

배전 계통 신뢰도에서 고장률 산출 기법에 관한 연구

채희석, 신희상, 강병욱, 류기환, 김재철, 추동욱*
 송실대학교, 국제대학교*

A Study of Failure Rate Calculation Methods in Distribution System Reliability

Hui-Seok Chai, Hee-Sang Shin, Byoung-Wook Kang, Ki-Hwan Ryu, Jae-Chul Kim, Dong-Wook Choo*
 Soongsil University, Kookje College*

Abstract - Failure rate serves as a pivotal role in reliability study. When the system operates, failure datum of the system reflects the actual operating environment. Therefore, when we estimate the system's with the component failure data, we can find the more exact failure rate that reflected the system's operating environment. In this paper, we use the components' fault data and find out failure rate.

장률의 산출 방법에 대해서 연구하고, 간단한 모의 고장이력 데이터를 이용하여 고장률을 산출하였다[2].

2.1 고장률의 개념

고장률 $\lambda(t)$ 는 컴포넌트나 시스템에서 가동시간에 대한 고장의 빈도수를 나타낸다. $\lambda(t)$ 를 수식으로 나타내면 식 (1)과 같다.

1. 서 론

$$\lambda(t) = \lim_{\delta t \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t + \delta t)}{\delta t \cdot R(t)} \quad (1)$$

최근 신재생 에너지 사업의 발전과 보급에 따라 분산전원을 계통에 연계하는 것이 고려되고 있다. 또한 민감 부하의 증가에 따라 기존 정전 정의보다 더욱 엄격한 순간정전이 전력계통의 신뢰도를 평가하는 새로운 지표로 떠오르고 있다. 이렇듯 전력 품질 및 신뢰도가 전력산업의 중요한 이슈로 제안 되고 있는 상황에 배전계통 신뢰도 평가의 기본이 되는 지수인 고장률(λ), 수리율(μ), 기본정전시간(U)를 추정할 수 있는 고장이력데이터의 부재 혹은 관리의 소홀이 문제시 되고 있다.

또한 시스템의 신뢰도함수 $R(t)$ 를 고장률을 이용하여 나타낼 수 있는데, 고장률 함수 $\lambda(t)$ 를 이용하여 표현한 $R(t)$ 는 식 (2)와 같다[3].

$$R(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t)dt\right] \quad (2)$$

시스템의 고장에 관한 정보는 시스템의 유지보수 및 투자 정책을 결정하는데 매우 중요한 정보이다. 시스템에 고장이 발생하는 시점과 고장의 원인을 정확하게 알 수 있어야 최적의 유지보수정책을 결정할 수 있기 때문이다. 시스템의 고장은 시스템을 구성하는 부품들의 고장으로 인해 발생한다. 따라서 각 부품의 고장률을 바탕으로 시스템을 관리하는 방법이 필요하다. 각 부품 및 시스템의 고장률을 정확하게 추정하기 위해서는 시스템이 실제 운영되고 있는 환경에 관한 정보를 고장률을 추정하는 과정에 반영할 수 있어야 한다. 시스템의 운영 중 얻을 수 있는 고장데이터는 시스템의 운영환경에 관한 정보를 가지고 있는 데이터이다. 그러므로 고장 데이터를 활용하여 각 부품 및 시스템의 고장률을 추정하면 보다 현실적이고 정확한 고장률을 추정할 수 있다. 그러나 대형 생산 설비나 발전소와 같이 구조가 복잡하고 규모가 거대한 시스템에서는 고장데이터를 수집하는 과정에 많은 비용과 시간이 소모된다. 따라서 이러한 대규모 복합구조 시스템에서는 적은 수의 고장 데이터를 활용하여 고장률을 추정해야 된다[1].

일반적으로 시스템의 고장률 변화 곡선은 그림 1과 같이 되며, 이것이 욕조모양을 하고 있다고 하여 이것을 욕조곡선(bath-tub curve)이라고 부른다. 이 곡선에서 좌측의 고장률이 감소하는 부분(Decreasing failure rate)을 초기고장기간이라 하고, 중간의 고장률이 비교적 낮고 일정한 부분(Constant failure rate)을 우발고장기간이라 한다. 그리고 우측의 고장률이 증가되고 있는 부분(Increasing failure rate)을 마모고장기간(또는 열화고장기간)이라 부른다.

2. 본 론

배전계통 신뢰도 평가는 과도상태의 경우가 아닌 정상상태인 경우를 말한다. 예를 들어, 만약 연간 평균 정전빈도가 1[occ./year]이라고 하면, 이 값이 말하는 것은 시스템이 오랜 기간 동안 운영되었을 때 정전 빈도가 평균적으로 연간 1회라는 것이지, 반드시 1년에 1회 정전이 발생하는 것은 아니다. 즉, 올해는 3회가 발생할 수도 있고, 내년에는 정전이 발생하지 않을 수도 있다.

감소형 고장률의 초기고장기간은 실제로 제품이 사용되는 기간이 아니고, 출하 전 번인(burn-in)에 의거 불량부품의 혼입과 제조 과정의 오류로 인한 제품의 초기고장을 찾아내는 디버깅 기간에 해당된다. 이러한 이유로 출하 후 제품은 실제로 일정형 고장률을 갖는 우발고장기간에 있다는 가정을 많이 사용한다.

