

전력품질의 평가 - 신뢰도

이 범 / 전남대학교 전기 및 반도체공학과 교수

1. 서 론

전력의 안정적인 공급은 모든 설비에 있어 필수적이라 할 수 있으며, 중요한 설비는 특히 그러하다. 지금까지 독립된 산업 시스템의 수용가계통에 대한 신뢰도를 평가하는 방법으로는 대상계통이 구체적으로 얼마만큼 신뢰도가 우수한 것인지 정량적으로 평가할 수 없다. 그러므로 객관적이고 정량적인 계통의 신뢰도를 표현할 수 있는 방법의 개발이 필수적인 작업이라 하겠다.

그러므로 본 연구에서는 이를 위한 기초적인 연구로서 확장론적인 적정성의 평가[1][2]에 기반을 두고 설계되어진 산업시스템의 수용가계통에 대하여 계통의 신뢰도를 다각적인 지수를 사용하여 정량적으로 평가할 수 있는 방법을 제시하였다. 즉, 계통의 설계된 계통에 대하여 신뢰도를 산정하고 각 설비부분에서의 신뢰도 평가를 통하여 시스템 전체의 신뢰성이 균일한 수준으로 설계되었는지도 평가할 수 있도록 하였다. 제안한 방법을 대규모 부하이면서도 독립된 계통특성을 갖고 있는 수용가계통[3]에 적용하여 신뢰도를 정량적인 방법으로 평가하여 본 연구의 유용성을 검증하였다.

2. 전력설비의 신뢰도산정

수용가계통은 선로, 케이블, 차단기, 단로기, 모선 등 다양한 전기설비의 복잡한 연결상태로서 구성되어 있으므로 수용가계통의 신뢰도를 산정하기 위해서는 우선 수용가계통을 구성하고 있는 다양한 설비들의 신뢰도를 우선 산정하여야 한다. 이러한 설비들의 신뢰도를 표현하는 고전적인 지수로는 고장율, 고장지속시간 등을 들 수 있다.

2.1 전력설비의 신뢰도 계산

(1) 직병렬 설비에 대한 신뢰도 계산

수용가계통은 대부분이 방사상계통으로 구성되어 있으며 병렬선로 및 예비선로를 포함하고 있다. 신뢰도는 다음[1]으로 계산할 수 있다.

표 1 직병렬 설비에 대한 신뢰도 계산법

	직렬계통	병렬계통
λ_s	$\sum_i \lambda_i$	$\frac{\lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2)}{1 + \lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2}$
r_s	U_s / λ_s	$\frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$
U_s	$\sum_i \lambda_i r_i$	$\lambda_1 \lambda_2 r_1 r_2$

