

배전계통의 신뢰도 산정에 관한 연구

김용하, 이 범*, 최상규**, 오광해***, 문정호****, 민성준****
인천대, 여수대*, 안양과학대**, 철도연구원***, 신공항건설공단****

Research of Reliability Assessment for Distribution System

Y. H. Kim, Buhm Lee*, S. K. Choi**, K. H. Oh***, J. H. Moon****, S. J. Min****
Inchon Univ., Yosu N. Univ.*, Anyang T. College.**, Railroad R. Inst.***, K.A.C.A.****

1. 서론

전력의 안정적인 공급은 모든 설비에 있어 필수적이라 할 수 있으며, 특히 공항과 같이 중요한 설비는 더욱 그러하다. 지금까지 공항 등과 같은 독립된 산업 시스템의 배전계통에 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 확정론적인 적정성의 평가[1][2]에 기반을 두고 설계되어진 산업시스템의 배전계통에 대하여 계통의 신뢰도를 다각적인 지수를 사용하여 정량적으로 평가할 수 있는 방법을 개발하였다. 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 인천국제공항의 배전계통[3]에 적용하여 신뢰도를 정량적인 방법으로 평가하여 본 연구의 유용성을 검증하였다.

2. 전력설비의 신뢰도산정

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

2.1 전력설비의 신뢰도 계산

(1) 직병렬 설비에 대한 신뢰도 계산

배전계통은 대부분이 방사상계통으로 구성되어 있으며 병렬선로 및 예비선로를 포함하고 있다. 이러한 경우의 신뢰도는 다음[1]으로 계산한다.

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	$\sum_i \lambda_i r_i$	$\lambda_1 \lambda_2 r_1 r_2$

여기서, λ_i : 배전선로 i 기기의 연간고장율

r_i : 배전선로 i 기기의 고장지속시간

(2) 혼합계통의 신뢰도

배전계통은 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.

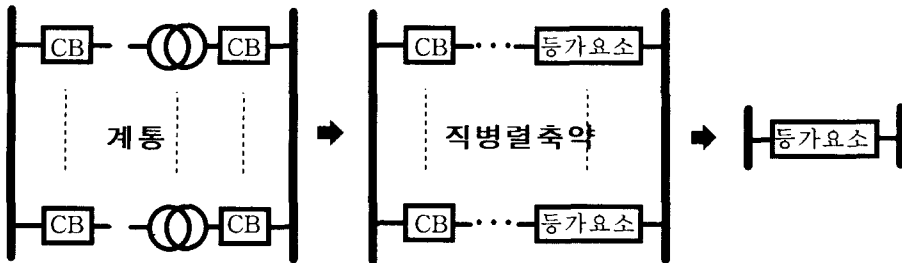


그림 1. 계통축약법의 개념도

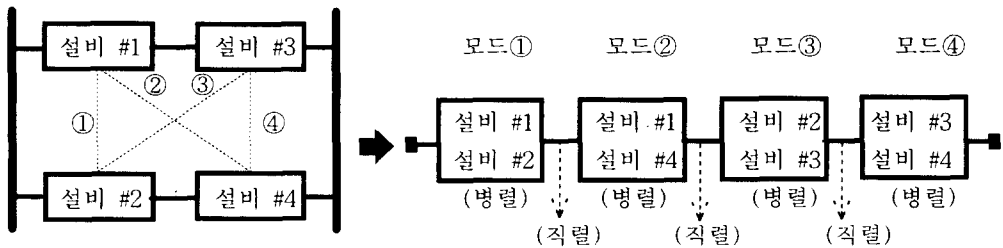


그림 2. 고장모드 효과 분석법의 개념도

2.2 배전계통의 각종 신뢰도 지수

배전계통은 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.

표. 2 각종 신뢰도 지수

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

여기서, N_i : i 부하점에서의 수용가의 수

L_i : i 부하점에 연결된 평균부하 [KW]

3. 인천국제공항의 신뢰도 평가

인천국제공항은 한국전력계통으로부터 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 계통구성 특성을 신뢰도 측면에서 분석하였으며 이를 기반으로 하여 신뢰도산정의 방법을 도출하도록 하였다. 이때 각 상위부분의 신뢰도 계산 결과는 하위계통의 신뢰도 산정을 위한 입력으로 사용되어진다.

