

신뢰도 측면에서 본 배전계통 최적투자 우선순위 결정

이희태¹, 김재철², 문종필¹, 박현택¹, 박창호², 박상만²
¹숭실대학교, ²한국전력연구원

Electric power distribution system most suitable investment precedence decision aspect of the reliability side

Lee Hee-Tae¹, Kim Jae-Chul², Moon Jong-Fil¹, Park Hyun-Taek¹, Park Chang-Ho², Park Sang-Man²
¹Soongsil Univ, ²Korea Electric Power Research Institute

Abstract - Striking in change that present our country is much by electricity industry reform and the Korea Electric Power Corporation is deciding power distribution system reliability indices every year but power distribution system for reliability evaluation and establishment of investment program are consisting punily.

If consider efficient inflection of resources and hereafter power distribution division that is limited for target achievement of schedule level service evaluation and reliability side in operation of the power distribution system, can expect efficient practical use of the power distribution property if gains in electrical side about these change and most suitable investment way consist because there is necessity of electric power plan establishment of area electric power distribution place of business unit.

This paper consider proper reliability level and maximum effect through quantitative analysis to gain electrical gains of the power distribution system in reliability side depending on trend DB(Data Base) of data of electric power system composition appliance in this treatise and apply data administration and reliability rate analysis that serve to decide most suitable investment precedence to supply of electric power property to power distribution system present investment algorithm.

1. 서 론

배전 시스템에 대한 해석적 신뢰도 평가는 상당히 발전 되어 있으며, 현대 전력 시스템의 적정수준을 위해 가능한 한 낮은 비용과 신뢰도의 허용 수준을 가지고 수용가들에게 전력을 제공하는 것이다.[1,2]

기존에는 배전계통 신뢰도 분석에 있어서 조류계산이나 발전기손실, 선로사고 및 부하변동 등의 교란과 스위칭과 같은 계통의 상태변화로써 배전계통을 해석하는데 중점을 두고 있었다[3]. 그러나 현재 배전계통 신뢰도 해석에 있어서 매년 배전계통의 전력서비스 목표치는 결정되고 있으나, 전사적이고 일률적인 값을 적용하고 있으며, 전력서비스 수준의 향상을 위한 투자 대비 성능향상의 모델이 정립되어 있지 못하기 때문에 신뢰도 측면에서 효율적인 배전계획 수립이 이루어지지 못하고 있다.

신뢰도 향상은 설비의 경년에 의한 잠재적인 고장률이라는 설비이력에 따른 위험도를 책정하지 않고는 불가능하지만, 현재의 배전계통의 주요설비에 대한 시변 고장률 분석은 아직까지 이루어지지 않고 있으며, 이러한 설비기들에 대해 시변 고장률을 적용한다면 배전계통의 신뢰도를 해석하는데 있어서 좀 더 현실적이고, 정확하게 될 것이라 생각한다.

계통신뢰도 및 전력품질의 일정 서비스 수준을 만족하

기위한 배전설비 유지보수 및 투자를 위해서는 설비 투자에 따른 서비스 수준과의 상관 모델 및 각종 배전 자산에 대한 시변 고장률 모델이 필수적이다.

이를 이용하여 투자우선 순위를 결정하면, 제한된 자원의 효율적 활용과 가장 필요한 부분에 최대의 효과를 얻을 수 있는 비용투자율과 유지보수 작업의 중복 및 과투자의 방지로 배전인력의 효율적 활용이 가능하게 될 것이며, 적정한 배전계통의 설비기기의 시변 고장률 분석을 통해 배전 설비기기의 효율적 활용에도 기여할 것이다.

신뢰도 평가 시 시변 고장률을 적용하게 되면, 구성상태 변화에 따른 신뢰도에 미치는 영향과 취약부분에 대한 선 투자가 될 수 있는 기반을 제공할 수 있다. 지금까지 사용되고 있는 고장률은 평균적인 의미의 값을 지니고 있어, 경년에 따라 변화하는 고장률을 현재에 적용할 수 없는 단점이 있다.

