

배전변압기 신뢰성 평가를 위한 고장률 산출

송민국*, 김동희*

현대중공업 전기전자시스템연구소*

Failure Rate Calculation for the Reliability Evaluation of Distribution Transformers

Min Kook Song*, Dong Hee Kim*

Electro Electric System Research Institute / Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.*

Abstract - 본 논문은 신뢰성 평가의 핵심을 이루는 고장률 계산을 통하여, 배전변압기의 정량적인 신뢰성 척도 산출에 대한 것이다. 배전변압기는 사용시간의 경과와 더불어 환경 조건 등 여러 가지 요인으로 그 성능이 서서히 열화되고 마침내 고장에 이르게 된다. 따라서 배전변압기의 신뢰성에 대한 적절한 평가 도구가 없으면 배전변압기 설비 운영에 대한 피드백이 체계적으로 이루어지지 못하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 신뢰성 평가에 대한 정량적인 척도 산출이 필요하며, 이를 위해 본 연구에서는 배전변압기의 신뢰성 모형 설계를 수행하였다. 고장률 계산을 위해 일반적으로 널리 이용되는 확률론적 모형을 가정하였으며, 실제 운전 및 고장실적 데이터를 기반으로 한 배전변압기의 고장률을 산출하고, 이를 바탕으로 배전변압기의 수명 및 신뢰성 척도를 확보하였다.

- 1) 확률론적인 모형을 이용하는 방법
- 2) 상태에 대한 순차적인 해석 방법
- 3) 고장 효과 해석 방법

본 논문에서는 위의 3가지 방법 중 배전변압기 각 요소의 상태에 대한 확률론적 표현되는 확률론적 모형을 이용하는 방법을 이용하여 배전변압기의 고장률을 계산하였다. 가장 일반적이고 널리 이용되는 이 방법은 소위 'Markov Model'이라고도 불리며, 모든 확률적 범위를 그림 1과 같은 음의 지수함수분포를 이용하여 표현한다. 고장률의 분포를 지수함수로 한 것은 실제 전력기기의 운영을 고려할 때 모든 전력기기 설비는 경제 운영 원칙을 따르는데 기인한다. 그림 2의 육조모양 고장률 함수에서 초기 고장기간의 지수확률 분포의 모수를 고장데이터를 통해 추정하여 이를 이용하여 배전변압기의 평균 수명을 추정할 수 있다. 또한, 고장확률을 계산하기 위해서는 고장률 외에 수리율에 대한 정보도 필요하며, 본 논문에서는 수리율 역시 지수함수 분포를 따른다고 가정하였다.

1. 서 론

배전변압기는 절연유와 절연지와 같은 절연재료와 도전성재료, 철심재료 등으로 구성되어 있으며 장기간 사용과 운전 중 발생하는 열화현상에 의하여 전기적, 기계적 성능이 저하되고 이러한 이상 현상을 조기에 검출하여 적절한 예방조치를 취하지 않으면 대형 사고를 유발하므로 설비상태를 정확히 예측할 수 있는 신뢰성 평가에 대한 수요가 급증하고 있다 [1-7].

최근 전력기기의 신뢰성 평가를 위한 여러 방법론과 신뢰도 모형이 제시되고 적용되었다 [1-4]. 신뢰성 모형 수립 및 평가를 위해서는 고장실적 데이터가 중요한 변수로 사용되기 때문에 어떠한 데이터를 확보하고 있는가에 따라 신뢰성 모형 수립 및 평가 방법이 결정된다. 물론 더욱 정확한 신뢰성 모형 수립 및 평가를 위해서는 고장실적에 직간접적으로 영향을 미치는 요인(온도, 습도 및 환경적 요인 등)을 분석하고 고장률 계산에 이를 반드시 고려해야만 한다. 하지만 신뢰성 평가를 위한 고장실적 데이터가 중요함에도 진행된 신뢰도 평가 연구들의 대다수가 실제 고장실적 데이터를 이용하기 보다는 가정된 데이터들을 기반으로 이루어진 것이 대부분이다.

