

신뢰도 평가를 위한 배전계통 설비기기 고장률 분석

(Power Distribution System Equipment Failure Rate Analysis for Reliability Estimation)

이희태* · 김재철* · 문종필* · 박창호**

승실대학교* · 한국전력연구원**

(Hee Tae-Lee · Jae Chul-Kim · Jong Fil-Moon · Chang Ho-Park)

Abstract

The inside and outside of the country utilities considered that they focused energy and economic aspect for short-term in new environment change of restructure. but it need service reliability preservation and improvement countermeasure, that is no to use existent estimation method for reliability preservation. therefore, analyze the equipment failure rate for suitable reliability preservation through equipment failure rate analysis of power distribution r system and evaluated equipment that is composing power distribution system by the failure rate.

This paper estimated failure causes and the TVFR(Time Varying Failure Rate) for main equipment that is composing power distribution system using Weibull distribution.

1. 서 론

전력산업 구조개편이 가시화 되어 가면서 배전계통의 분할도 머지않았다. 전력공급의 원활한 수급도 중요하지만 빈약한 배전계통 신뢰도와 유지보수는 설비기기의 가용성 미달과 고장복구시간의 증대, 수용가의 불만 등을 초래하기 때문에 장기적으로 전력공급 신뢰도 유지나 향상대책 또한 중요하다.

현재까지 배전계통의 신뢰도 평가는 계통 모델링 및 마코프 모델링, 몬테카를로 시뮬레이션등 수많은 해석 기법의 발전과 연구에 노력하고 있다[1-3].

매년 배전계통의 전력서비스 목표치는 결정되고 있으나 전사적이고 일률적인 값을 적용하고 있고, 전력서비스 수준의 향상을 위한 투자 대비 성능향상의 모델이 정립되어 있지 못하기 때문에 신뢰도 측면에서 효율적인 배전계획 수립이 이루어지지 못하고 있다.

하지만 일반적으로 전력서비스의 신뢰도 평가를 위한 기본적인 파라미터인 고장률(Failure rate)은 신뢰도 평가에 중요한 변수로 작용하고 있지만 시간의 변화에 노화되는 설비 고장률의 의미로 평가하지 않는다.

본 논문에서는 설비기기의 노화에 관점을 두고 현재 한국전력의 배전 설비기기의 고장통계자료를 바탕으로 운전시간의 노화에 변화되는 설비기기의 고장률 평가를 위해 와이블 분포를 이용하여 평가 하였다.

배전설비의 가동시간에 비례해 나타나는 고장률의 변화율을 시변고장률(TVFR : Time Varying Failure Rate)이라 정의 하였다.

2. 배전설비 고장현황

2.1. 고장원인별 형태

표 1은 정전관리 통합시스템 사용자 안내서에 의한 배전계통 설비기기의 고장원인별 분류를 나타낸다[4].

표 1. 고장정전 원인별 분류
Table 1. Failure interruption cause classification

원인별	
대분류	소분류
설비 불량	제작 불량, 시공불량
보수 불량	보수불량, 자연열화
자연 현상	과 부 하, 부식 풍 우 해, 뇌해, 빙 설 해, 염 진 해
고의 및 과실	작업자 과실, 일반인 과실, 화 재
외물 접촉	수목, 조류, 기타
진동 오동작	진동 및 오동작
타사고 과급	
원 인 불 명	
기	타

현재 배전설비기기의 고장관리 사용 코드는 설비불량, 보수불량, 자연현상, 고의 및 과실, 외물 접촉, 진동 오동작 등의 총 9개 항목의 대분류 아래에 제작불량, 시공불량, 보수불량, 자연열화, 과부하, 부식, 풍우해, 뇌해, 빙설해, 염진해, 작업자 과실, 일반인 과실, 화재, 수목접

축, 조류접촉, 기타접촉, 진동, 오동작 등의 총 18개 항목의 소분류로 이루어져 있다.

