

Reliability Evaluation of Distribution System Via Analytic Network Process

金龍河* · 李 范** · 崔祥圭***
(Kim, Yong-ha · Lee, Buhm · Choi, Sang-kyu)

Abstract - This paper presents the unified reliability evaluation technique of distribution system. To calculate the accurate reliability and reliability indices which can consider line limitation and voltage drop of distribution system, we employed the deterministic evaluation technique with PLOC technique. And to evaluate the distribution system, we presented the evaluating method which is based on Analytic network process. As a result, we can evaluate the distribution system and build the expansion planning of the system considering system load and reliability indices.

Key Words : Reliability Evaluation, Reliability, Reliability Index, Analytic Hierarchy Process, PLOC

1. 서 론

배전계통의 신뢰도 해석을 위하여 지금까지는 주로 Tie-line을 포함하는 방사상계통을 대상으로 연구[1]가 진행되어 왔으며, PSS/U와 같은 소프트웨어가 개발되어 상용화되고 있다. 그러나, 자체적으로 복합적인 전력설비를 갖는 공업단지 등 대규모 배전계통은 단순한 방사상계통이 아닌 루프나 병렬회로를 포함하는 복잡한 구조를 갖고 있어 신뢰도를 계산하고 평가하는 것이 어렵기 때문에, 단순히 전압강하, 선로 조류 등을 사용하여 계통의 보강여부 등을 판단하는 방법[2]이 사용되고 있다.

* 그러므로 이와 같은 한계를 극복하고자, 다양한 형태의 구성을 갖는 계통에 대해 신뢰도를 계산하고, 계통신뢰도를 여러 가지 특성을 지니는 지수를 사용하여 평가하는 연구를 저자들이 진행한 바 있다. 우선, 완전정전상태(이하 TLOC)를 기반으로 하여 신뢰도를 계산하고, 계산된 신뢰도를 사용하여 신뢰도지수를 산정하는 연구[3]를 진행한 바 있다. 또한, 이들의 다양한 신뢰도지수로부터 계통의 신뢰도를 종합적으로 평가하기 위해 계층화 의사결정법(이하 AHP)[4]을 이용하여 하나의 종합적인 지수를 산출할 수 있도록 하는 연구[5]를 진행한 바 있다. 이로써 나름대로 계통의 신뢰도를 종합적으로 평가할 수 있게 되었으나, 일부 선로의 고장 등으로 전력 공급이 제한되는 경우(이하 PLOC)를 고려할 수 없는 단점이 있으며, 또한 계통을 수직적으로만 평가할 수 있어 부하의 크기 등과 같이 수평적 평가가 요구되는 특성을 반영할 수 없

는 단점을 가지고 있다.

그러므로 본 연구에서는 정확한 신뢰도를 계산하기 위하여, 루프 및 병렬회로를 포함하는 복잡한 배전계통에 대해 PLOC를 반영하여 신뢰도 및 신뢰도지수를 계산할 수 있도록 하였다. 또한, 부하의 크기와 같이 수평적 특성을 반영하여 계통을 평가하기 위하여, Analytic network process (이하 ANP)[6]기법을 도입하였다. AHP가 평가대상을 수직적으로만 평가하는 것과 달리, ANP는 수평적인 평가가 가능하여 각 요소간의 중요도를 통한 종합적인 평가가 가능한 방법이라 할 수 있다. 이 기법을 배전계통의 신뢰도평가에 적용하기 위하여, 본 연구에서는 부하의 크기, 신뢰도지수의 사용정도 및 이들의 상관관계 등을 클러스터라는 단위로 집단화하고, 이들 클러스터를 가중 처리함으로써 부하집단간의 상관관계, 부하의 크기 등을 감안하여 평가할 수 있도록 하였다. 이로써 계통의 크기, 부하까지도 고려한 배전계통의 종합적인 평가를 가능토록 하였다. 제안한 방법을 인천국제공항의 배전계통에 적용하여 본 연구의 유용성을 검증하였다.

2. 신뢰도 및 신뢰도지수의 계산

일반적으로 배전계통에서 일부 선로의 고장 등으로 과도한 전압강하나 선로과부하가 발생하는 경우에는 충분한 전력을 공급할 수 없어 전체설비의 정상적인 운전이 불가능하게 되는 경우가 발생할 수 있다. 따라서, 이와 같은 상태를 신뢰도산정에 반영하는 PLOC[1]를 TLOC와 함께 고려하여 설비 신뢰도를 계산하여야 계통에서 발생할 수 있는 모든 상황을 실제적으로 고려하여 계산할 수 있게 된다. 그러므로 본 연구에서는 TLOC뿐만 아니라 PLOC까지도 고려한 정확한 신뢰도 및 신뢰도지수를 계산토록 하였다. 이 PLOC는 고장모드-효과분석법에 기반을 두고 있기 때문에, 고장조합을 구성하여 신뢰도를 결정하도록 한다. 이의 방법으로, TLOC만을

* 正 會 員 : 仁川大 電氣電子工學部 教授, 工博
 ** 正 會 員 : 麗水大 電氣 및 半導體工學科 副教授, 工博
 *** 正 會 員 : 安養科學大 電氣制御科 副教授, 工博
 接受日字 : 2000年 12月 29日
 最終完了 : 2001年 8月 22日

고려한 신뢰도를 계산하고, 각 고장조합에 대해 조류계산을 시행하여 문제가 있는 조합에 대해서만 PLOC를 계산한 다음, 설비별로 각 조합의 PLOC를 합한후, TLOC와 합하여 신뢰도를 구한다. 이의 과정을 그림 1.에 나타내었다.

