

A Study on the Application and Verification of Statistical Techniques for Calculating the Life of Electric Power Facilities

전력설비의 수명계산을 위한 통계적 분석기법의 활용 및 검증에 대한 연구

Onyou Lee, Kang-Sik Kim, Hongseok Lee, Chongun Cho, Sang-Bong Kim, Gi-Hun Park
이온유, 김강식, 이홍석, 조종은, 김상봉, 박기훈

Abstract

Social infrastructure facilities such as production, transportation, gas and electricity facilities may experience poor performance depending on time, load, temperature, etc. and may require maintenance, repair and management as they are used. In particular, in the case of transformers, the process of managing them for the purpose of preventing them from failing is necessary because a failure can cause enormous social damage. The management of transformers should consider both technical and economic aspects and strategic aspects at the same time. Thus, it applies the Asset Management concept, which is widely used in the financial industry as an advanced method of transformer management techniques worldwide. In this paper, the operation and power outage data were secured for the asset management of the transformer for distribution, and the asset status was analyzed. Analysis of asset status using actual operation and power outage data is essential for assessing the statistical life and failure rate of the facility. Through this paper, the status of transformer assets for arbitrary A group distribution was analyzed, and the end of life and replacement life were calculated.

Keywords: Asset Management System(AMS), Transformer, End of Life, Weibull Analysis

I. INTRODUCTION

국내 배전용 변압기는 약 1990년대부터 활발하게 제작·설치되었다. 변압기 설치 및 운영 초기에는 설치 의사결정에 초점을 맞추어 운영하였으며, 이후 점검 및 유지보수 중심의 운영이 이루어졌다. 최근 몇몇 국외 전력사는 변압기 운전년수가 수명에 도래하여 최적 교체 방안 및 시점을 결정하는 자산관리 연구를 진행 중에 있으며, 국내 배전용 변압기 또한, 수명분석 및 교체 의사결정이 필요한 시점이다. 전력설비의 고장은 설비의 종류 및 규모에 따라서 정전의 범위와 파급효과는 달라지며, 전력회사로서는 공급중단으로 판매이익이 감소할 뿐만 아니라 고객에 대한 신뢰도를 저하시킨다. 고객으로서는 물품의 생산중단이나 서비스 중단 같은 직접적인 손실뿐만 아니라 2차, 3차적으로 파급되는 서비스 중단이나 손실이 발생하기 때문에 높은 공급 신뢰성을 요구받고 있다. 신뢰성 높은 자산관리를 위하여 실제 운전 및 정전데이터를 적용한 자산 현황분석이 필요하다. 본 논문에서는 일반적인 자산관리의 개념과 배전용 변압기의 운전 및 점검기준을 소개하고, 특정 A그룹의 가공 변압기 운전 및 고장 현황을 수집하여 배전용 변압기 운영 경향을 확인하였다. 또한, Weibull 통계분석 기법을 적용하여 분석에 적용한 A그룹 배전용 변압기에 적합한 수명기준을 수립하였다.

II. 자산관리의 정의 및 개념

A. 자산관리의 정의

CIGRE에 따르면 자산관리는 전력설비의 전 주기의 상태를 감시하여 잔여 수명 및 비용 등을 종합적으로 평가하여 최적의 유지보수 및 투자 의사 결정을 하는 기법이라고 정의되고 있다. ISO 55000의 경우, 자산관리는 전력설비 자산의 성능 및 상태 기준에 따라 투자를 최적화하는 것이라고 정의하고 있다[1]. 즉, 자산관리 시스템은 신뢰성과 경제성 관점에서, 설비의 가치와 성능이 극대화될 수 있도록 전력설비의 잔여 수명 및 비용을 종합평가하여 최적의 투자 의사 결정을 지원하는 시스템이다[2].

B. 일반적인 자산관리 프로세스

자산관리의 과정은 자산, 고객, 자산관리자에 따라 목적과 기능이 상이하다. 해당 목적과 기능 수행을 위한 프로세스 또한 상이하나, IEC, ISO, PAS, CIGRE 등 다양한 문헌에서 소개하는 자산관리의 프로세스의 일반사항을 분석하여 일반적인 자산관리 프로세스를 그림 1과 같이 6 step으로 정리하였다. 이때 ② 기초 데이터 수집 단계와 ③ DB 통합 및 분석단계는 자산의 데이터를 수집하고 의사결정에

Article Information

Manuscript Received December 15, 2021, Accepted April 28, 2022, Published online December 30, 2020

The authors are with KEPCO Research Institute, Korea Electric Power Corporation, 105 Munji-ro Yuseong-gu, Daejeon 34056, Republic of Korea.

Correspondence Author: Onyou Lee (onyou@kepco.co.kr)



This paper is an open access article licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License.