2.2. 고장통계

표 2. 배전설비의 고장원인별 건수 I
Table 2. Failure cause number of item of distribution equipment I

설비별	원인별	설비 불량	보수 불량	자연 현상	고의/ 과실	외물 접촉
OC전선		67	433	2148	858	1698
ABC전선		1	2	1	0	1
라인포스트애자		207	643	292	13	85
현수애자		1162	1113	520	22	527
변압기C.O.S		72	518	303	62	908
변압기		791	1271	1060	199	1285
리클로저		120	111	75	16	73
I/S개폐기		6	119	33	18	173
G/S개폐기		110	113	94	10	21
선로용COS개폐기		19	135	89	20	143
자동화개폐기		27	38	3	105	8
GAP피뢰기		201	403	341	3	253
GAPLESS피뢰기		34	237	161	6	144
폴리머피뢰기		3	2	3	0	2
CNCV케이블		64	415	4	634	6
CNCV-W케이블		7	8	1	32	1
조립형직선접속재		6	64	4	5	0
조립형중단접속재		1	11	5	3	4
변압기기기엘보		3	27	0	1	0
개폐기기기엘보		11	31	2	5	3
계		2,912	5,694	5,139	2,012	5,335

표 3. 배전설비의 고장원인별 건수 II
Table 3. Failure cause number of item of distribution equipment II

설비별	원인별	진동 오동작	원인 불명	타사고 파급	기타	계
OC전선		2	19	186	7	5418
ABC전선		0	0	1	0	6
라인포스트애자		1	5	45	3	1294
현수애자		0	15	81	9	3449
변압기C.O.S		0	7	32	8	1910
변압기		7	36	34	47	4730
리클로저		54	39	3	13	504
I/S개폐기		2	0	8	1	360
G/S개폐기		2	5	18	3	376
선로용COS개폐기		0	1	10	5	422
자동화개폐기		1	2	5	7	196
GAP피뢰기		0	10	27	2	1240
GAPLESS피뢰기		0	1	18	1	602
폴리머피뢰기		0	0	2	0	12
CNCV케이블		3	14	50	9	1199
CNCV-W케이블		0	0	1	0	50
조립형직선접속재		0	0	1	1	81
조립형중단접속재		0	0	2	0	26
변압기기기엘보		0	0	0	1	32
개폐기기기엘보		0	2	5	1	60
계		72	156	529	118	21,967

주요 배전설비들에 대한 시변 고장을 분석을 위해 수집된 1993년~2002년까지 한국전력의 고장데이터를 근거로 하였고, 변압기는 주상과 지상의 구분이 하지 않았으며 1982년부터 2001년까지 20년간, 리클로저는 1982년부터 1996년까지 15년간의 고장현황을 표2, 3에 나타내었다.

설비별 분류된 고장통계를 보면 특히 전선과 케이블, 애자, 변압기에서 많은 고장이 발생했음을 알 수 있다.

전체 배전설비에 고장원인별 비율을 보면 보수불량 27%, 외물접촉 24%, 자연현상 23%, 설비불량 13%, 고의 및 과실 9% 등으로 나타나고 있고 이중에서 보수불량, 외물접촉, 자연현상에서 비롯된 고장정전이 전체 고장건수의 74%를 차지하고 있다.

고장을 평가를 위해 기존의 고장원인을 두가지로 분류하였다.

첫째는 보수분량 중 자연열화와 부식에 의해 나타나는 고장 즉 설비기기의 열화나 노화에 의해 수명을 다하는 경우와 두 번째는 이를 제외한 나머지 원인 즉 임의의 고장원인으로 하였다.

3. 설비기기의 고장을 평가

자연열화나 부식에 의한 고장은 기기가 설치된 기간이 오래될수록 고장이 더욱 잘 일어날 수 있는 고장형태지만, 자연현상이나 외물접촉, 고의 및 과실 등에 의한 고장은 기기의 설치되어 있던 기간과는 상관없이 우연적인 현상에 의하여 고장이 발생한다.

본 논문에서는 고장을 분류를 자연열화와 부식을 열화고장의 원인으로 분류하였고 자연현상이나 외물접촉, 고의 및 과실 등의 나머지 원인들은 임의고장의 원인으로 간주하였다.

그래서 배전설비기기들의 시변 고장을 분석을 위해 수집된 고장자료들을 고장원인에 따라 임의고장과 열화고장으로 분류한 다음 각각의 자료들에 대하여 분석하였다.

3.1. 열화고장

가동시간에 비례하여 시변 고장률이 변하는 열화고장은 와이블 분포를 이용하여 분석하였다. 와이블 분포는 열화고장의 분석에 가장 널리 쓰이는 확률분포이며, 와이블분포의 확률밀도함수 및 관련 모수들의 값은 다음과 같다[5,6].

$$f(t) = \frac{m}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{m-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right] \quad (1)$$

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right] \quad (2)$$

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right] \quad (3)$$

$$\lambda_A(t) = \frac{m}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{m-1} \quad (4)$$

여기서 $f(t)$ 는 확률밀도 함수, $F(t)$ 는 확률분포함수, $R(t)$ 은 신뢰성 함수 $\lambda(t)$ 는 열화고장률함수, η 는 척도모수(scale parameter), m 은 형상모수(shape parameter)를 나타낸다.

