

# 배전용 변압기 효율평가 구매제도

박상호 | 한국전력 배전처 배전품질팀장

## I. 추진배경

한전의 배전용 변압기 구매는, 정부 등 공공기관이 중소기업제품을 구매할 때 적용해왔던 단체수의계약제도에 의하여 한국전기공업협동조합과 단가계약을 체결하여 왔으나, 2007년 1월부터 단체수의계약제도가 중소기업간 경쟁입찰방식으로 전환됨에 따라 한전에서는 변압기 구매방식을 가격 이외에 효율 등 에너지 절감비용(손실비용)을 평가하는 방향으로 전환하였다.

국내 배전용 변압기는 주상 및 지상설치형 변압기로 구분되며, 주상변압기는 일반지역에 사용되는 '표준형', 철손이 표준형 변압기의 1/4인 '아몰퍼스형',

변압기 내부에 차단기, 피뢰기 등을 내장하여 ABC(Aerial Bundled Cable) 선로에 사용되는 '보호장치 내장형' 등 3종을, 지상설치형 변압기는 일반지역에 사용되는 '표준형', 표준형 대비 전체크기(면적)가 작아 도심지 등 설치공간 부족개소에 사용되는 '슬림형', 변압기 1,2차 전원 절체가 가능한 '부하개폐형' 등 3종을 운영하고 있다.

한전에 변압기를 납품하는 업체수는 주상변압기의 경우 약 40개, 지상변압기는 30개 정도이며 연간 변압기 구매물량은 15만대로서, 구매금액은 약 1,700억원 정도로 시장규모가 비교적 큰 편이다.



[그림1] 배전용 변압기

하지만 배전용 변압기는 주요 배전기자재에서 발생하는 하자의 90% 이상을 차지하고 있으며, 변압기 공급업체수 대폭증가에 따른 과다경쟁으로 인한 저가낙찰 등 품질저하 요인이 내재되어 있어 변압기 제조업체의 품질향상 및 기술발전을 유도할 정책이 절실히 필요한 실정이다.

한편, 한전의 배전손실률은 2006년 기준 2.19%로 배전용 변압기 손실이 전체 배전손실의 약 40%를 차지하고 있으며 손실금액은 약 2,300억원('06 평균판매단가 : 76.43원/KWh) 정도이다. 만약 변압기 효율을 0.1% 향상할 경우 약 150억원의 손실비용 절감이 가능하며 효율향상에 따른 송배전설비 건설 회피비용 등을 감안하면 막대한 경제적 파급효과를 가져와 전력원가 절감과 경영합리화를 도모할 수 있어 배전손실중 가장 비중이 큰 배전용 변압기의 손실감소 및 효율향상 정책을 도입하는 것이 타당하다는 결론에 이르렀다.

$$* \text{ 변압기 효율} = \frac{\text{ 변압기 용량}}{\text{ 변압기용량} + \text{철손} + \text{동손}} \times 100$$

## II. 효율평가 구매제도 도입 필요성

배전용 변압기는 연간 15만대 이상 구매하는 품목으로 전력회사 입장에는 큰 재정부담이기 때문에 초기 구매가격 뿐 아니라 유지보수 비용 등 총 운전비용을 절감해야 한다. 변압기의 총 운전비용은 TOC : Total Owning Cost)라고 하며 구매가격, 설치기간 동안의 에너지비용, 유지보수 비용 등이 포함된 전체 수명기간의 총비용을 나타낸다.

변압기의 총 운전비용을 평가하여 구매하는 「효율평가 구매제도」는 구매비용과 수명기간 동안의 운전비용을 합한 비용[TOC]을 평가하여 구매하는 방법으로 미국의 경우 전력회사의 약 80%가 TOC 방식으로 구매하고 있으며 유럽은 영국, 스위스 등 대부분의 국가에서 TOC 방식으로 구매하고 있는 것으로 알려져 있다. 다만 일본은 배전용 변압기 구매규격에 용량별 무부하, 부하손을 규정하는 등 한전의 구매방식과 동일하게 운영하고 있다.