To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

This paper, color print of one or more figures in this paper, and/or supplementary information are available at <http://journal.kepco.co.kr>.

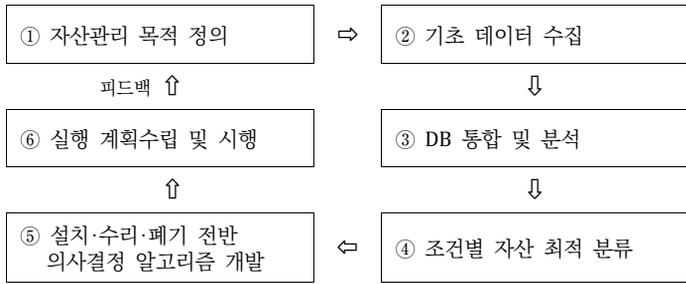


Fig. 1. 일반적인 자산관리 프로세스

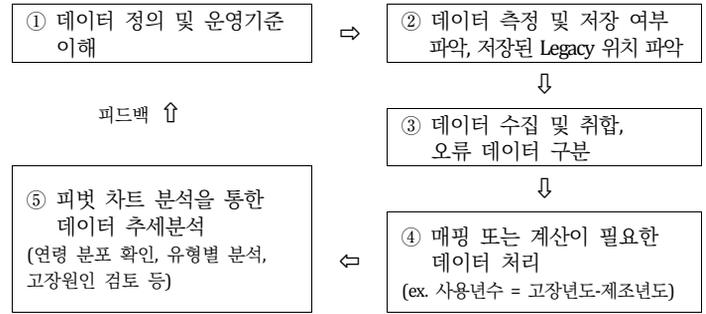


Fig. 3. 자산현황 분석 프로세스



Fig. 2. 전력설비 Life Cycle 개념도

필요한 정보를 추출한 후 fleet 단위로 자산을 관리할 수 있도록 분류체계를 갖추어 분석하는 단계를 말한다.

C. 수명의 정의 및 해외사례

자산관리를 수행하는 목적은 전력계통의 안정성을 확보하고 정해진 예산 내에서 최적으로 자산을 교체/수리하기 위하여 우선순위를 설정하기 위함이다. 배전용 변압기의 경우, 고장이 발생하면 수리 및 부속품 교체보다는 변압기 자체의 교체를 수행한다. 따라서 신뢰성 높은 배전용 변압기 수명을 설정해야 한다. 배전용 변압기 교체시기는 수명을 기반으로 상태를 평가하여 그 시점을 앞당기거나 미룰 수 있다. 즉, End of life에 반드시 변압기를 교체할 필요는 없으며, 교체를 위한 가이드의 목적으로 사용될 수 있다[3].

해외문헌에서 언급하는 배전용 변압기의 수명은 약 20~25년이며, 모두 전문가의 의견이나 설문조사로 추정된 수명 값이다. 이는 수명에 관한 통계분석에 적용될 수 있을 만큼 많은 양의 고장 데이터가 형성되지 않았기 때문이며, 기술적, 통계적 근거를 가진 수명은 산출된 바 없다.

자산관리에서는 수명에 관하여 다양한 용어가 사용되고 있다. Design life, Expected life, End of life 및 Replacement life 등이 대표적이며, 이와 같은 용어의 정의를 파악하는 것이 중요하다. Fig. 2는 다양한 문헌에 기술된 전력설비 수명에 관한 용어를 Time Line 기준으로 도시화한 전력설비 Life Cycle 개념도이다.

1) End of life

TB-358을 비롯한 11개 Cigre Technical brochure에서는 End of life를 자산이 더 이상 요구 사항을 충족하지 못할 시기로 정의한다. 일반적으로 요구사항에는 기술, 경제 및 전략적인 사항이 결합되어 있다[4].

Technical end of life는 수리가 신뢰할 만한 자산관리 방안이 아닐 정도로 자산의 상태가 나쁘거나 자산이 기술 사양을 충족하지 못하는 경우를 의미한다. Economic end of life는 Technical end of life와 비교하여 서비스 중인 자산을 유지하기 위해 경제적인 관점을 중심으로 더 이상 경제적인 운전이 불가능한 상태의 수명을 의미한다. Strategic end of life는 자산이 회사 가치에 더 이상 충족되지 않는 경우를 의미하는 것으로서 전략적으로 결정되는 수명을 의미한다[5]. 기술적으로는 수명완료에 도달하지 않았으나, 설비의 용량을

TABLE 1

주상변압기 점검 주기 및 진단 종류

점검 구분	도핑 방법
정기 점검	전고주파, 초음파, 광학, 활선 기법,
특별 점검	원격감시시스템 활용, 접지저항 측정,
입고 점검	가스분석, 입고 시 수량 및 외관 점검
교체 점검	Health Index 활용, 설치 시 점검 등