이러한 배전계통에 대한 신뢰도 지수는 크게 영구정전지수, 부하 관련 지수, 순간정전 지수로 나눌 수 있다.

욕조 곡선상 증가형 고장률을 갖는 마모고장기간에서 만일 일정시간 간격으로 예방 보전을 실시한다면 고장률이 계속해서 증가하지 않고 예방보전주기에 따라 고장률이 감소하였다가 다시 증가하는 톱니 형태가 되고, 예방보전 실시시의 고장률이 예방보전 불실회의 고장률보다 적어진다.

영구정전지수는 시스템 평균 정전빈도수(System average interruption frequency index, SAIFI), 시스템 평균정전지속시간(System average interruption duration index, SAIDI), 수용가 평균정전빈도수(Customer Average interruption frequency index, CAIFI), 수용가 평균정전 시간(Customer average interruption duration index, CAIDI), 평균 서비스 가용도(Average service availability index, ASAI) 등이 있다. 부하관련지수는 평균시스템정전빈도(Average system interruption frequency index, ASIFI), 평균시스템 정전시간(Average system interruption duration index, ASIDI)이 있다. 마지막으로 순간정전지수는 평균 순간정전빈도수(Momentary average interruption frequency index, MAIFI) 등이 있다.

이상과 같이 번인(burn-in)에 의거 초기고장기간의 고장률을 빨리 감소시켜 고장률이 일정한 우발고장기간에 진입하게 하고, 예방보전에 의거 마모고장기간의 증가형 고장률을 감소시킨다면 고장률이 일정한 우발고장기간은 욕조곡선상의 전후로 연장된다.

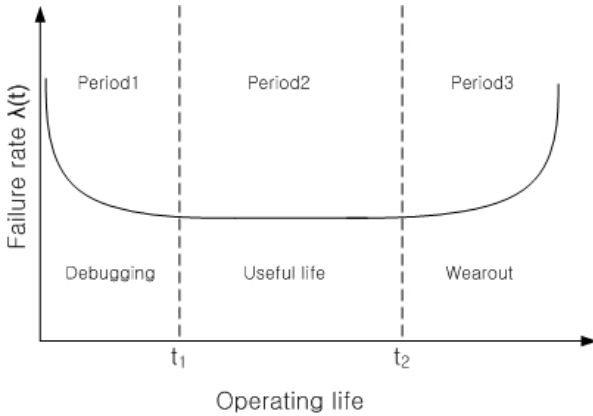
이러한 배전계통에 대한 신뢰도 평가의 기본이 되는 지수인 고장률(λ), 수리율(μ), 기본정전시간(U)을 이용하여 구하게 된다.

고장률이 시간적으로 일정한 우발고장기간에서는 고장률 $\lambda(t)$ 가 시간에 따라 변하지 않는 상수로 볼 수 있기 때문에 앞서 언급한 신뢰도 함수 $R(t)$ 는 식 (3)과 같이 지수 분포가 된다.

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3)$$

본 논문에서는 시스템의 신뢰성 분석에 필요한 고장률의 개념 및 고

위와 같은 이유로 일반적인 시스템의 신뢰도는 시간에 따라 지수분포를 따른다고 할 수 있다.



<그림 1> 고장률의 일반적인 분포를 나타내는 육조곡선

2.2 고장률 산출 방법

배전 계통 신뢰도는 규정된 계통 운영 상태를 만족하면서 고객이 요구하는 양의 전력을 공급할 수 있는 계통의 능력을 말한다. 규정된 계통 운영 상태는 주파수와 전압이 일정 범위 내에 있고, 선로와 그 외 설비의 허용용량을 넘어서지 않으며, 외란이 발생해도 계통이 안정할 수 있는 안전도를 만족시키는 상태이다. 신뢰도에 영향을 미치는 모든 요인은 확률적 특성을 갖기 때문에 신뢰도는 불확실성을 포함하는 확률적 기법을 통해 해석해야 한다. 일반적으로 신뢰도 지수를 계산하는 기본적인 지수인 고장률(λ)은 총 운전시간에 대한 고장의 빈도수를 나타낸다.

수집된 고장데이터를 활용하여 모수를 추정하는 일반적인 방법으로는 최대우도추정법(Maximum Likelihood Estimation)이 있다. 최대우도추정법은 활용할 수 있는 고장데이터의 수가 충분히 많을 경우에는 매우 효율적이다. 그러나 고장데이터의 수가 적을 경우에는 최대우도 추정법에 의한 결과를 신뢰할 수가 없다. 그러나 앞에서 언급한 대로 구조가 복잡하고 규모가 거대한 시스템에서는 고장 데이터를 수집하는 과정에 많은 비용과 시간이 소모되고, 실제 수집되는 고장데이터의 양이 극히 적다. 따라서 이러한 대규모 시스템에서는 적은 수의 고장데이터를 활용하여 고장률을 추정해야 한다[4-5].