변압기 효율평가 구매제도를 도입할 경우, 구매자(한전)의 입장에서는 초기투자비는 구매가격 상승으로 다소 늘어날 수 있으나 효율향상에 따른 손실비용, 설비투자비 절감이 가능하게 되며, 제조자의 입장에서는 납품단가 상승으로 저가납품을 방지할 수 있고 설계·제작기술의 발전을 도모할 수 있으며, 국가적으로도 변압기 효율향상에 따른 발전설비 배출 환경오염(CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>)이 절감되는 등 이해당사자 모두가 만족할 수 있는 제도이다.

변압기 손실은 철손과 동손으로 분류되고, 철손(무부하손, No-Load Loss)은 히스테리시스손과 규소강판에서 발생하는 와류손으로 구분되며 철심(Core)의 특성과 설계방식에 따라 결정되므로 일정하다. 반면에 동손(부하손, Load Loss)은 권선 저항손과 누설자속에 의한 표류부하손으로 구분되며, 동손은 권선의 저항에서 발생하는 것으로 변압기 부하에 비례된다. 변압기의 효율특성은 철심의 재료, 동선의 사용량 등에 따라 달라지므로 변압기의 중량, 재료비 증가에 따른 손실비용 절감 등 경제성을 종합적으로 검토하여 설정해야 한다.

### Ⅲ. 효율평가 구매제도 개요

변압기 손실(효율)비용은 변압기 사용기간, 즉 미래에 발생하는 것이기 때문에 미래의 비용을 현재의 가치로 환산하는 경제성 평가방법을 결정해야 한다. 효율평가 구매제도 도입을 위한 경제성 평가산식은 변압기의 고효율화 및 저손실화를 위한 구매자의 중요한 정책이자 전략이며, 제조업체는 제시된 효율 평가산식에 따라 최적의 가격 및 효율레벨을 결정하게 된다.

이러한 변압기의 효율 등 총운전비용을 평가하는 방법으로는 크게 변압기 수명기간의 손실에 대하여 금리, 물가상승 등을 고려하여 구입시점으로 환산하여 변압기 구입가격에 가산하는 현가환산법(Present Worth Method)과, 변압기 수명기간의 평균손실(1년)에 대한 전기요금에 변압기 구입가격을 물가상승, 금리, 감가상각 등을 고려하여 1년간의 경비로 대체하여 가산하는 연비용평가법(Annual Cost Method)으로 분류할 수 있다.

총운전비용(TOC) 평가방식은 변압기 수명운전기간 동안의 총비용을 비교, 평가하는 방법으로 전력회사에서는 TOC를 최소화하는 조건으로 변압기를 구매하는 것이 일반적이며 TOC 평가산식에서 가장 중요하고 복잡한 부분은 에너지손실의 현재가치를 판정하는 것으로 전력회사별로 계통운영 조건을 고려하여 다양하게 적용중에 있으며 기본개념은 다음과 같이 표시할 수 있다.

■  $TOC(\text{Total Owning Cost}) = \text{구입가격} + A \times \text{철손} + B \times \text{동손}$   
 - A, B : 변압기 철손, 동손비용으로 전력회사의 회피비용(발전·송배전 설비구축, 연료, 운영, 유지보수 등 변압기의 에너지비용을 총당할 추가비용에 대한 수명기간 동안의 비용임)

TOC 산식에서 중요한 요소는 철손, 동손비용의 현재가치를 환산하는 계수로 손실계수로 불린다. 손실계수(A, B)는 에너지 비용, 시스템 용량비용, 부하패턴,

[표1] 국가별 손실계수(A, B) 적용사례

국 가	A[\$/W] (대표값)	B[\$/W] (대표값)
미 국	4.5~7.5 (6.0)	1.5~3.5 (2.0)
독 일	7.0~20 (13.0)	1.5~8.0 (3.0)
영 국	5.5~10 (7.5)	1.0~2.0 (1.5)
호 주	5.0~7.2 (6.3)	1.2~2.5 (1.8)