본 논문에서는 한전의 고장데이터를 이용하여 경년에 따라 변화하는 고장률을 적용하기 위한 데이터 구축과 이것을 이용하여 계산된 시변 고장률을 표현하였다.

2. 신뢰도

2.1 해석적 신뢰도 정량화

신뢰도에 대한 정량화의 관점에서 전력회사 입장은 제한된 자원의 효율적인 활용으로 최대효과를 얻는 것이고, 수용가의 입장에 보면, 적절한 수준의 전력품질을 보장 받는 것일 것이다. 이러한 요구에 대한 기본적인 신뢰도 지수는 식(1-3)과 같이 나타낼 수 있다.

평균적인 의미의 신뢰도 지수를 사용하는 것은 수용가의 대수 비교가 어렵고, 현존하는 수용가나 신설된 부하의 증가에 대한 인식이 불가능하기 때문에[4] 미래에 대한 예측이 가능한 신뢰도 평가가 이루어진다면 배전계통의 자산을 좀 더 유용하게 사용될 수 있고, 이러한 배경을 만족하는 배전계통자산에 대한 신뢰도를 평가하기 위해 평균 고장률을 시간에 따른 확률적 값으로 평가하는 시변 고장률 평가를 사용해야 한다.

기존의 평균 고정값을 지닌 고장률의 의미에서 좀 더 현실적인 접근을 위해 평균 고장률과 시간에 따라 고장률이 변화하는 배전설비에 대한 그림을 그림 1에 나타냈다.

시변 고장률에서 나타내게 되는 특성그래프인 욕조곡선(Bath Curve)의 I 부분에 대한 고장률은 완벽하게 제거된 상태라는 조건하에, 시변 고장률 값을 가지고 앞으로 변동되는 고장률 값을 시간에 따라 정량화 할 수 있다.

2.2 신뢰도 지수

$$\lambda_{Si} = \sum_{j \in F(i)} \lambda_{Sj} \tag{1}$$

$$U_i = \sum_{j \in F(i)} \lambda_{Sj} r_j \quad (2)$$

$$r_i = \frac{U_i}{\lambda_{Si}} \quad (3)$$

λ_{Si} : load point i 의 고장률
 $j \in F(i)$: load point i 에 대하여 고장을 발생시키는 모든 j 구간

위의 식과 같이 계통을 구성하고 있는 기기에 대한 고장률을 알고 있다면 임의의 구간에 대한 고장을 일으키는 고장인자를 알아낼 수 있으며, 이를 투자우선순위를 결정하는데 정보로써 사용할 수 있다.

시간의 함수로 표현하여 고장률을 나타내면, 유지보수 시나 기기의 교체 후에 변화하는 신뢰도를 예측할 수 있고, 유지보수 후에 계통에 미치는 신뢰도의 변화도 예측 가능하다. 이러한 시변 고장률에 대한 정보가 이루어지면 수용가에 대한 신뢰도 영향을 표현할 수 있고, 목표치로 하고 있는 지수의 변화를 조절할 수 있게 예상이 가능하므로, 계통의 신뢰도 안정을 위한 지수로 활용할 수 있다.

3. 시변 고장률

3.1 시변 고장률의 개념

시변 고장률 분석이란 배전 설비기기의 평균 고장률을 시간에 따른 확률적인 값으로 평가하여 기존의 방식인 평균적인 고장률 개념이 아닌 연간 고장률의 변동을 계통에 반영하기 위한 데이터 값으로 사용할 수가 있다. 주요 배전 설비기기에 대한 시변 고장률 분석을 통해 배전 자산의 잠재적 위험도를 산정하여 그 결과를 즉시 전력서비스 수준에 영향을 미치는 요인으로 이용할 수 있다.

배전설비기기에 대한 시변 고장률 데이터자료가 없이 배전계통의 신뢰도를 분석한다면 어떠한 고장확률을 지니고 있는지 예측할 수 없기 때문에 배전계통 주요기기에 대한 시변 고장률 분석을 계통에 반영해야 한다.