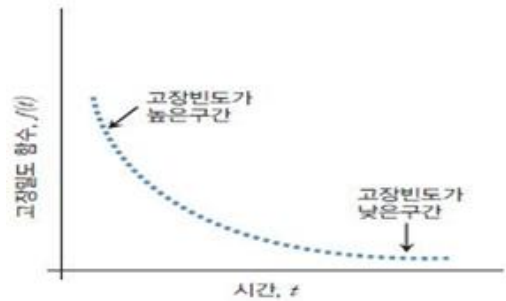
따라서, 본 연구에서는 과거 10년(2000년~2010년)간의 고장실적 데이터 베이스 중 초기 고장률 부분을 이용하여 배전변압기에 가장 적합한 정량적인 신뢰도 평가를 수행하였다. 배전변압기의 설치 장소 및 조건에 관한 영향을 무시한 고장률(Failure Rate)을 먼저 계산하였으며, 고장률 산출을 위하여 배전변압기 신뢰성 모형을 설계하였다. 배전변압기는 일반적으로 절연물기반의 신뢰성 모형으로 모델링되며, 독립적 사고와 의존적 다중사고로 크게 분류된다. 본 논문에서는 독립적 단일사고만 고려한 경우의 고장확률을 계산하고, 정확한 배전변압기의 신뢰성 평가방법을 제안하였다.

2. 신뢰성 모형 설계 및 고장률 계산

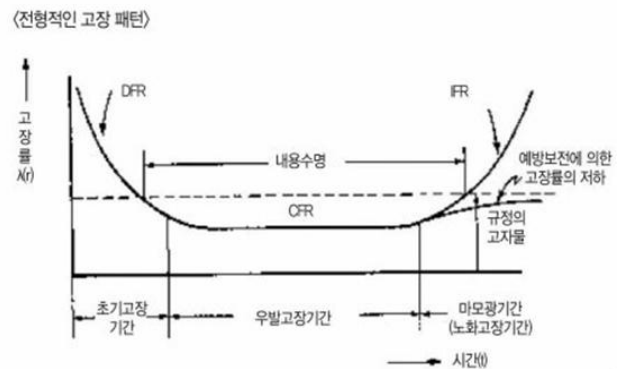
2.1 신뢰성 모형 설계

신뢰도는 여러 가지로 정의될 수 있지만, '예정된 기간 동안에 예상되는 운전상태에서 기기가 적절한 성능을 발휘할 수 있는 확률'의 의미로써 널리 사용되고 있다. 즉, 시스템, 기기 또는 부품의 시간적 안정성을 나타내는 정도 또는 성질을 의미하며, 시스템, 제품 또는 부품이 주어진 사용조건에서 의도하는 기간동안 제반 품질 특성을 유지하면서 정해진 기능을 발휘하는 확률을 나타낸다. 신뢰성의 정확한 평가를 위해 명확히 정의해야 할 사항은 크게 대상, 요구되는 기능과 고장, 사용 또는 환경 조건의 규정, 사용 시간 또는 사용시간에 상응하는 시간을 측정할 수 있는 척도이다. 그리고 전력기기 측면에서의 신뢰도는 규정된 운전조건을 만족하면서 수요자가 원하는 기능을 수행하는 정도를 나타내는 척도가 된다.

전력기기의 수학적인 신뢰도 평가방법에는 여러 가지 방법들이 있지만 크게 다음과 같은 3가지 방법으로 분류할 수 있다 [1].



〈그림 1〉 지수확률분포



〈그림 2〉 육조모양 고장률

2.2 고장률 계산

배전변압기는 일반적으로 그림 3과 같은 2가지 상태 모델(2-state model)로 모델링되며, 독립적 단일 사고와 의존적 다중사고로 크게 분류된다. 본 논문에서는 의존적 다중사고는 고려하지 않는다.



〈그림 3〉 배전변압기에 대한 상태 천이도

그림 3과 같은 2가지 상태 모델의 배전변압기에서 고장률(λ)과 수리율(μ)은 각각 다음의 식 (1)과 (2)에 의해 계산된다.

$$\lambda = \frac{1}{\frac{\text{고장상태의평균시간}}{\text{고장상태의수}}} \quad (1)$$

$$\mu = \frac{\text{고장전체시간}}{\text{고장수}} \quad (2)$$

또한, 식 (1)의 고장률은 평균값이므로 상수이고, 이 경우의 지수 확률 밀도분포함수는 식 (3)과 같이 된다. 여기서, x 는 확률 변수이다.

$$f_x(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

3. 사례 연구

실제 운용중인 배전변압기에 대하여 본 논문에서 제시하는 신뢰성 분석 방법을 적용하여 분석한 결과는 다음의 표 1과 같다. 사용된 데이터는 고객지원 관리 프로그램의 고객 클레임 레포트에서 수집된 정보를 활용하였다. 표의 내용은 다음의 식 (4)와 (5)를 통하여 계산한 고장률과 누적 고장률이다.

$$\lambda(t_i) = \frac{n(t_i) - n(t_i + \Delta t_i)}{N_0 \cdot \Delta t_i} \quad (4)$$

$$f(t_i) = \frac{n(t_i) - n(t_i + \Delta t_i)}{n(t_i) \cdot \Delta t_i} \quad (5)$$

여기서, $\lambda(t_i)$ 는 고장률, $f(t_i)$ 는 누적 고장률, N_0 은 초기의 샘플 수 (20,000개), t_i 는 실측 시간 그리고 $n(t_i)$ 는 t_i 시각에 작동중인 배전변압기의 수이다.