※ 출처 : Assessment of Distribution Transformers using Loss Capitalization Formulae[Victoria University, Australia]

금융비용등이 다르기 때문에 지역별, 전력회사별로 많은 차이가 나며, 손실계수(A, B) 산출은 변압기 타입, 용량, 부하특성에 따라 달라지고 경제상황, 이자율, 미래변화에 대한 예측방법 등을 고려해야 한다. 또한 전체 변압기 효율은 전력계통의 부하율에 따라 달라지므로 전력회사는 시스템의 적절한 부하레벨을 설정해야 한다. 만약 전력회사에서 손실계수(A, B)를 높게 책정한다면 손실절감형 변압기에 가중치를 부여함을 의미하게 된다. 다음은 국가별 손실계수 적용사례이다.

국내 배전계통에 적합한 평가산식을 도출하기 위하여 제 외국의 TOC 평가산식을 Benchmarking한 결과, 미국은 정부산하기관인 EPA(Environment Protection Agency)에서 손실의 현재가치 및 등가 초기가격에 기본을 둔 배전용 변압기 비용평가 프로그램을 개발하여 각 전력회사에서 수명기간동안의 연간 손실비용의 현재가치와 입찰가격을 더하여 평가하고 있으며, 호주에서는 전력회사 연합회인 ESA(Electricity Supply Association of Australia)에서 1970년대 중반부터 모든 전력회사에서 동일한 경제성 평가산식을 적용하도록 통일된 평가틀을 개발하고 있다.

벤치마킹 결과 변압기 효율평가 구매방식을 적용하

고 있는 대부분의 국가 및 전력회사는 경제성 평가시 '변압기 수명기간동안의 손실에 대하여 금리, 물가상승 등을 고려하여 구입시점으로 환산하여 변압기 구매 가격에 가산' 하는 현재가치환산방식(Present Worth Method)을 적용하고 있었으며, 철손, 동손 비용의 현재가치 환산계수(A, B) 산출시 철손의 경우 송배전설비 건설 회피비용을 고려하며, 동손의 경우 송배전설비 회피비용, 배전계통의 손실계수, 연간 최대수요에 대한 변압기 설비용량 등을 고려하고 있으므로 한전에서도 정확한 경제성 평가를 위하여 배전용 변압기 경제성 평가산식 개발에 반영하기로 하였다.

#### IV. 배전용 변압기 효율평가 산식

한전의 변압기 효율평가 산식은 변압기 수명기간의 총운전비용을 정확히 평가하기 위하여 송배전설비 회피비용, 손실계수, 변압기 설비 이용률 등을 감안하여 경제성 평가틀을 개발하였으며 상세 평가산식은 아래와 같다.

TOC 평가산식을 가공변압기 1상 50kVA를 기준으로 시뮬레이션해 본 결과 2006년도 변압기의 구매단가는 1,278천원이나 손실을 고려한 수명기간 동안의 총비용(TOC)은 3,122천원이 되므로 TOC중 구매가격이 차지하는 비중이(약 40%) 작게 되고 에너지 손실비중이 상대적으로 크게 되므로 제조자가 가격보다는 효율에 가치를 부여하게 되어 제조업체의 저가낙찰 방지 및 변압기 효율 상승효과가 있는 것으로 나타났다.