TABLE 2

자산현황 분석을 위한 배전용 변압기 수집정보

데이터 구분	수집 내용
식별	본부명, 사업소명, 고장번호 등
명판·구매규격	제조사, 용량, 절연지 정보 등
년도	제작년도, 설치년도, 수리년도 등
부하	회선, 부하정보 등
육안점검	부식 및 누유 관련 정보 등
광학진단	부식 및 균열 정보 등
고장 내용	고장년도, 고장 위치 원인 정보 등

증가시키는 것이 필요하여 전략적으로 자산을 교체하는 것이 Strategic end of life가 적용된 사례이다. 예시로, 기술적으로 수명이 완료되지 않았음에도 불구하고 전략적으로 교체하는 사례가 있다.

2) Replacement life

Replacement life는 노화로 인한 고장 위험이 증가하는 것을 대비하여 고장이 발생하기 이전에 자산을 교체하는 수명을 의미한다[6]. 변압기가 올바르게 교체되지 않으면 고장의 위험이 증가한다. 고장으로 인하여 발생하는 비용은 변압기의 구입비용보다 높을 수 있다. 변압기의 교체는 변압기의 관리 정책에 의거한다. 이것은 변압기의 기술적인 수명으로는 설명할 수 없다. 민간 기업은 수입 창출에 중점을 두는 반면, 공기업은 고장 및 정전 방지에 보다 중점을 둔다. 변압기의 교체는 전력사의 재정 및 국가 규정에 따른다.

III. 배전용 변압기 자산현황분석

A. 운영 및 점검기준

전력설비 데이터 현황분석을 위하여 필수적인 프로세스를 Fig. 3에 정리하였다. 배전용 변압기의 자산현황을 분석하기 위해서는 데이터의 정의와 운영 및 점검기준을 이해하는 것이 필요하다. 배

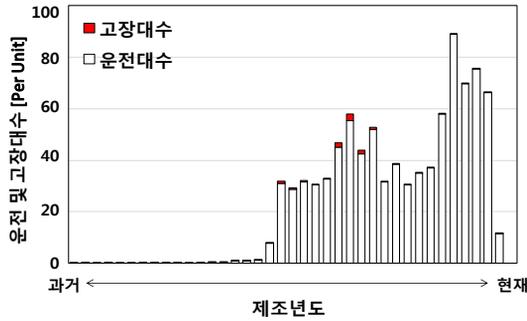


Fig. 4. A그룹 제조년도에 따른 가공 변압기 운전 및 고장 대수

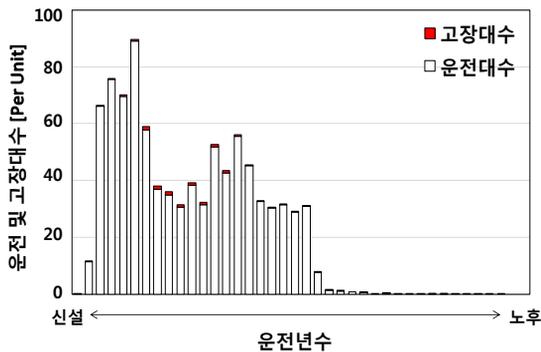


Fig. 5. A그룹 운전년수에 따른 가공 변압기 운전 및 고장 대수

전용 변압기는 건전도(Health Index) 평가에 의한 노후교체를 기반으로 하고 있다. 설치 운전 중의 변압기를 대상으로 건전도를 평가하여 5단계로 나누어 관리하고 있으며, 건전도에 따라 교체 시기를 결정한다. 공사 시행은 영업 정보시스템 내 변압기의 건전도 평가 점수가 열악한 변압기를 중심으로 교체계획을 수립하여 예산 내에서 차례로 교체한다.

배전용 변압기는 일반적으로 시설상태 이상 유무와 설비 주변의 환경변화에 대한 안전 확보 및 고장 예방을 위하여 순시를 수행한다. 순시로 충분히 조사하기 어려운 설비의 상태를 확인하거나, 22.9kV-y 배전선로의 전력설비 열화(코로나, Arc, Spark 등) 및 과열에 의한 고장 예방을 위하여 장비를 활용하여 정기적으로 배전설비를 진단하여야 한다. 배전용 변압기의 점검 주기 및 진단항목을 T표에 정리하였다[7].

