of Transformer Load Factor for Rationalization of Transformer's Efficiency)

김종민* · 김영석 · 길형준 · 송길목**

(Chong-Min Kim · Young-Seog Kim · Hyoung-Jun Gil · Kil-Mok Shong)

Abstract

In this paper, We investigate the number of 795 transformer in the private electrical facilities and analyze the annual load factor. The results show that the annual load factor of transformer is 20.16% in manufacturing industry, education services(school) is 9.59%, retail and wholesale services is 19.68%, resort and leisure industry is 10.93%, office building is 13.10%, and apartment houses is 14.69%. Education services, resort and leisure industry are being operated with a very low annual load factor. The relatively small capacity of less than 500kVA transformer also been analyzed that is being operated with a low load factor. Therefore, In order to minimize the power loss of the transformer, it is advisable to complement the Transformer Efficiency Management system to be designed the efficiency is good transformer when the load is low. Analysis results will be used as the basis for the provision of transformer efficiency management system and be used High-efficiency transformers promotion system.

Key Words : Transformer, Load Factor, Private Electrical Facilities, Histogram, High-Efficiency Transformer

1. 서 론

우리나라는 에너지 자원의 해외 의존도가 높고, 에너지 다소비 산업구조를 가지고 있어 합리적인 에너지 이용효율개선과 에너지절약이 필수적이다. 변압기

는 전압을 승압, 강압하는 송배전에 필요한 필수 전기 설비로 전기에너지 손실의 2.6~3.1%를 차지(배전계통에서 전체손실의 30~40%를 차지)하는 에너지 다소비 품목이다. 현재 미국, 유럽, 캐나다, 일본, 멕시코 및 인도를 포함한 세계 여러 나라에서 변압기 관련 효율 제도를 운영 중에 있다.

우리나라는 에너지절약을 위하여 2000년부터 고효율기자재 인증제도를 전력용 변압기에도 적용 운영하다가 현재는 폐지하고, 2012년 7월부터 에너지소비효율 등급표시제도를 도입하여 적용 시행하고 있다. 에너지 소비효율 등급표시제도는 효율관리기자재 운용

* Main author : Electrical Safety Research Institute KESCO

E-mail : cmkim@kesco.or.kr

** Corresponding author : Electrical Safety Research Institute KESCO

Tel : 063-716-2862, Fax : 063-716-9660

E-mail : natasder@kesco.or.kr

Received : 2015. 11. 24.

Accepted : 2015. 12. 7.

규정 고시에 따른 의무 제도로, 국내 제조업자·수입업자가 지정 시험기관에서 측정 후, 의무적으로 에너지공단 에 제품을 신고하고 에너지소비효율등급라벨 및 최저소비효율라벨을 부착하여야 하며 최저소비효율기준(MEPS: Minimum Energy Performance Standard) 미달 시에는 국내 생산·판매가 금지되어 있다[1]. 현행 변압기 소비효율 측정은 KS C 4306, KS C 4311, KS C 4316, KS C 4317 규정을 따르고 그 측정 한 값을 기준환산온도의 50% 부하율 기준으로 환산한 효율을 대상으로 한다. 따라서 변압기 제조회사에서는 기준부하율의 50% 맞추어 변압기 설계·제작이 이루어지고 있다[2].

변압기는 전기기기 중에서 가장 효율이 높은 기기이며, 전력계통에서의 손실 중 가장 큰 비중을 차지하고 있는 기기이기도 하다. 변압기의 손실은 크게 무부하손과 부하손으로 구성된다. 이 중 부하손은 부하율 제 곱에 비례하며, 부하율에 따라 그 변압기의 손실 발생 이 변화한다. 무부하손은 부하의 유무에 관계없이 발 생되며 수전중인 변압기에서 24시간 계속적으로 발생 한다. 이처럼 변압기의 부하율은 변압기의 효율을 결 정하는데 중요한 요소이다. 하지만 국내에서는 사업 용 전기설비를 제외하고, 고객설비(자가용 전기설비) 에서의 변압기에 관한 부하율 연구가 부족한 상태이 다. 또한, 산업 종류에 따른 변압기의 부하율에 관한 조사 및 관리가 미비한 실정이다[3-7].