와이블 분포는 m 의 값에 따라서 고장률 함수의 경향이 변하는 특징을 가지고 있다.

즉 $m=0$ 이면 와이블 분포는 지수분포와 같아지며 따라서 상수 시변 고장률을 가지게 된다.

$m < 1$ 에 대해서는 시변 고장률 함수는 t 의 감소함수로서 t 가 커짐에 따라 0에 접근하게 된다.

$m > 1$ 에 대하여는 시변 고장률함수는 t 의 증가함수이다. 다양한 고장 패턴을 잘 나타내는 이러한 특성 때문에 와이블 분포는 시변 고장률 분석 시 사용된다.

열화고장의 경우는 와이블 확률치를 가지고 고장률을 평가하였으며 전체적인 분석순서는 평균수명을 추정한 후 평균수명의 역수를 구함으로써 평균시변 고장률을 추정하였다.

평가대상에 대한 형상모수(m)는 모두 1보다 큰 값이 나왔으며 평가대상설비는 모두 열화가 있었다는 것을 알 수 있다[7].

3.2. 비열화고장

비열화고장은 기기의 가동연수에 관계없이 항상 일정한 값으로 존재하게 되고 각 설비기기의 시변 고장률은 열화고장에 의한 시변 고장률에 임의고장에 의한 시변 고장률이 일정한 부분만큼 더해지는 형태로 구했다.

즉 임의고장에 의한 시변 고장률은 일정한 상수로 구하여 진다.

시변 고장률 분석에서 시변 고장률이 상수인 경우에 사용되는 분포는 지수분포이며, 지수분포의 확률밀도함수 및 관련 모수들의 값은 다음과 같다[5,6].

평균 고장률이 λ 인 경우,

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (5)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (6)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (7)$$

지수분포의 경우 고장률의 평가 식을 다음과 같다.

$$\lambda_R = \frac{\text{고장개수}}{\text{기기의 총가동시간}} \quad (8)$$

임의고장의 분석에서 고장개수는 고장자료를 바탕으로 하였고, 실제 작업자의 실수나 여러 가지 원인으로 인해 고장건수의 50%가 고장자료로 기록되는 것으로 가정하였다. 기기의 총 가동시간을 계산하기 위해 2002년 12월 기준의 전국의 각 배전기기 수에 고장자료상의 고장시간의 평균을 곱하여 기기의 총 가동시간으로 가정하였다.

$$\lambda(t) = \lambda_A(t) + \lambda_R \quad (9)$$

$\lambda(t)$ 는 배전설비기기의 가동시간에 비례하여 나타나는 시변 고장률을 나타내며, λ_R 과 λ_A 는 임의 고장률과 열화 고장률을 의미한다[8].

4. 배전설비별 고장률 분석 사례

고장확률분포함수 $F(t)$ 를 추정하는 것이 중요하다. 일반적으로 중간값을 이용한 순위 추정법이나 평균 순위법을 사용하지만 배전설비기기들의 가동시작 시간이 다르기 때문에 카플란-마이어 추정법(Kaplan-Meier estimation)을 사용하였다.

그림 1은 배전계통을 구성하고 있는 OC전선과 CNCV, CNCV-W케이블에 대한 가동시간에 경과에 의해 변화하는 고장률로서 CNCV케이블의 경우 가동시간이 오래될수록 고장률이 급속히 증가하는 것을 알 수 있다.

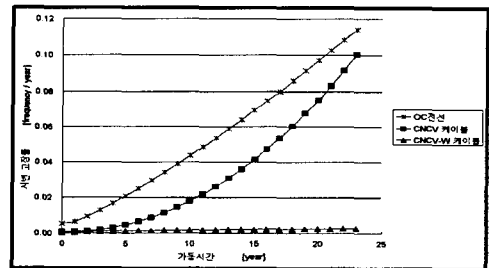


그림 1. 배전선로의 시변 고장률 분석
Fig. 1. TVFR analysis of distribution line

그림 2와 3은 라이프스트와 현수애자, 개폐기류에 대한 연간 시변고장률추이를 나타낸다. IS개폐기의 경우 다른 개폐기보다 고장률이 높게 나타나는 것을 볼 수

있다.