배전계통 자산수명의 시변 고장률 분석결과는 전기적인 투자비용 대 서비스 수준의 변동 계산의 알고리즘에 포함하여 최종적으로 최적투자관리를 위한 프로그램에 반영할 수 있고, 이를 위해 국내의 배전 설비기기 메이커의 신뢰도 측정 및 방법을 검토하고, NDIS(New Distribution Information System) 및 기타 배전 데이터 자료를 분석함으로써 최종적으로 신뢰도를 측면에서 접근하여 결론을 도출할 수 있다.

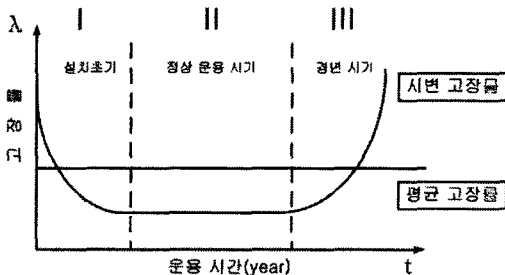


그림 1 설비기기의 경년에 따라 변화하는 고장률.

3.2 시변 고장률 분석의 필요성

지금까지는 신뢰도 분석을 위한 고장률을 평균적인 개념의 의미로 사용했지만, 설비기기는 시간에 지남에 따라 고장률이 변화 하는 것은 당연하다.

평균적인 고장률을 사용한 신뢰도 분석은 부하의 신

시의 계통의 신뢰도 증가 예측은 가능하나, 정확도가 떨어지며, 유지보수시의 신뢰도 증가 예측이 불가능하여 이러한 단점에 대한 보완을 위해 시변 고장률 개념을 도입하여 신설부하에 대한 신뢰도 증가를 좀 더 정확히 예측할 수 있고, 유지보수시의 변화에 대한 신뢰도 예측 또한 가능하다.

I 부분은 설치초기 시 나타나는 형태로 설계 제조상의 결함의 존재, 초기 사용 중 운전자의 운전 부족 혹은 미숙련 등에 의하여 고장률이 높지만, 점차 안정한 상태인 II부분으로 안정적인 부분을 나타내다가 시간이 지남에 따라 열화나 마모, 기타 노화에 의해 나타나는 III부분으로 급격히 고장률이 증가하게 된다.

3.3 와이블 분포

와이블 분포는 기기의 열화통계에 많이 쓰이는 수명평가방법으로 경년에 따르는 고장률을 나타낼 수 있는 척도가 되며, 육조곡선이 나타내는 I, II, III의 모든 부분을 표현할 수 있기 때문에 배전계통 설비기기에 대한 특징을 모두 나타낼 수 있는 장점이 있다.

와이블 분포는 식(4)와 같은 확률누적함수를 가지는 분포이며, 식(5)은 확률밀도함수를 나타낸다.[5]

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right], \quad x \geq \gamma \geq 0 \quad (4)$$

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left\{ \left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1} \right\} \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (5)$$

- α : 분포의 형상을 특정 짓는 형상 계수
- β : 특수한 수명을 나타내는 척도 계수
- γ : 위치(또는 최소수명)를 나타내는 위치 계수

사용의 편리를 위해 자연로그를 사용하여 다음과 같은 형태의 직선방정식으로 표현 할 수 있다.

$$\ln \ln \frac{1}{1-F(x)} = \beta \ln x - \beta \ln \alpha \quad (6)$$

다음 식은 와이블분포의 열화 고장에 의한 경우 신뢰도 함수와 고장률 함수를 시간에 변수로 나타낸 식이다.

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (7)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1} \quad (8)$$

3.4 배전설비기기의 고장 데이터

계통설비의 고장자료를 와이블 분포를 이용하여 시변 고장률을 적용한 고장 데이터를 이용하여 추론할 수 있다. 이 데이터를 이용하기 위해서 몇 가지 가정을 했다.

모든 자료가 완전자료와 같은 조건을 갖고 있지 않기 때문에 기록된 자료는 최초 고장에 대한자료를 나타내고, 수명 분포는 고장원인이 자연 열화된 경우는 와이블 분포를 지니고, 나머지 원인에 의한 경우는 지수분포를 가정하며, 전체 자료의 수는 고장 자료의 수와 일치한다고 가정했다.