따라서 본 연구에서는 현장에서 사용되어지고 있는 자가용 전기설비에 대해 산업별 변압기의 부하율을 조사하였으며, 조사결과는 변압기 효율관리의 정책마 련 및 고효율변압기의 보급을 위한 기초자료로 활용 될 수 있을 것이다.

2. 본 론

2.1 부하율

보통 사용하는 부하율(A)은 일정 기간의 평균전력 과 최대전력의 비를 말하며, 이 부하율(A)은 변압기의 효율계산에는 직접적인 관계가 없는 지표로써 일정기 간 동안에 걸쳐 전력을 공급한 부하곡선의 평준화 정

도를 나타내고 있는데 이는 전기사업자에게는 공급시 설의 투자액을 절약하고 전력수요자에게는 저렴한 전 기요금을 부담하게 하고자 하는 부하경영체제(Load Management System)하에서 부하를 관리하는 자료 가 된다.

$$\text{부하율}(A) = \frac{\text{평균전력}}{\text{최대전력}} \times 100(\%) \quad (1)$$

부하율(B)은 특정시점에서 변압기가 공급하는 부하 용량(부하전류)과 해당 변압기의 정격용량(정격전류) 과의 비율을 의미하는 것으로 변압기의 효율을 결정 하는 요소가 된다. 본 논문에서는 효율과 관계되는 부 하율(B)을 조사하였다.

$$\text{부하율}(B) = \frac{\text{부하용량}}{\text{변압기용량}} \times 100(\%) \quad (2)$$

변압기의 공급전력은 항상 일정한 것이 아니고 연속 적으로 기복을 이루면서 변화하는 것이 일반적인 현 상이며, 이는 시간별, 주야별, 일별, 계절로 매년 유사 한 형태로 순환하고 있으며, 부하수준은 심야와 주간, 평일과 휴일, 그리고 계절간에 커다란 격차가 있는 것 이 특징이다. 따라서 이와 같이 수시로 변화하는 변압 기의 부하율을 일정기간 동안의 부하율을 나타낼 수 있는 방식이 필요한데 이를 등가부하율(C)이라고 하 며 식 (3)으로 표현된다.

$$\text{부하율}(C) = \frac{P_1^2 T_1 + P_2^2 T_2 + \dots + P_i^2 T_i + \dots + P_k^2 T_k}{T_1 + T_2 + \dots + T_i + \dots + T_k} \quad (3)$$

2.2 부하율 추론

자가용 전기설비 중에서 저압자가용전기설비는 전 기 사업자의 주상변압기에서 전기를 공급받고 있으므 로, 자체적으로 변압기를 보유하고 있는 경우는 없다. 따라서 조사대상인 전국의 자가용전기설비의 변압기 부하율은 전국의 자가용 전기설비 중 안전관리대행 현황을 기준으로 삼았다. 2014년 7월 기준으로 전국의 안전관리대행호수는 284,143호이며 전국 자가용설비

내 변압기 보유 추정대수는 284,143호×2.3(대/호)로 하면 약 650,000대로 추정할 수 있다[8]. 변압기의 연간부하율을 파악하기 위해서는 측정기간을 1년 단위로 측정하는 것이 가장 정확한 방법이다. 그러나 많은 변압기의 연간부하율을 측정하기 위해서는 많은 수의 계측장비를 동원하여 각 변압기별 부하율을 1년간 측정한다는 것은 가장 정확한 방법이지만 시간적, 비용적 측면에서 매우 힘든 일이다.

따라서 본 연구에서는 그림 1과 같은 방법을 사용하여 주요산업에 대한 변압기 연간부하율을 도출하였다.