5 결 론

배전계통의 신뢰도 평가에 사용되는 기본변수는 고장률과 고장복구시간이다.

그러나 현재까지 평가되고 있는 고장률은 평균 고장률 값으로 가동시간에 대한 변화를 반영하지 못하는 단점이 있다.

기존에 신뢰도 평가에 사용되는 평균 고장률을 시간에 따른 증가하는 고장률을 고장확률분포를 이용하여 설비별로 평가하였다.

이렇게 평가된 고장률을 이용한 신뢰도 평가 시 현재의 신뢰도나 향후 변화되는 신뢰도 지수의 변화정도를 예측하여 앞으로의 계통의 유지보수시나 서비스 수준 현황 파악 등에 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

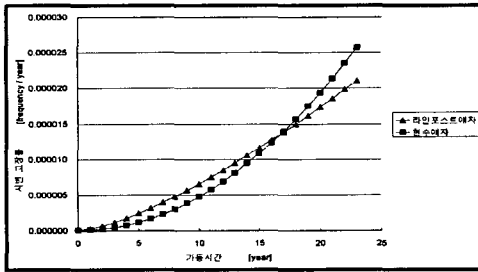


그림 2. 애자종류별 시변 고장률 분석
Fig. 2. TVFR analysis of insulator kind

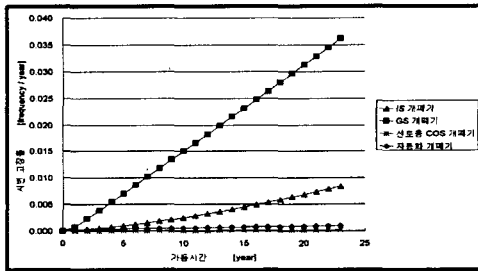


그림 3. 개폐기종류별 시변 고장률 분석
Fig. 3. TVFR analysis of switch kind

그림 4와 5는 COS 및 피뢰기, 케이블 접속제에 대한 가동시간별 고장률을 나타낸다.

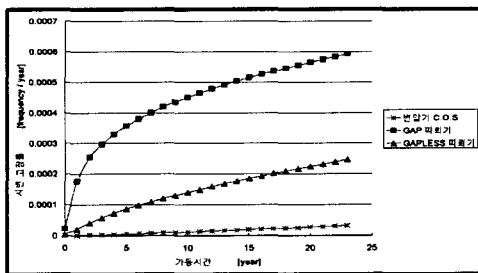


그림 4. COS 및 피뢰기 시변 고장률 분석
Fig. 4. TVFR analysis of COS and lightning arrester

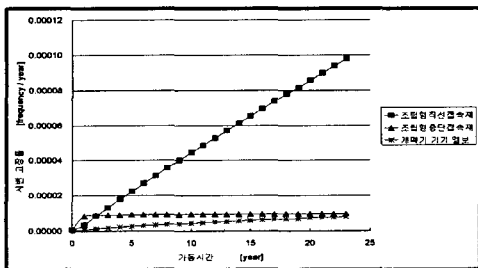


그림 5. 접속제종류별 시변 고장률 분석
Fig. 5. TVFR analysis of joint kind

감사의 글

본 연구는 산업자원부지원 전력산업 기술기반 조성 사업에 의한 한전전력연구원 지원으로 연구된 결과의 일부임.

참고 문헌

- [1] Billinton, R. Ronald N. Allen, "Reliability Evaluation of Power Systems", Plenum Press, 1984
- [2] R. Billinton and R. N. Allan, "Reliability Evaluation of Engineering Systems : Concepts and Techniques. New York ", Plenum, 1992.
- [3] W. H. Kersting, W. H. Phillips, "Distribution Feeder Reliability Studies", IEEE Trans, Vol. 17, NO. 3, August 2002
- [4] 한국전력공사 배전처, "정전관리 통합시스템 사용자 안내서"
- [5] 배도선, 전영록, "신뢰성 분석", 마르케, 1999
- [6] R. Billinton and R. N. Allan, "Reliability Evaluation of Engineering Systems : Concepts and Techniques. New York ", Plenum, 1992.
- [7] 이희태, 김재철, 문종필, 박창호, "와이블 분포를 이용한 배전설비기기의 시변 고장률 분석", 대한전기학회 추계학술대회 논문지 A권, pp.272~274, 2003.11
- [8] 한국전력공사 전력연구원 배전계통 자산관리 시스템 개발(최종보고서), 한국전력공사, 2003년