B. 운전 및 고장데이터 현황분석

배전용 변압기 자산의 기초 데이터인 변압기 운전현황을 분석하기 위하여 Legacy 시스템에서 특정 A그룹의 지중, 가공 변압기의 운영 데이터 약 1440만 개를 수집·분석하였다. 해당 운영 데이터는 약 60 칼럼의 정보를 포함하고 있다. 수집한 배전용 변압기 정보 중 일부를 요약하여 TABLE 2에 나타내었다. 이 정보들을 통계 분석하면 변압기 절연지 등 특정 조건에 따른 수명 formula 도출이 가능하다.

현재 운영 중인 배전용 변압기 중 특정 A그룹의 가공 변압기 운전 대수와 고장 대수를 제조년도와 운전년도에 따라 각각 Fig. 4와 5에 나타내었다. 운전데이터의 경우, 현재 운영 중인 가공 변압기를 대상으로 수집하였으며, 고장데이터의 경우 최근 10년 동안 발생한 저압 정전, 고압 정전 데이터를 수집하였다. 제조년도가 오래된 변압기는 철거 및 고장이 발생하여, 운전 중인 가공 변압기 중 운전년수 10년 미만의 개체가 절반을 차지한다.



Fig. 6. 고장위치

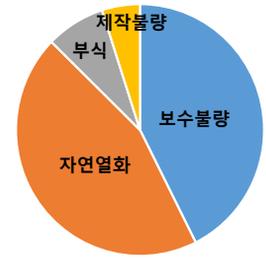


Fig. 7. 고장원인

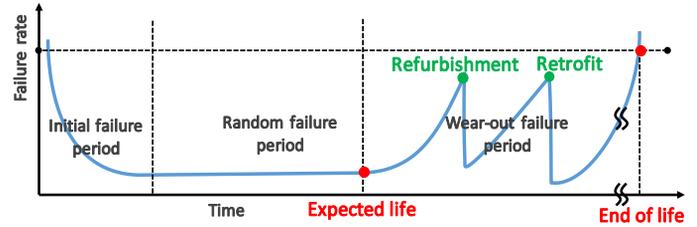


Fig. 8. Bath-tub curve

Fig. 6은 정전데이터에서 변압기 교체가 요구되는 고장 위치 및 고장 원인을 수집하여 빈도수가 높은 항목 2건, 4건을 나타내었다. 분석한 결과, 몸체에서 고장이 발생한 비중이 가장 높았으며, 고장 원인의 경우, 자연 열화로 인한 고장 비중이 가장 높았다. 이때, 변압기의 교체가 필수적이지 않은 위치나 원인은 본 통계에서 제외하였다.

IV. 통계기법을 적용한 수명산출

수명의 분석을 위하여 통계학과 확률분포 개념이 적용된다. 통계학의 큰 분류와 대표적인 확률 분포는 기술통계학과 추측통계학이다. 배전용 변압기 수명산출은 불확실성이 내포된 상황에서 주어진 자료에 포함된 정보의 확률분포를 분석하여 미지의 특성을 파악하는 추측통계학이 필요하다.

확률분포에는 이산형 확률분포와 연속형 확률분포가 있으며, 본 논문에서는 배전용 변압기 수명산출을 위하여 연속형 확률분포 중 전력설비 수명 평가를 위하여 널리 사용하는 분석 방법인 Weibull 분포 분석 방법을 적용하였다. Weibull 분포는 스웨덴의 물리학자 와이블(W.Weibull)이 1993년에 발표하였다. 제품의 초기고장이, 우발고장기, 마모고장기의 전 구간을 표현가능하여 추측통계학에서 제품의 수명분포로 널리 사용되는 분포이다. Weibull 분포는 주로 부품의 수명 추정 분석, 산업현장에서 어떤 제품의 제조와 배달에 걸리는 시간분석, 신뢰성 공학에서 실패분석에 사용된다.

A. Bath-tub curve

Bath-tub curve는 전력설비 자산의 노후 정도를 확인하는 방법으로서 고장데이터를 분석하여 시간에 따른 고장 발생 패턴을 조합한 것으로 정의되고 있다. Bath-tub curve는 변압기의 매 해 마다의 잔존가치와 수리비용을 계산하는데 활용될 수 있다. Bath-tub curve 분석을 위해서는 wear out 단계의 시작지점과 teething 단계의 종료지점을 결정하여 마모구간을 구분하여 분석하여야한다[8]. Fig. 8은 Bath-tub curve의 예시이다.