Fig. 1. Investigation Procedure

조사기간은 1개월(2014년 9월)이었으며, 산업중에서 자가용 전기설비에 주요 형태인 제조업, 교육서비스업(학교), 도매 및 소매업(백화점, 마트), 리조트 및 여가산업, 오피스빌딩, 공동주택(아파트)에 대해 표본을 선정하였다. 표본은 전국 자가용 전기설비 중에서 분류업종에 따라 무작위로 추출하였다. 그 다음 조사 업종 표본수용가를 직접 현장 방문하여 수용가의 협조하에 단선결선도를 파악하여 변압기별 기본 자료를 조사함과 동시에 고압측의 CT, PT를 이용 또는 저압측 부하전류를 측정하여 각 변압기별 현재의 전력사용량과 역률을 측정하였다. 변압기가 1대인 소용량인 경우 한국전력의 ismart 고객정보를 통해 연간전력사용량을 알 수 있어 연간부하율을 계산할 수 있다[9]. 하지만 변압기가 여러 대인 경우는 개별변압기의 연간전력사용량을 알 수 없기 때문에 현재의 사용량을 기준으로 연간전력사용량을 나누게 되면 개별 변압기가 공급한 연간전력량을 유추해 낼 수 있으며, 이를 바탕으로 각 변압기의 연간부하율을 도출하였다. 조사되어진 표본 변압기의 연간부하율을 수용가의 변압기 정

보와 함께 DB화 하였다.

2.3 조사결과 및 추정

표 1은 조사되어진 변압기 표본의 평균용량, 평균사용년도를 나타낸 것이다.

Table 1. A number of transformer by the types of industry

산업 분류	구 분	몰 드	유 입	전 체
제조업	대 수	27	235	262
	비율(%)	10.31	86.69	100.00
	평균용량(kVA)	544.4	663.8	651.5
	평균사용년도(년)	9.74	10.66	10.56
교육 서비스업	대 수	83	39	122
	비율(%)	68.03	31.97	100.00
	평균용량(kVA)	644.0	407.7	568.4
	평균사용년도(년)	9.57	9.26	10.56
도매 및 소매업	대 수	68	29	97
	비율(%)	70.10	29.90	100.00
	평균용량(kVA)	1109.2	669	977.6
	평균사용년도(년)	10.09	12.9	10.93
리조트 및 여가산업	대 수	57	37	94
	비율(%)	60.64	39.36	100.00
	평균용량(kVA)	831.6	529.7	712.8
	평균사용년도(년)	8.91	17.38	12.25
오피스 빌딩	대 수	90	47	137
	비율(%)	65.69	34.31	100.00
	평균용량(kVA)	636.7	354.3	539.8
	평균사용년도(년)	12.11	9.89	11.35
공동주택	대 수	61	22	83
	비율(%)	73.49	26.51	100.00
	평균용량(kVA)	823.0	543.2	748.8
	평균사용년도(년)	9.54	14.4	10.83

제조업은 유입변압기 사용대수가 몰드변압기의 사용대수보다 많은 것으로 조사되어졌으며, 유입변압기의 사용기간이 몰드변압기에 비해 긴 것으로 조사되었다. 제조업의 연간부하율은 그림 2와 같이 분석되었

다. 변압기 조사대수는 몰드변압기 27대, 유입변압기 235대였으며 500kVA 이하는 연간부하율이 18.18% (167대), 500kVA 초과는 연간부하율 23.62%(95대)로 조사되었다. 표준편차 13.86이며 최대 연간부하율 65.4%, 최소연간부하율은 0.1%이다. 제조업은 몰드변압기에 비해 유입변압기의 사용률이 높으며, 24시간 연속해서 사용되어지고 있는 산업의 특성상 다른 업종에 비해 연간부하율이 높은 것으로 분석되었다.

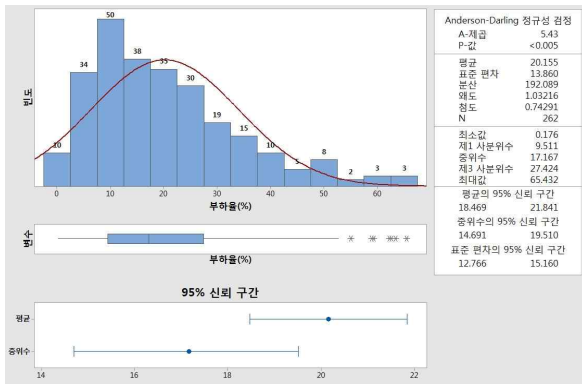


Fig. 2. Histogram of annual load factor for the manufacturing industry

교육서비스업(초·중·고등학교, 대학교)에 대한 연간부하율은 그림 3과 같이 분석되었다. 변압기 조사대수는 몰드변압기 83대, 유입변압기 39대였으며 500kVA 이하는 연간부하율이 9.9%(81대), 500kVA 초과는 연간부하율 8.8%(41대)로 조사되었다. 표준편차 5.7이며 최대 연간부하율은 50.84%, 최소연간부하율은 1.4%이다. 교육서비스업의 주요특징은 방학이라는 특수성에 의해 연간부하율이 매우 낮은 것으로 조사되었다.