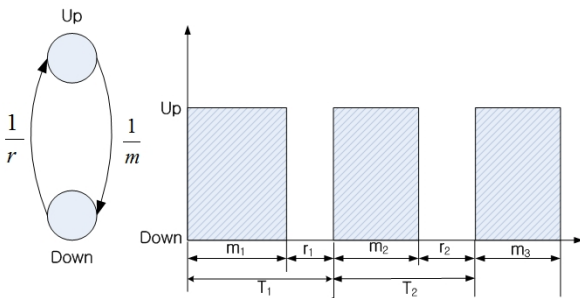
본 장에서는 고장과 고장사이의 시간의 평균을 통해 고장률을 산출하는 단순 고장률 산출법, 데이터 개수가 적은 경우 Benard가 고안한 메디안 랭크법을 사용하여 각 각의 경우의 고장률을 평가하겠다.

<표 1> 고장률 산출 모의실험에 이용할 고장데이터

고장 번호	고장까지의 시간(t_i)	시간 변화량($\Delta t_i - \Delta t_{i-1}$)
1	190	190
2	245	55
3	265	20
4	300	35
5	320	20
6	325	5
7	370	45
8	400	30

2.2.1 단순 고장률 산출법

본 장에서는 한 개의 컴포넌트의 고장이력 데이터를 기준으로 고장과 고장사이의 평균시간인 MTTF(Mean Time to Failure)의 역수를 취하는 방법으로 고장률을 산출할 것이다[6].



<그림 2> 두 상태 모델의 상태 전이 모형과 상태별 유지시간

식 (4)과 (5)는 MTTF의 산출식, 고장률과 MTTF와의 관계를 나타내고 있다.

$$MTTF = \bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} \quad (4)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\bar{m}} \quad (5)$$

<표 2> 단순 고장률 산출법을 적용한 고장률

MTTF(\bar{m})	50[h/회]
고장률($\bar{\lambda}$)	0.02[회/h]

2.2.2 메디안 랭크법

Benard가 고안한 메디안 랭크법은 고장 이력 데이터가 적을 경우에 적용할 수 있는 방법으로 식 (6)를 이용하여 고장률을 산출할 수 있다.

$$\lambda(t_i) = \frac{1}{(t_i - t_{i-1})(n - i + 0.7)} \quad (6)$$

여기에서 n 은 고장 이력 데이터 수, i 는 고장순번, t_i 는 i 번째 고장발생 시간이다. 그리고 t_{i-1} 은 $(i-1)$ 번째, 즉 전번 고장발생 시간이다. 이 경우 각 구간별로 고장률을 산출하므로, 이 시스템의 고장률은 각 경우에 산출평균을 취한다[7].

<표 3> 메디안 랭크법을 적용한 고장률

고장 순번(i)	i 번째 고장률($\lambda(t_i)$)
1	0.000605
2	0.002361
3	0.007462
4	0.005013
5	0.010638
6	0.054054
7	0.008230
8	0.019608
λ_{sys}	0.013496

3. 결 론

본 논문에서는 고장이력 데이터가 적은 경우에 대해서 일반적으로 산출적 평균으로 고장률을 취하는 기본적인 고장률 산출 방법과 메디안 랭크법을 이용하여 고장률을 산출하였다. 그 결과 각 경우에 따라 다소 고장률 산출값에 차이가 있지만, 고장이력 데이터를 장기간 많은 수를 수집하여 통계적으로 추출해야 하는 고장률을, 샘플수가 적은 경우로 한정되는 특성상 대체적으로 비슷한 값을 가진 것으로 분석된다.

본 논문에서는 현재 수집되어있는 고장이력 데이터만을 가지고 고장률을 산출하였지만, 한국전력에서 그동안 수집해온 고장데이터나 IEEE의 골드북 등의 문헌 데이터, 혹은 유사 계통을 이용한 고장이력 데이터를 반영한다면 좀 더 정확한 분석을 할 수 있을 것으로 사료된다.

향후 문헌으로 존재하는 고장률과 실제 데이터를 반영하여 전문가 혹은 문헌 데이터의 신뢰 가능 정도에 따른 가중치를 이용하여 보다 정확한 고장률을 산출하여 신뢰도 평가를 분석할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 임태진, "중속적 문헌 추정치를 이용한 모집단 변이 분포의 추정", 경영과학, 제 20권 제 3호, 1995
- [2] 문종필, 김재철, "배전시스템 신뢰도 개요 및 동향", 전기의 세계, 제 56권 제4호, pp.42-47, 2007
- [3] IEEE Std 493™-2007, "Design of Reliability Industrial and Commercial Power Systems", 2007.
- [4] 대한전기학회, "전력IT 및 배전공학", vol. I. 서울:(주)북스힐, 2008, pp. 197-204
- [5] 장재영, "경제적 위험모형의 고장률에 대한 베이지안 추정", 한양대학교 대학원, 학위논문(석사)
- [6] Roy Billinton, Ronald N. Allan, "Reliability Evaluation of Power Systems", 2nd Edition, New York:Plenum Press, 1994
- [7] 이상용, "신뢰성 공학", 형설출판사, 1999, pp. 19-20