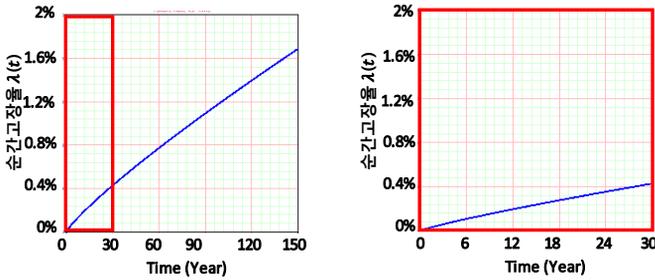


Fig. 9. 초기고장건이 포함되어있는 배전용 변압기의 hazard rate

Bath-tub curve를 그리기 위해서는 고장을 분석이 필요하다. TB-642에 따르면 국제적으로 고장률은 크게 Failure rate와 Hazard rate로 구별된다. 해당 문헌에는 Failure rate는 특정 기간 동안에 걸쳐 사용된 총 변압기 수에 대하여 고장난 총 변압기의 비율로 정의된다고 명시되어 있다. 또한, Hazard rate는 Age에 따른 함수인 Hazard function을 사용하여 Failure 가능성을 측정하는 것으로 정의되고 있다[9]. 그러므로 Hazard rate를 통하여 미래의 Failure 가능성을 유추할 수 있다.

B. Weibull 2-Parameter 추정법을 이용한 신뢰성 분석

Hazard rate를 계산하기 위한 대표적인 방법 중 하나는 Weibull 2-parameter 추정법을 통하여 Hazard rate를 도출하는 것이다. 식 (1)은 Weibull 2-parameter 추정법으로 Hazard rate를 계산하는 수식이다. 식 (1)에서 $h(t)$ 는 확률밀도 함수를 신뢰성 함수로 나눈 고장률이다.

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \left(\frac{m}{\eta}\right) \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{m-1} \quad (1)$$

- 이때, $f(t)$ = 고장밀도 함수 (Failure density function),
- $R(t)$ = 신뢰도 함수 (Reliability function),
- m = 형상모수,
- η = 특성수명 이다.

형상모수 m , 특성수명 η , 고장밀도 함수 $f(t)$, 신뢰도 함수 $R(t)$ 는 Weibull Analysis를 통해 도출할 수 있다. 고장밀도 함수 $f(t)$ 는 특정 시간 이후에 고장이 발생할 확률을 의미하며 0과 1 사이에 분포한다.

Fig. 9는 특정 지역 A의 운전 및 고장데이터를 적용하여 도출한 고장률 함수 $h(t)$ 이다. Fig. 9에서 시간에 따른 $h(t)$ 그래프는 x, y축의 역할이 Bath-tub curve와 동일하다. 하지만, 시간이 지나면서 서서히 wear out 구간이 나타나는 Bath-tub curve와 달리 Fig. 9의 $h(t)$ 그래프는 초기에 급격히 고장률이 상승하는 것을 볼 수 있다.

이는 Weibull 2-parameter 추정법에 적용된 데이터 중 teething 구간에 해당하는 초기고장 데이터가 포함되어있기 때문이다.

Bath-tub curve에서의 초기고장은 teething 구간에 해당되며, 시간이 지나면서 초기 고장률이 서서히 감소하고 random 고장 구간이 형성된다. Weibull 2-parameter 추정법으로 도출한 $h(t)$ 곡선은 감소하는 경향이 발생하지 않고 고장률이 누적되어 증가하는 형상을 보이기 때문에, wear out 구간을 분석하여 수명을 도출하기 위해서는 초기고장 데이터를 제외하여야 한다.