도매 및 소매업(백화점, 마트, 시장 등)에 대한 연간부하율은 그림 4와 같이 분석되었다. 변압기 조사대수는 몰드변압기 68대, 유입변압기 29대였으며 500kVA 이하는 연간부하율이 16.18%(25대), 500kVA 초과는 연간부하율 20.89%(72대)로 조사되었다. 표준편차 8.57이며 최대 연간부하율은 39.8%, 최소연간부하율은 2.4%이다. 에너지 다소비 업종인 백화점 및 마트의 연간부하율은 제조업 다음으로 높게 나타났다.

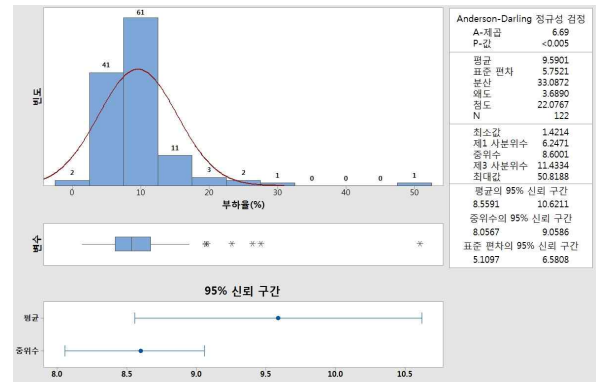


Fig. 3. Histogram of annual load factor for the education services

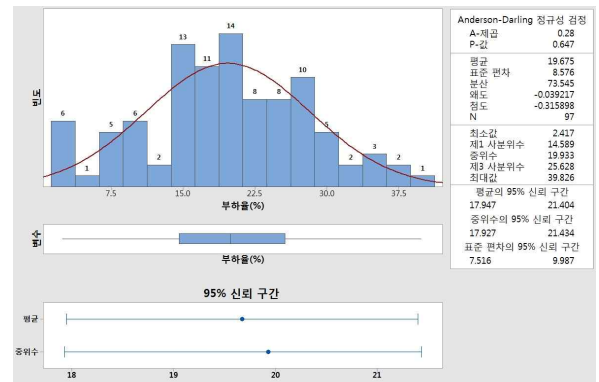


Fig. 4. Histogram of annual load factor for the retail and wholesale services

리조트 및 여가산업(리조트, 콘도, 놀이동산 등)에 대한 연간부하율은 그림 5와 같이 분석되었다. 변압기 조사대수는 몰드변압기 57대, 유입변압기 37대였으며 500kVA 이하는 연간부하율이 10.8%(42대), 500kVA 초과는 연간부하율 11.04%(52대)로 조사되었다. 표준편차 9.15이며 최대 연간부하율은 52.4%, 최소연간부하율은 0.6%이다. 리조트 및 여가산업의 연간부하율은 교육서비스업처럼 매우 낮은 것으로 조사되었다.

그림 6은 오피스빌딩(복합건물)에 대한 연간부하율 히스토그램이다. 변압기 조사대수는 몰드변압기 90대, 유입변압기 47대였으며 500kVA 이하는 연간부하율이 12.67%(87대), 500kVA 초과는 연간부하율 13.84%(50대)로 조사되었다. 표준편차 7.72이며 최대 연간부하율은 43.2%, 최소연간부하율은 1.2%이다.