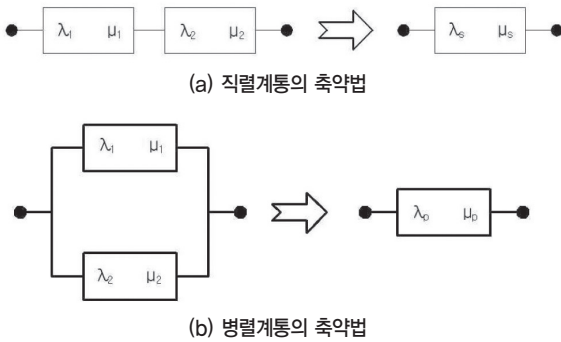


그림 1 계통축약법

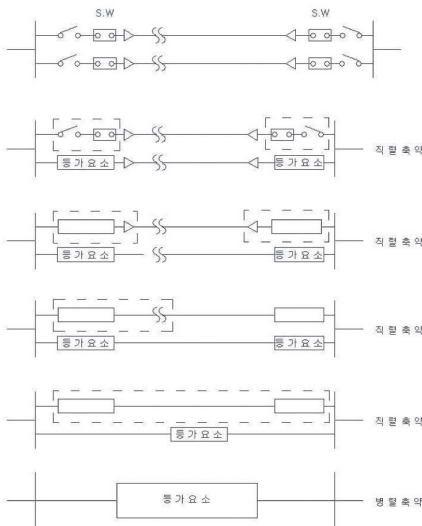


그림 2 계통축약법의 축약과정

여기서,

λ_i : 선로 i 기기의 연간고장율
 r_i : 선로 i 기기의 고장지속시간

(2) 혼합계통의 신뢰도

수용가계통은 다양한 종류의 전기설비가 직렬 및 병렬로 복잡하게 연결되어 있다. 그러므로 이와같은 전체 계통에 대하여 신뢰도를 구하는 방법으로는 전술한 바와 같은 직렬 및 병렬회로의 신뢰도 계산에 근거한 계통축약 방법(Network Reduction Method)과 고장모드-효과분석법(Failure modes and Effects Analysis)등이 계통의 구성상태에 따라 복합적으로 이용되고 있다. 다음 그림 1. 및 그림 2.는 이들 방법을 개념적으로 보인 것이다.

표 2 직병렬 설비에 대한 신뢰도 계산법

수용가중심 지수	SAIFI	$\frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i}$
	SAIDI	$\frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i}$
	CAIDI	$\frac{\sum U_i N_i}{\sum \lambda_i N_i}$
	ASAI	$\frac{\sum N_i \times 8760 - \sum U_i N_i}{\sum N_i \times 8760}$
에너지중심 지수	ENS	$\sum L_i U_i$
	AENS	$\frac{\sum L_i U_i}{\sum N_i}$

여기서,

N_i : i 부하점에서의 수용가의 수
 L_i : i 부하점에 연결된 평균부하 [KW]

2.2 수용가계통의 각종 신뢰도 지수

수용가계통은 다양한 특성을 갖는 부하를 갖고 있기 때문에, 각각의 부하에 대한 신뢰도 이외에도 이들 부하에 대하여 복합적인 신뢰도의 평가인 신뢰도지수[1]를 계산할 수 있으며, 수용가중심과 에너지중심의 지수로 나누어진다.

3. 신뢰도 산정의 예

3.1 신뢰도 계산 모형

모형계통은 전력회사로부터 2개의 선로를 통하여 전원을 공급받는 이외에도 자체 발전설비를 확보하는 등 제한적이거나 독립된 계통의 특성을 갖고 있다. 또한 설비의 종류 및 그 구성의 상태가 다양하며 전원을 공급하기 위한 방법이 설비의 중요성에 따라 각기 다른 방식으로 구성되어 있으므로 그 특성에 맞도록 계통의 부분 부분에 대하여 신뢰도의 평가를 달리 하여야 한다. 그러므로 우선 계통의 구성상태를 구간별로 구분하고 그 구간에 대한 계통구성의 특성을 신뢰도 측면에서 분석하였으며 이를 기반으로 하여 신뢰도산정의 방법을 도출하도록 하였다. 이때

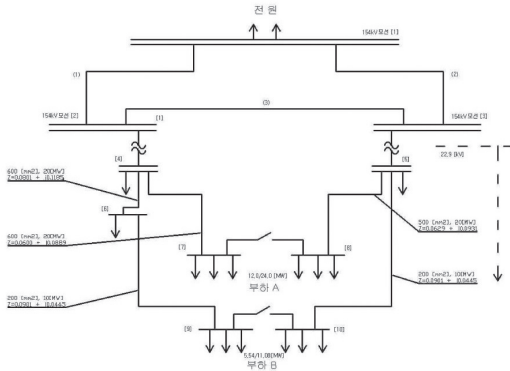


그림 3 수용가계통의 예

표 3 부하점별 신뢰도

	λ_s	r_s	U_s
부하 1	0.00113	261.00	0.2947
부하 2	0.00113	261.00	0.2947
부하 3	0.00113	261.00	0.2947
부하 4	0.00113	261.00	0.2947
부하 5	0.00113	261.00	0.2947
부하 6	0.00113	261.00	0.2947
부하 7	0.00113	261.00	0.2947

각 상위부분의 신뢰도 계산 결과는 하위계통의 신뢰도 산정을 위한 입력으로 사용되어진다.

3.2 신뢰도 계산

그림 3의 수용가계통을 대상으로 표 1 및 그림 1, 2의 방법으로 신뢰도를 계산하면 표 3과 같이 부하점 별로 신뢰도가 산정된다.