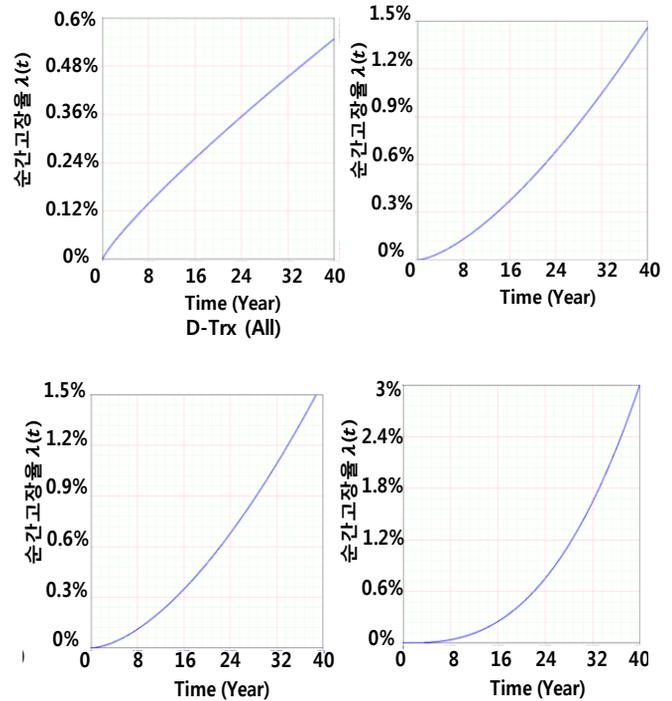


Fig. 10. 초기고장을 제외하여 분석한 배전용 변압기의 Hazard rate

C. 랜덤 및 마모고장만을 고려하여 분석한 Hazard rate

아래 Fig. 10은 특정 A그룹 가공 변압기에서 초기에 발생한 고장 데이터를 제외한 후 Weibull 2-parameter 추정법으로 $h(t)$ 를 분석한 결과이다. 운전을 시작한 후 1년이 경과했을 때부터 모든 고장 데이터를 포함한 그래프는 '1 Age ~'로 표기하였다. 운전년수가 19년 이하인 변압기가 고장이 난 경우를 제외하고 20년이 경과한 이후에 발생한 고장 그래프는 '20 Age ~'로 표기하였다.

EPRI는 초기 10년까지의 기간을 변압기의 초기고장으로 고려할 것을 권고하고있다. Fig. 10 (d)와 같이EPRI의 권고사항과 동일하게 초기 10년동안 고장난 경우를 제외한 후 랜덤 및 마모고장 데이터만을 적용한 경우, Bath tub curve의 마모곡선과 유사한 Hazard rate 그래프가 도출되었다. 이 경우의 척도모수 m 은 2에 가깝다.

TABLE 3은 특정 A그룹의 랜덤 및 마모고장데이터만 고려하여 도출한 hazard rate를 사용 년수에 따라 나타낸 표이다. 운영대수는 2020년을 기준으로 조사한 가공변압기를 Per Unit 단위로 나타내었다. 사용 년수는 2020년을 기준으로 하여, 당해 제조된 설비를 1년 사용분으로 정의하였다. 즉, 2020년에 제조된 설비의 Age는 1, 2019년에 제조된 설비의 Age는 2로 표기된다. Hazard rate는 어떤 시점까지 동작해온 자산이 계속되는 단위시간내에 고장을 일으키는 비율이다. 즉, TABLE 3에서 10년간 사용된 변압기 3,378[P.U.]의 Hazard rate는 0.07%이므로 3,378[P.U.]의 0.07%인 2대의 변압기는 2020년에 고장이 발생할 것으로 예측된다. 이와 같은 방식으로 현재 A 그룹에 운영중인 100,000[P.U.]중 141대의 변압기가 고장이 발생할 것으로 예측할 수 있다. Fig. 11은 특정 A그룹 변압기에서 발생한 지난 8년간의 고장대수이다. A그룹은 2019년 기준 100,000대의 변압기 중 136대의 변압기가 고장난 이력이 있으며, 제조이후 10년 이내에 고장난 초기고장건을 제외하여 예측한 2020년 고장대수 예측 141대는 지난 고장이력과 매우 유사한 결과이다.

TABLE 3
특정 A그룹의 랜덤 및 마모고장데이터만 고려하여 도출한 Hazard rate와 1년 후 고장대수 예측

Age	운영대수 [PU]	Hazard rate [%]	1년 후 고장대수 예측 [대]
1	0	0	0
2	1260	0	0
3	7323	0	0
4	8363	0.01	1
5	7704	0.01	1
6	9847	0.02	2
7	6416	0.03	2
8	4101	0.04	2
9	3868	0.05	2
10	3379	0.07	2
11	4253	0.09	4
12	3488	0.12	4
13	5738	0.15	9
14	4714	0.18	8
15	6148	0.21	13
16	4999	0.25	12
17	3611	0.3	11
18	3356	0.35	12
19	3487	0.41	14
20	3187	0.47	15
21	3432	0.53	18
22	856	0.6	5
23	137	0.68	1
24	113	0.76	1
25	91	0.85	1
26	49	0.95	0
27	34	1.05	0
28	14	1.16	0
29	15	1.27	0
30	17	1.39	0
합계	100,000		141 대

d. 통계적 기법을 적용하여 도출한 배전용 변압기 수명

해외문헌에서 언급된 배전용 변압기의 수명은 전문가의 의견이나 설문조사로 추정된 수명 값인 경우가 많다. 이는 수명에 관한 통계분석에 적용될 수 있을 만큼 많은 양의 고장 데이터가 형성되지 않았기 때문이며, 전문가 의견 및 설문조사를 통하여 추측한 수명은 기술적, 통계적 근거가 부족하다.

통계적 기법을 적용하여 기술적으로 타당성을 갖는 배전용 변압기 수명을 도출하기 위하여 MTTF(Mean Time to Failure)와 Bx%를 분석하였다.