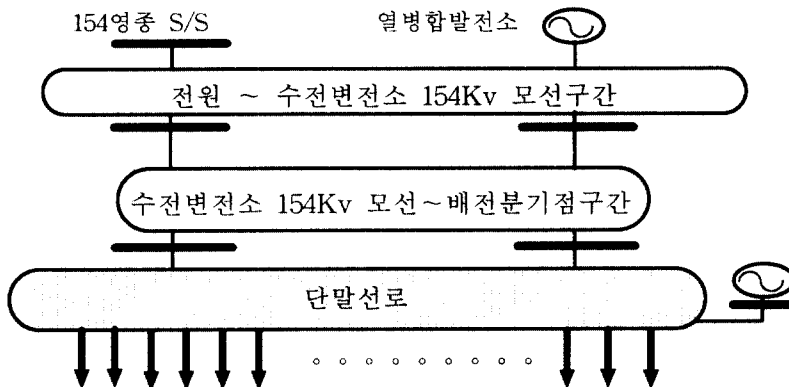


그림 3. 인천국제공항의 신뢰도계산을 위한 구간

3.1 신뢰도 계산

(1) 전력공급설비의 신뢰도

전원공급설비의 신뢰도는 표. 3과 같은 방법으로 계산하였다.

표. 3 전력공급 설비별 신뢰도 계산 방법

구 간	신뢰도 계산 방법
전원~수전변전소 154Kv 모선 구간	계통축약법 및 고장모드-효과분석법
154Kv 모선~배전분기점구간	계통축약법

(2) 부하단의 신뢰도

각 부하는 중요성에 따라 각기 다른 방법으로 전력을 공급받고 있기 때문에, 표. 4와 같이 각각의 설비 특성에 맞도록 신뢰도를 산정하도록 하였다.

표. 4 부하의 종류에 따른 전력공급 방식 및 신뢰도 계산 방법

부하 종류	전력공급점			비 고
	주전력	예비전력	비상전원	
부하 1	◎			직렬계통으로 계산
부하 2	◎	●		각 선로를 직렬로 계산후 병렬처리
부하 3	◎	●	발전기	부하 2의 계산에 비상전원을 병렬처리
부하 4	●			직렬계통으로 계산
부하 5	●	●		각 선로를 직렬로 계산후 병렬처리
부하 6	●	●	U.P.S.	부하 5의 계산에 비상전원을 병렬처리

단, ◎ : 배전분배기 ● : 배전분기점

3.2 배전 신뢰도지수의 산정

배전계통의 각종 신뢰도지수는 계통전체에 대하여 구해지게 된다. 그러므로 이와같이 산정된 신뢰도의 결과로서 배전계통이 어느 정도의 신뢰도를 갖고 있는가를 정량적으로 평가할 수 있을 뿐만 아니라 계통구성의 변경이나 계통보강 및 계통확충시에도 이들에 대한 종합신뢰도를 산정 비교함으로써 각종 대체안들의 상호우위를 판가름할 수 있게 되어 보다 효율적인 계통운영 및 계통확충이 가능하게 된다. 즉 계통을 구성하고 있는 부하의 특성을 고려하여 부하특성별로 신뢰도지수를 산정하고, 이를 부하의 중요성과 함께 비교·평가하여 취약지역 보강 등에 활용하여야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 부하를 분류하여 각 부하집단에 대한 각종 배전신뢰도를 산정하였다.

4. 사례연구

4.1 인천국제공항의 특성자료

본 연구에서는 기존의 옥외설비를 기준으로 한 자료인 IEEE에서 조사한 실적자료와 인천국제공항의 실계통 자료[4]를 사용하여 신뢰도를 계산하였다.

4.2 신뢰도 평가결과

4.2.1 신뢰도 계산 결과

본 계통에 대해 계산한 결과중 부하 1, 부하 2, 부하 3 에 대한 신뢰도 계산결과는 그림. 4와 같다.