변압기 효율 적정화를 위한 변압기 부하율 조사 및 추정

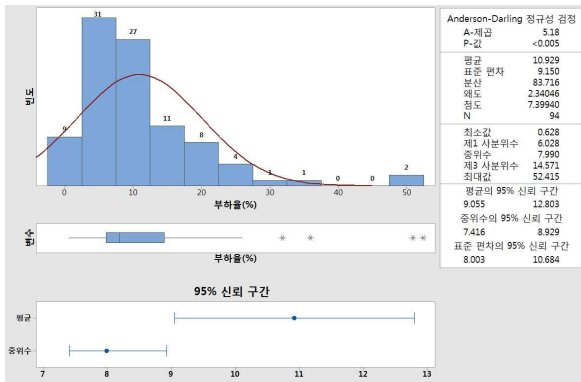


Fig. 5. Histogram of annual load factor for the resort and leisure industry

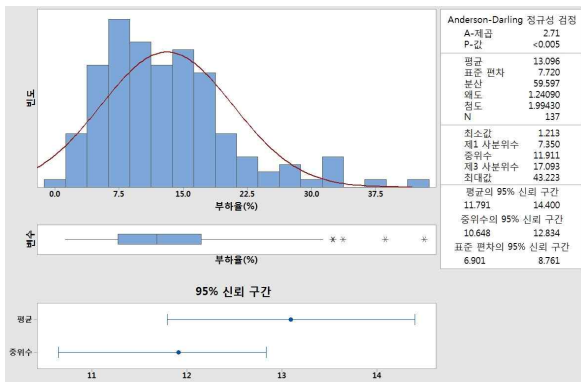


Fig. 6. Histogram of annual load factor for the office building

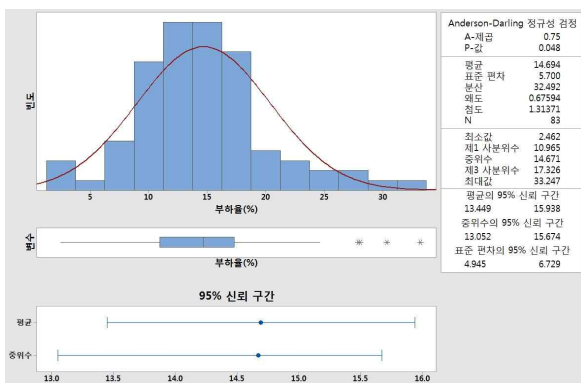


Fig. 7. Histogram of annual load factor for the apartment house

그림 7은 공동주택(아파트)에 대한 연간부하율 히스토그램이다. 변압기 조사대수는 몰드변압기 61대, 유입변압기 22대였으며 500kVA 이하의 평균연간부하

율이 16.92%(28대), 500kVA 초과는 연간부하율 13.56%(55대)로 조사되었다. 표준편차 5.7이며 최대 연간부하율은 33.25%, 최소연간부하율은 2.46%이다. 다른 업종의 연간부하율은 용량이 큰 변압기의 부하율이 높게 조사되어졌는데 공동주택에서는 500kVA 이하의 변압기의 연간부하율이 높게 조사되었다.

표 2는 조사 산업별 연간부하율이다. 제조업과 도매 및 소매업의 평균부하율이 높은 것으로 조사되었으며, 교육서비스업이 부하율이 가장 낮은 것으로 조사되었다.

Table 2. Annual load factor by the types of industry

산업분류	부하율(%)	표준 편차	조사 대수
제조업	20.16	13.86	262대
교육서비스업	9.59	5.75	122대
도매 및 소매업	19.68	8.58	97대
리조트 및 여가산업	10.93	9.15	94대
오피스빌딩	13.10	7.72	137대
공동주택	14.69	5.7	83대

3. 결론

본 연구에서는 현장에서 사용되어지고 있는 자가용 전기설비의 변압기 795대에 대해 현장조사를 실시하고 연간부하율을 조사하였다. 조사결과 제조업의 변압기 연간부하율은 20.16%, 교육서비스업(학교)은 9.59%, 도매 및 소매업 19.68%, 리조트 및 여가산업 10.93%, 오피스 빌딩 13.10%, 공동주택 14.69%로 조사·분석되었다. 교육서비스업, 리조트 및 여가산업과 같은 곳은 매우 낮은 부하율로 연간 운영되어지고 있으며, 500kVA 이하의 적은 용량의 변압기도 부하율이 낮게 운영되어지고 있는 것으로 분석되었다.