1) MTTF로 도출한 변압기 End of Life

Weibull 분석을 통하여 신뢰성 평가를 수행할 수 있는 다양한 방법 중 가공변압기의 End of life를 계산하는데 적합한 방법은 MTTF이다. MTTF는 수리하지 않는 설비가 고장까지 동작하는 시간의 평균, 평균고장시간을 의미한다. 가공변압기의 경우 고장이 발생하면 수리가 이루어지는 설비이나, 경우에 따라 수리보다 교체가

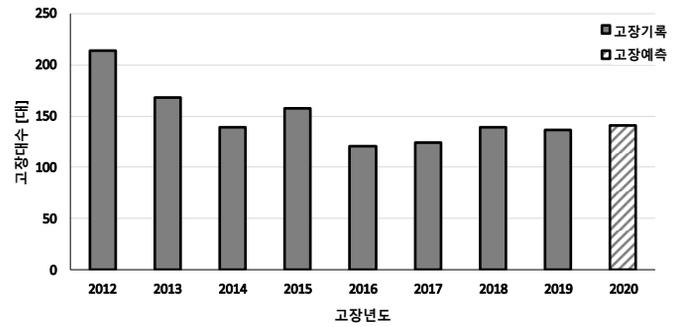


Fig. 11. 지난 고장대수와 미래 고장대수 예측 비교

경제적인 것으로 판단되는 고장모드가 발생할 경우, 설비가 고장까지 동작한 시간이 End of life의 의미와 부합한다. MTTF 계산방법은 다음 식 (2)와 같다.

$$MTTF : E(t) = \int_0^{\infty} t \cdot f(t)dt = \int_0^{\infty} R(t)dt = E(T) = \eta\Gamma(1 + \frac{1}{m}) \quad (2)$$

이때, t = 시간,

$f(t)$ = 고장밀도 함수 (Failure density function),

$R(t)$ = 신뢰도 함수 (Reliability function),

m = 형상모수,

η = 특성수명,

감마함수 $\Gamma(a) = \int_0^{\infty} x^{a-1} e^{-x} dx$ 이다.

2) Bx%로 도출한 변압기 Replacement life

배전용 변압기의 End of Life는 기술적, 경제적, 전략적인 원인으로 인하여 자산이 더 이상 요구 사항을 충족하지 못할 평균 시기이다. End of life에 도래할 시기까지 변압기를 사용하는 것은 고장이 발생할 위험이 매우 높기 때문에, End of life에 반드시 변압기를 교체할 필요는 없다. 변압기의 교체는 변압기의 전략적인 관리 정책에 의거하며, 변압기의 기술적인 수명인 End of life만으로는 결정할 수 없다. 민간 기업은 수입 창출에 중점을 두는 반면, 공기업은 고장 및 정전 방지에 보다 중점을 두기 때문이다. 변압기의 교체는 전력사의 재정 및 국가 규정에 따른다. 그러므로 변압기가 노화로 인하여 고장 위험이 증가하는 것을 대비하여 고장이 발생하기 이전에 자산을 올바르게 교체할 수 있도록, Replacement life를 추가적으로 도출하여야 한다.

본 논문에서는 배전용 변압기의 Replacement Life를 도출하는 방안으로 누적확률밀도함수(Cumulative Distribution Function)를 분석하였다. 산업공학에서는 누적확률밀도함수를 적용하여 특정 백분위 고장날 때까지 걸리는 시간을 산출하고, 이를 Bx%의 형태로 나타낸다. 즉, Bx%는 100대 중 x대가 고장나는데 까지 소요되는 시간이다. 이 기법은 Bearing의 수명을 분석하는것에서 시작되었다. 100개의 Bearing 중 5개의 Bearing이 사용불가 상태에 도달할 때까지 걸리는 기간을 B5%로 표기한 것이 유례이다. 이후, 항공우주를 비롯한 다양한 산업공학 분야에서 기계 및 장비의 수명을 산출하는 지표로 사용된다.

누적확률밀도함수는 특정 시간 또는 그 이전에 고장이 발생할 확률이며, 특정 대수가 고장날 때까지 걸리는 기간을 산출할 수 있다. Fig. 12는 특정 A그룹의 가공변압기 운전 및 고장데이터를 적용하여 분석한 누적확률밀도함수이다. 누적확률밀도함수 $F(t)$ 는 아래 식 3과 같다.