설비기기에 대한 시변 고장률은 열화고장과 임의의 고장의 합으로 구성될 수 있지만 이 자료를 가지고 정확한 시변 고장률 데이터로 사용하여 신뢰도를 정량화하기에는 고장원인에 따라 다른 값을 나타낼 수 있는 단점이 있다.

설비기기고장에 대한 고장 데이터가 천재지변에 의해 고장이려에 하나의 사고로 인식한다면 고장률이 커지는 경우가 생길 수 있으며, 파급사고에 대해서도 같은 효과를 나타내는 경우가 있을 수 있기 때문에 정확한 시변

고장을 관리를 위해서 사고에 대한 정확한 표기가 있어야 한다.

3.4.1 완전 자료

고장데이터의 형태를 보면 고장년월, 설치년월, 고장당시의 날씨나 각 부품별 불량부분을 코드로써 표현되어 있으며, 각각의 고장별 고장원인도 표현되어 있다. 완전 자료는 해당 기기에 대한 설치년월과 고장년월이 동시에 존재하여 수명 추출이 가능한 자료를 의미한다. 완전자료의 형태의 데이터를 이용하여 열화 고장 분석 및 임의 고장 분석을 통해 경년시기에 나타나게 될 사고율을 추정할 수 있고, 다음의 표 1은 25kV C.O.S에 대한 2002년도 한전 고장이력 데이터의 일부를 나타낸다.

표 1 시변 고장을 추정 가능한 고장 데이터 자료 예

연월	고장 계소	사고 일	발생 장소	회선	제작 소	제작 년	제작 월	기후	파급 사고	하자 유무	설치 년월	수량	사고 부종	형질 코드	현인 코드
200207	370144	27	2741	3	75	2000	7	6	Y		200103	1	51	43	16
200202	370144	11	2443	9	7	2000	5	1	Y	N	200006	1	56	43	20
200204	370144	1	2780	4	75	1999	12	2	Y	N	200001	1	52	42	27
200210	370144	22	2640	14	75	2000	2	1	Y	N	200005	1	54	43	29
200209	370144	1	2392	14	62	1999	10	6	Y		200003	1	53	21	30
200208	370144	31	2252	9	153	1999	11	6	Y		200001	1	51	21	31
200208	370144	31	2578	10	81	1999	7	6	Y		199912	1	53	21	32
200208	370144	31	2578	5	62	1999	3	6	Y		199911	1	59	21	33

임의의 고장에 의해 표현되는 고장의 경우에 고장들은 다음의 식에 의해 표현된다.

$$\lambda_0 = \frac{n}{T_0} \quad (9)$$

n : 고장개수
T₀ : 총 시험시간

계통의 시변 고장률로 나타낼 수 있는 식은 열화에 의해 나타내어지는 (8)식과 임의 고장으로 나타나는 식(9)의 합으로 표현 할 수 있다.

$$\lambda(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha-1} + \frac{n}{T_0} \quad (10)$$

3.4.2 불완전 자료

불완전 자료는 설치년월에 대한 정보는 없고, 고장년월에 대한 정보만 존재하는 자료로 인해 정확한 수명의 추출이 불가능한 형태를 말한다.

표 2 시변 고장을 추정 불가능한 고장 데이터 자료 예

연월	고장계소 (뒤3자리)	사고일	발생 장소	회선	제작 소	제작 년	제작 월	기후	파급 사고	하자 유무	설치 년월
200208	370164	21	2059	2	0	0	0	1	Y		
200207	370164	15	2544	19	0	0	0	2	Y		
200208	370164	21	2059	2	0	0	0	1	Y		
200208	370164	11	5814	2	0	0	0	5	Y		
200208	370164	31	2596	1	0	0	0	6	Y		
200212	370164	15	2564	25	0	0	0	1	Y		
200205	370164	3	2209	4	0	0	0	3	Y		
200205	370164	3	2209	14	0	0	0	3	Y		

3.4.3 변압기용 C.O.S의 시변 고장을 결과 예

실제 고장자료 중 완전자료를 가지고 계산된 시변 고장률 데이터를 표 3에 나타내었다. 기간은 월로 표기가 되며, 시간이 지나감에 따라 고장률이 변화하는 것을 볼 수 있다. 시변 고장률이 1보다 커지면, 반드시 고장이 일어나기 때문에 이전 적절한 시기에 유지보수나 기기신설이 필요하게 되고, 이를 토대로 신뢰도 지수도 산정 가능하다.