변압기의 전력손실을 최소화하기 위해서는 부하율이 낮을때에도 효율이 좋은 변압기가 설계·제작되어야 할 것이다. 따라서 현행처럼 일괄적인 50% 기준부하율에 적용한 최저소비효율기준 제도보다는 시장의 자율성을 해치지 않는 범위에서 다양한 기준부하율을

적용한 변압기 효율관리 제도를 도입하는 것이 바람직하다고 판단된다. 이와 같은 제도마련을 위해서는 보다 많은 수의 변압기에 대해 산업별 연간부하율, 계절별 연간부하율, 최대전력량 등에 관하여 좀 더 세부화 된 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

우리나라는 에너지 자원의 해외의존도가 높고 에너지 다소비 산업구조를 가지고 있어 지속적인 경제발전을 위해서는 에너지절약은 필수적인 요소이다. 오늘날의 에너지 절약의 키워드는 전기기기와 시스템의 고효율화이다. 즉 사용하는 기기의 에너지효율을 가능한 한 높이고, 건물이나 산업현장에서의 각종 시스템의 에너지 사용량을 조금이라도 줄일 수 있도록 최적화 시켜 근본적인 에너지 절약을 유도하여야 할 것이다.

References

- [1] Korea Energy Agency, www.kemco.or.kr
- [2] Efficiency Management Operating Code, Ministry of Trade, Industry and Energy, 2012.
- [3] Y.P. Wang, H.M Hong, S.D. Kim, "A Study on Characteristic for a Maximum Utilization Factor of Transformer with Regard to Load Characteristics in General Customers", KIIE Vol. 23, No. 12, pp. 217-223, 2009.
- [4] Y.S. Lee, J.Y. Seo, H.S. Shin, S.M. Cho, J.C. Kim, "The Study on Estimation of The Transformer Capacity of Housing and Economic Evaluation Using Case Studies", KIIE Vol. 24, No. 9, pp. 142-149, 2010.
- [5] S.D. Kim, Y.P. Wang, "A Study on Characteristics for a Contract Power Conversion Factor and Analysis of a Maximun Utilization Factor of Transformer in General Customers", KIIE Vol. 22, No. 5, pp. 80-85, 2008.
- [6] S.K. Seo, Y.T. Oh, S.D. Kim, W.Y. Shin, S.B. Yoo, J. Lee "A Study on the Assessment of Reasonable Transformer Capacity by Capacity by the Improvement of Diversity Factor", KIIE Vol. 24, No. 8, pp. 15-20, 2010.
- [7] S.K. Seo, S.D. Kim, C.D. Na, Y.T. Oh "A Study on the Application of Load Capacity by Unit Household and Analysis of Maximum Utilization Factor of Transformer with Respect to Power Consumption Characteristics in the Lease Apartment", KIIE Vol. 24, No. 2, pp. 127-132, 2010.
- [8] Korea Electrical Safety Corporation, www.kesco.or.kr
- [9] S.I. Lee, S.M. Bae, G.H. kim, H.J. Jeon, "Analysis of Power Transformers survey in Domestic", KIEE, conference, 2008.

◇ 저자소개 ◇



김종민(金鍾旻)

1972년 7월 18일생. 1998년 2월 전북대학교 공대 전기공학과 졸업. 2001년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 ~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 주임연구원.

Tel : (063)716-2862

E-mail : cmkim@kesco.or.kr



김영석(金榮錫)

1974년 4월 27일생. 1996년 2월 경상대학교 공대 전기공학과 졸업. 1999년 2월 동 대학원 졸업(석사). 2004년 2월 동 대학원 졸업(박사). 2001~2002년 야마구치 대학 전기전자공학과 객원연구원. 2003년 ~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원.

Tel : (063)716-2861

E-mail : athens9@kesco.or.kr



길형준(吉亨准)

1969년 8월 27일생. 1997년 2월 인하대학교 공대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2000~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원.

Tel : (063)716-2841

E-mail : fa523@kesco.or.kr



송길목(宋佶穆)

1967년 3월 31일생. 1994년 2월 숭실대학교 공대 전기공학과 졸업. 2003년 8월 동 대학원 전기전자재료 및 대전력 졸업(석사). 2007년 8월 동대학원 졸업(박사). 1996년 3월~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 책임연구원.

Tel : (063)716-2860

E-mail : natasder@kesco.or.kr