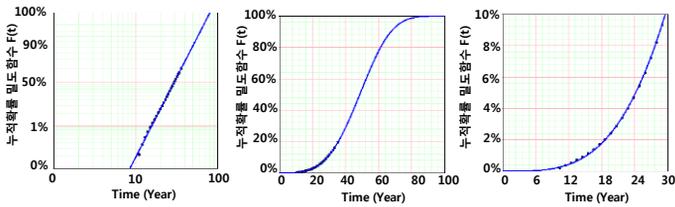


Fig. 12. 배전용 변압기의 누적미도함수

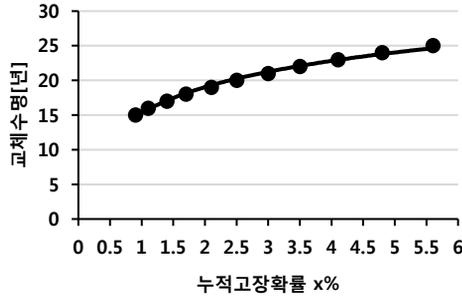


Fig. 13. 가공변압기의 Bx% 수명

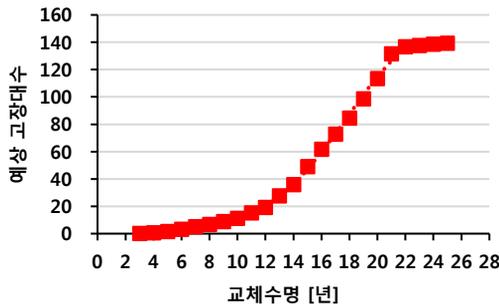


Fig. 14. 가공변압기 교체수명에 따른 예상고장대수

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m} = \int_0^t f(t)dt \quad (3)$$

이때, $f(t)$ = 고장밀도 함수 (Failure density function),
 $R(t)$ = 신뢰도 함수 (Reliability function) 이다.

설비의 수명을 100대 중 5대가 고장나는 기간을 기준으로 할지, 10000대 중 1대가 고장나는 기간을 기준으로 할지 등은 기관 및 자산의 관리 정책에 따른다. 예로, 항공산업의 경우 고장등급에 따른 신뢰성 목표를 B1%는 Benign failure, B0.1%는 Serious failure, B0.01%는 Catastrophic failure로 나누어 관리하고있다. Fig. 12는 A

그룹의 가공변압기가 x% 고장나는데까지 소요되는 시간과 고장예상 대수를 나타낸 그래프이다. Fig. 13은 교체수명에 따른 예상고장대수이다. 교체수명이 길수록 고장이전에 사전교체하는 변압기의 대수가 적어지므로 고장 예상건수가 증가한다. 이때 고장예상 대수는 TABLE 3에서 앞서 기술한 과정과 동일하다. 가공변압기가 3.5% 고장날 때 까지 걸리는 시간은 22년이 소요된다. 22년을 초과하여 사용한 가공변압기를 일괄 사전교체한다고 가정하면, 2020년에 고장이 발생할 것으로 예상되는 수는 137대 이다. 이는 2019년에 고장난 136건의 고장대수와 가장 유사한 결과이며, 이 과정을 통하여 특정 A지역의 가공변압기 교체수명은 B3.5% 값을 갖는 22년으로 도출된다.

V. CONCLUSION

본 논문에서는 자산관리의 개념과 배전용 자산관리의 운영 및 점검기준을 소개하고, 특정 A 지역 가공 변압기의 운전 및 고장 현황을 수집하여 배전 운영 경향을 확인하였다. 또한, 변압기의 종류 및 특성에 따라 fleet 단위 자산관리 필요성을 확인하기 위하여 절연지 종류에 따른 고장 경향을 비교하였다. 절연지 등 변압기 특성에 영향을 미치는 내부·외부 요소에 따라 운전데이터와 고장데이터의 경향을 분석하면 같거나 다른 조건으로 관리해야 하는 자산 fleet 단위 구별이 가능하며, 이에 따른 관리기준 수립이 필요하다.

References

- [1] International Organization for Standardization, "Asset Management - Overview, Principles and terminology", ISO 55000, 2014
- [2] 이홍석, "전력용 변압기 자산관리 기술해설", 한국조명전기설비학회, Vol. 34, No. 3, 2020
- [3] 이홍석, "배전용 변압기 자산관리시스템의 리스크 평가기술", 한국교통대학교 대학원 학위논문(박사), 2020
- [4] Working Group B1.09, "Remaining Life Management of Existing AC Underground Lines", CIGRE TB-358, 2008
- [5] Working Group D1.39, "Guidelines for the use of statistics and statistical tools on life data", CIGRE TB-706, 2017
- [6] 이은유, "자산관리를 위한 배전용 변압기의 통계적 수명평가", 한국교통대학교 대학원 학위논문(박사), 2021
- [7] 배전용 변압기 관리절차서, 9차 개정, 한국전력공사, 2015
- [8] 권동진, "자산관리시스템을 위한 변전소 변압기 수명 계산방법", 전기학회 논문지 Vol. 69, No. 5, 2020
- [9] Working Group A2.37, "Transformer Reliability Survey", CIGRE TB-642, 2015