[표 2] 변압기 총비용평가(TOC) 산식

구 분	적 용	비 고
TOC	<p>■ TOC(Total Owning Cost)</p>	[원]
	<p>= BP + A*NLL + B*NL</p>	
	<p>- BP : 입찰가격(Bid Price)</p>	[원]
	<p>- A : 수명기간의 연간 철손비용의 현재가치</p>	[원/W]
	<p>- B : 수명기간의 연간 동손비용의 현재가치</p>	[원/W]
	<p>- NLL : 무부하손, 철손(No Load Loss)</p>	[W]
	<p>- NL : 부하손, 동손(Load Loss)</p>	[W]
A	<p>■ A = C*(P+8,760*Q) = 6,009</p>	[원/W]
	$- C = \frac{(1+i)^t - 1}{i \times (1+i)^t} = 10.448$	현가환산계수
	<p>*i : 자본비용(5.52%)</p>	가중평균자본비용('06)
	<p>*t : 내용년수(16년)</p>	자산회계상 내용년수
	<p>- P : 송배전설비 회피비용 = 110,126[원/kW]</p>	주1 참조
<p>- Q : 에너지 비용(53.09원/kWh)</p>	'05년 구입단가 적용	
B	<p>■ B = C*D2*(P+8,760*Q*H) = 1,752</p>	[원/W]
	<p>- D = 최대수요 / 변압기 설비용량 = 0.655</p>	설비이용률
	<p>* 최대수요('05) : 54,631MW</p>	
	<p>* 변압기 설비용량('05) : 83,352MVA</p>	
	<p>- H = 0.12F + 0.88F2 = 0.602</p>	손실계수(배전설계기준)
<p>* F = 평균부하/최대부하 = 0.762</p>	부하율('05년)	

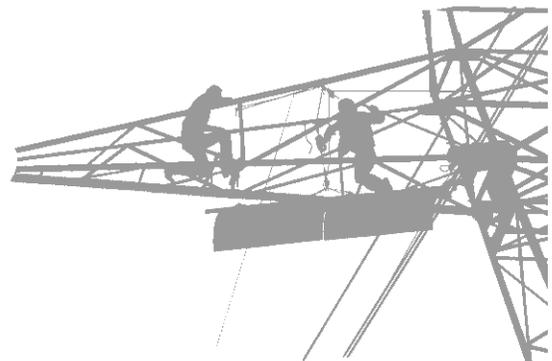
주1) 송배전설비 회피비용 : 대체 전력의 증분비용 또는 전력구입이 없을 경우 전력회사가 자체로 발전하거나 다른 발전사업자로부터 전력을 구입할 때 소요되는 증분비용

[표3] 가공용 1φ 50kVA 기준 시뮬레이션 결과

효율(%)	무부하손(W)	부하손(W)	TOC(원)	차액(원) (TOC-현단가)
98.5(현행)	120	641	3,122,896	-
98.6(+0.1)	71(↓)	641	2,828,455	294,441
	120	592(↓)	3,037,048	85,848
98.7(+0.2)	20(↓)	641	2,521,996	600,900
	120	537(↓)	2,940,688	182,208

한전에서 개발된 변압기 효율평가 산식 및 구매제도는, 구매제도의 특성상 국가계약법에서 규정하고 있는 최저가 낙찰방식(일반·제한·지명경쟁, 2단계 경쟁, 희망수량입찰), 적격심사제, 종합낙찰제 뿐 아니라 최근에 도입을 결정한 다수공급자 물품계약제도 등 모든 계약방식에 적용할 수 있다. 실제로 최근에 실시한 2007년도 배전용 변압기 입찰에 일부 적용해 본 결과 배전용 변압기 효율이 구매규격 제시값보다 0.01~0.04%정도 상승하는 효과를 거두었고 이러한 효과는 변압기 제조업체의 기술경쟁력이 강화될수록 더욱 증가될 전망이다.

향후에도 한전 배전처는 변압기 효율평가 구매제도가 올바르게 정착되어 한전 및 제조업체 모두에 이익을 가져다주는 WIN-WIN 정책이 될 수 있도록 최선의 노력을 다할 예정이다.



## V. 결론

2007년에 도입된 배전용 변압기 효율평가 구매제도는 그동안 가격위주로 구매되던 배전용 변압기 구매 방법에 일대 변화를 가져온 것으로 효율향상에 따른 손실비용 절감뿐 아니라 송배전설비 투자비 절감에 따른 경영이익 향상, 제조업체의 기술발전에 따른 국가 경쟁력 제고 등 대내외로부터 좋은 평가를 받고 있다.



- 연세대학교 석사(전기공학)
- 한국전력 포항지점 배전운영부장
- 한국전력 수요관리실 수요기술팀장
- 한국전력 배전처 배전품질팀장(현)