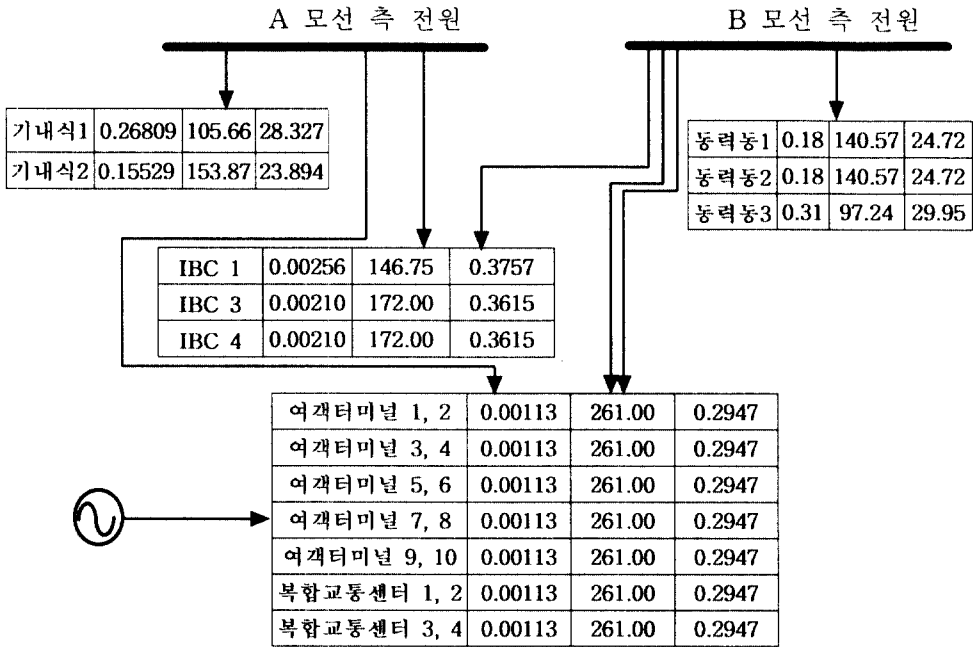
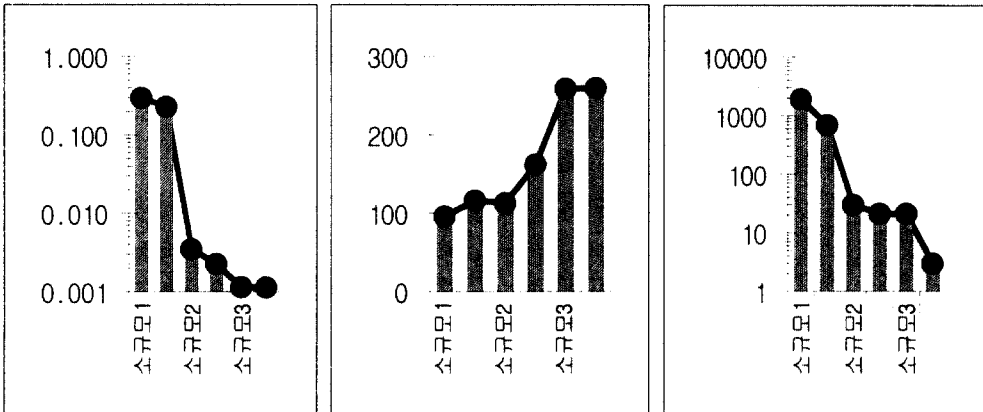


그림 4. 부하 1, 부하 2, 부하 3에 대한 신뢰도 계산결과

부하의 신뢰도를 계산한 결과를 살펴보면, 선로의 개수가 증가함에 따라 고장율이 현저히 감소하며, 비상전원을 확보하고 있는 부하는 매우 감소하고 있음을 알 수 있다. 또한, 대규모부하가 소규모부하에 비해 신뢰도가 우수한데, 이는 대규모 부하일수록 선로가 단순하여 신뢰도 저하요인이 작기 때문이라 할 수 있다.

4.2 배전 신뢰도지수의 산정

부하의 종류별로 신뢰도지수를 산정하고, 이중 SAIFI, CAIDI, AENS를 그림 5에 나타내었다.



(1) SAIFI

(2) CAIDI

(3) AENS

그림 5. 부하별 신뢰도 지수의 산정결과

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 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.

5. 결 론

본 연구에서는 배전계통에 대하여 각 설비의 특성을 분석하고, 설비별 특성 및 구간별 계통구성 특성에 가장 적합한 방법으로 신뢰도를 계산할 수 있는 방법을 개발하였다. 인천국제공항의 실계통에 적용한 결과, 각 부하의 신뢰도는 전력공급점이 증가할 수록, 선로의 길이가 짧을수록, 전력공급과정 중간에 거치는 설비가 적을수록 증가함을 알 수 있었다. 또한, 계통전체에 대하여만 배전신뢰도지수를 산정하는 종래의 방법에서 진일보하여 규모별, 전력공급방법별로 부하를 분류하고 각각의 부하집단에 대하여 각종 신뢰도지수를 산정하고 이를 종합적으로 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. 추후, 조류계산, PLOC 등을 고려할 수 있도록 하여 설비의 확충 등도 고려할 수 있는 기법의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

6. 참고문헌

- [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)