〈표 1〉 실제 운전중인 배전변압기 고장률

운전시간	$\lambda(t_i)$	$f(t_i)$
6개월	0.207×10^{-5}	0.207×10^{-5}
1년	0.120×10^{-5}	0.204×10^{-5}
2년	0.076×10^{-5}	0.219×10^{-5}
3년	0.055×10^{-5}	0.278×10^{-5}
3년이상	0.044×10^{-5}	0.200×10^{-5}

표 1을 통해서 실제 운용중인 배전변압기에 대한 데이터를 기반으로 순간 고장률 $\lambda(t_i)$ 은 운전 시간이 지남에 따라 그림 2의 육조모양의 고장률과 같이 줄어들음을 확인할 수 있다. $\lambda(t_i)$ 를 토대로 식 (3)의 확률 밀도 함수를 이용하여 지수확률 분포의 모수인 λ 를 추정할 수 있고, 배전변압기의 수명은 약 20년을 추정가능하다. 3년의 시간 뒤 고장률은 그림 2에서와 같이 상수확률로 수렴함을 가정한다. 추정된 λ 를 통해 현재 운전중인 배전변압기의 수명으로 추정할 수 있다. 하지만, 위의 배전변압기 운전데이터는 설치 장소 및 제품의 모델 차이에 따른 성능의 변화는 고려하지 않은 결과이며, 이는 향후 보다 세분화된 신뢰성 평가 연구로 이어질 예정이다.

4. 결 론

배전변압기의 신뢰도 평가를 위해서 선행되어야 할 것은 적합한 신뢰

성 모형을 수립하는 것이다. 이러한 모형수립을 위해서는 고장실적 데이터가 매우 중요한 요소이기 때문에 어떠한 고장실적 데이터가 존재, 분석되는가에 따라 신뢰성 모형과 평가 방법이 결정된다. 하지만 국내에서 전력기기의 신뢰성 평가 필요성 및 중요성이 대두된 것이 오래지 않아 진행된 연구의 대다수가 실제 전력기기 운용 데이터를 이용하기 보다는 가정된 데이터를 이용한 것이 사실이다. 본 논문에서는 현대중공업 전력기기의 과거 고장실적 데이터를 기반으로 고장율을 효율적으로 산출할 수 있는 신뢰성 평가 방법을 연구하였다. 산출한 고장율 데이터 및 산출 방법은 전력기기 신뢰성 평가에 매우 유용한 자료로 사용될 것이다.

향후 설치 장소의 데이터 및 생산 모델을 고려한 배전변압기의 신뢰성 평가 및 전력기기 전반에 대한 신뢰성 평가를 위한 연구를 수행할 계획이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이승혁, 김진오, 차승태, 김태균, 추진부, “한전시스템의 신뢰도 평가를 위한 모델 수립 및 고장률 계산”, 대한전기학회 하계학술대회, pp. 177-179, 2004.
- [2] 이희태, 문종필, 김재철, “전력공급확률을 이용한 분산형 전원을 고려한 배전계통 신뢰도 평가에 관한 연구”, 논문지명, 권호, 페이지, 한국전기학회, vol. 59, No. 12, pp.2119-2124, 2010.
- [3] 장정호, 이성훈, 이홍호, “유입식 변압기의 상태 진단을 통한 노후도 평가 방법”, vol. 63, No. 2, pp. 297-305, 2014.
- [4] Panida jirutitijaroen, Canana Singh, “The effect of transformer maintenance parameters on reliability and cost: a probabilistic model”, Electric power systems research, vol. 72, no. 2, pp. 213-224, 2004.
- [5] R. Billinton, R. N. Allan, “Reliability Evaluation of Engineering Systems-concepts and techniques”, 2nd Edition, Plenum Press, New York, 1992
- [6] Mahmud fotuhi-Firuzabad, Abbas Rajabi-Ghahnavie, “An Analytical Method to Consider DG Impacts on Distribution System Reliability”, IEEE T&D 2005.
- [7] Jasper F.L., van Casteren, Math H. J. Bollern and M. E. Schmieg, “Reliability assessment in Electrical Power Systems: The Weibull-Markov stochastic model”, IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 36, No. 3, 2000.