3.3 신뢰도지수

표 3의 부하점 별 신뢰도로부터 표 2를 사용하여 신뢰도 지수를 산정하면 표 4와 같은 결과를 얻을 수 있다.

우선 수용가중심지수를 살펴보면, SAIFI, SAIDI, ASUI는 전력공급점이 증가하고, 부하의 규모가 커짐에 따라 감소하고 있다. 이는 전력공급점이 증가할수록 주전력공급점에 고장이 발생해도 예비전력공급점이나 비상전원으로부터 전력을 공급받을 수 있어 부하에 전력을 공급할 수 있는 능력이 증가하고 있기 때문이며, 대규모 부하일 수록 신뢰도저하의 원인을 줄였기 때문이라 할 수 있다. 한편, 수용가에 대하여 평가하는 지수인 CAIDI는 전력공급점이

표 4 수용가계통의 신뢰도지수

	수용가중심 지수				
	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
부하 1	0.2294	26.83	116.98	0.9969	0.00306
부하 2	0.0022	0.366	162.44	0.9999	0.00004
부하 3	0.0011	0.294	260.99	0.9999	0.00003
부하 4	0.2974	28.47	95.70	0.9967	0.00325
부하 5	0.0034	0.39	113.89	0.9999	0.00004
부하 6	0.0011	0.29	259.99	0.9999	0.00003
계통전체	0.0682	8.036	117.78	0.9990	0.00091

	에너지중심 지수	
	ENS	AENS
부하 1	1380.0	697.0
부하 2	6.5	21.7
부하 3	11.1	2.9
부하 4	95.9	1917.2
부하 5	15.0	30.4
부하 6	7.0	21.1
계통전체	1515.5	217.2

증가할 수록, 부하의 규모가 커질수록 증가하고 있는데, 이로써 계통의 구조가 복잡할 수록, 부하의 규모가 커질 수록 고장지속시간이 길어짐을 알 수 있다. 또한 에너지중심지수로서 AENS는 SAIFI 등과 마찬가지로 전력공급점이 증가할 수록, 부하의 규모가 커질 수록 감소하는 특성을 지니고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 수용가계통에 대하여 각 설비의 특성을 분석하고, 설비별 특성 및 구간별 계통구성 특성에 가장 적합한 방법으로 신뢰도를 계산할 수 있는 방법을 보였다. 실제 적용가능한 수용가계통에 적용한 결과, 각 부하의 신뢰도는 전력공급점이 증가할 수록, 선로의 길이가 짧을수록, 전력공급과정 중간에 거치는 설비가 적을수록 증가함을 알 수 있었다. 또한, 계통전체에 대하여만 수용가 신뢰도지수를 산정하는 종래의 방법에서 진일보하여 규모별, 전력공급방법별로 부하를 분류하고 각각의 부하집단에 대하여 각종 신뢰도지수를 산정하고 이를 종합적으로

로 분석한 결과, 부하의 전력공급점이 많을수록, 부하의 규모가 큰 집단일수록 신뢰도지수가 우수하게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 따라서 신뢰도를 증가시키기 위하여는 복수의 전력공급점을 설치해야 하며 부하집단의 규모를 키울 필요가 있음을 알 수 있었다.

본 기고문은 본 기고자가 지금까지 신뢰도와 관련하여 발표한 논문 등 출판물을 기반으로 하여 작성하였음을 알려드립니다.

참 고 문 헌

[1] Roy Billinton, Ronald N. Allen, "Reliability Evaluation of Power Systems", Plenum Press (1984)

[2] Roy Billinton, Ronald N. Allen, "Reliability Evaluation of Engineering Systems", Plenum Press (1992)

[3] LG산전 컨소시엄, "인천국제공항 수·변전시설사업 기술제안서" (1998)

[4] IEEE Standard Board, ANSI, "IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems", IEEE (1990)

[5] Charles R. Heising, "Examples of Reliability and Availability Analysis of Common Low-Voltage Industrial Power Distribution Systems", pp.90-104

[6] Chanan Singh, Narayana Gubbala, Nagalakshmi Gubbala, "Reliability Analysis of Electric Supply Including Standby Generators and an Uninterruptible Power Supply System", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.30, No.5, pp.1298-1302 (1994)