표 3 변압기용 C.O.S의 운용기간별 고장률

기간	0-12	12-24	24-36	36-48	48-60	60-72	72-84	84-96	96-108	108-120
신뢰도 평가치	5.815 E-05	0.00105	0.00509	0.01485	0.03329	0.06360	0.10914	0.17346	0.26022	0.37322
신뢰도 평가치	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
사고 발생률	0.1201	0.12105	0.12509	0.13485	0.15329	0.18360	0.22914	0.29346	0.38022	0.49322

3.5 투자우선순위

신뢰도 측면에서 배전계통의 설비투자에 대한 우선순위 결정은 경제원칙에 의한 투자가 아닌 배전계통의 신뢰도를 목적으로 전기적인 이득을 얻기 위한 투자 목적으로 시변 고장률을 이용하여 고장확률을 예측함으로써 투자우선순위를 전력회사의 신뢰도 지수를 향상시킬 수 도 구로 이용될 수 있다.

설비기기에 대한 유지보수나 기기변경의 우선순위를 정하기 위해 고장값을 지닌 고장률의 개념을 시변 고장률로 적용하여 전력회사에서 목표치로 하고 있는 신뢰도 지수에 선 투자 순위를 정할 수 있다.

시변 고장률을 가지고 신뢰도 지수를 예측할 수 있다면, 유지보수나 신설기기에 대한 현실적인 수치로써 정량화 할 수 있으며, 평균적인 의미의 신뢰도 지수보다 현실에 근접하게 투자우선순위를 정할 수 있게 된다.

4. 결 론

배전계통의 투자우선순위를 결정하기위한 데이터 구축 및 이를 이용하여 나타낼 수 있는 신뢰도를 계통에서 시변 고장률을 적용하여 경년에 따르는 신뢰도 변화를 볼 수 있는 가능성을 나타내었다. 이러한 형태로 데이터를 구축하여 계통을 구성하고 있는 모든 설비에 대한 이력이 점차적으로 데이터베이스화 되면, 배전계통의 설비기기에 대한 유지보수나 혹은 기기신설시 변화하는 신뢰도를 예측할 수가 있다. 이를 토대로 전기적인 투자를 할 수 있고, 이에 따르는 신뢰도 목표치를 유지하기위해 전기적 이득을 예측할 수 있다. 하지만 천재지변에 대한 고장 시 고장률이 높게 나올 수 있을 가능성도 있다.

투자비용을 포함한 연구가 이루어지면, 경제적인 측면을 고려하여, 최적의 배전계통 투자가 될 수 있다고 생각하며, 배전계통에 대한 자산관리를 위한 지표가 될 수 있다고 본다. 지역적인 투자를 위한 데이터를 위해서는 고장데이터의 지역적인 특징이 포함 된다면, 지역에 대한 가중치도 고려하여 설비투자가 이루어질 수 있다고 생각한다.

[참 고 문 헌]

- [1] Billinton, R. Wang, P. "Reliability-network-equivalent approach to distribution-system-reliability evaluation", IEE Proceedings, Vol. 145, Issue 2, pp149-153, Mar 1998
- [2] Billinton, R. Peng Wang, Wei Zhang., "Reliability assessment of an electric power system using a reliability network equivalent approach", WESCANEX 97: Communications, Power and Computing. Conference Proceedings., IEEE, 22-23, pp 53-58, May 1997
- [3] 김용하, 이범, 최상규, 정영식, 문정호, "인전국제공항 배전계통의 신뢰도 평가에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 제 48권 제 10호, 1999. 10.
- [4] RoyBillinton, Ronald N. Allen, "Reliability Evaluation of Power Systems", Plenum Press, 1984
- [5] Richard E. Brown, "Electric Power Distribution Reliability", ABB Inc, 2002