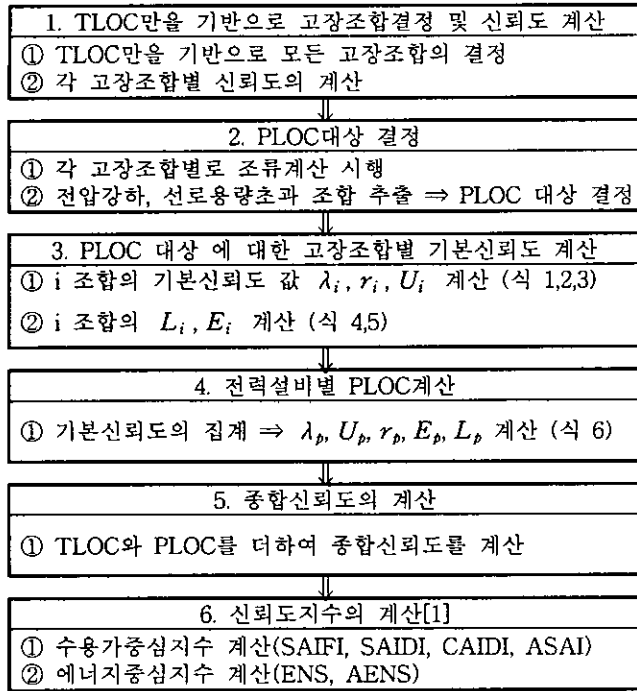


그림 1 PLOC를 감안한 신뢰도의 계산
Fig. 1 Calculation of reliability considering PLOC

이중, 단계 3의 기본신뢰도는 단계 2에서 결정된 PLOC 대상에 대하여 i 조합의 기본신뢰도 값 λ_i, r_i, U_i 및 공급지장 전력 L_i , 전력량 E_i 를 식(1)~식(5)와 같이 계산한다.

$$\lambda_i = \lambda_{ei} P_i + \lambda_{ei} (1 - P_i) \lambda_{Li} \frac{r_{ei} r_{Li}}{r_{ei} + r_{Li}} \text{ [f/yr]} \quad (1)$$

$$r_i = r_{ei} \text{ [h]} \quad (2)$$

$$U_i = \lambda_i r_i \text{ [h/yr]} \quad (3)$$

$$L_i = \left[\int_0^{t_1} L_{i(t)} dt - L_{si} t_1 \right] / t_1 \text{ [MW]} \quad (4)$$

$$E_i = L_i U_i \text{ [MWh/yr]} \quad (5)$$

여기서,

$$\lambda_{Li} = \frac{P_i}{1 - P_i} \lambda_{Hi}, \quad r_{Li} = \frac{1}{\lambda_{Li}}$$

λ_{ei} : i 조합에 대한 고장상태별 고장율 [f/yr]

r_{ei} : i 조합에 대한 평균 고장지속시간 [h]

P_i : i 조합에서 부하가 L_i 보다 클 확률

$L_{i(t)}$: i 조합에서 부하가 큰 순서로 정렬시 시간대별 부하의크기[MW]

L_{si} : i 조합에서 고장상태동안 해당 부하에 공급될 수 있는 최대전력 [MW]

t_1 : $L_{i(t)}$ 의 크기가 L_{si} 보다 큰 시간대의 비율

λ_{Hi} : i 조합에서 PLOC상태에서 TLOC상태로의 천이율

λ_{Li} : i 조합에서 TLOC상태에서 PLOC상태로의 천이율 또한, 단계 4의 PLOC의 계산은 다음과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} \lambda_p &= \sum_{i=1}^n \lambda_i \text{ [f/yr]} \\ U_p &= \sum_{i=1}^n U_i \text{ [h/yr]} \\ r_p &= U_p / \lambda_p \text{ [h]} \\ E_p &= \sum_{i=1}^n E_i \text{ [MWh/yr]} \\ L_p &= E_p / U_p \text{ [MW]} \end{aligned} \quad (6)$$

단계 1에서 계산된 기본신뢰도에 단계 4에서 얻어진 PLOC를 더하여 종합신뢰도를 계산한 다음, 신뢰도지수[1]를 계산한다.

3. ANP에 의한 배전계통 신뢰도의 종합적인 평가

계통의 운전자 및 계획수립자는 앞서 계산한 다양한 성질을 가지는 여러 가지 종류의 신뢰도지수를 사용하여 합리적인 의사결정을 하여야 한다. 그러나, 이들 신뢰도지수들은 서로의 특성이 다르고, 심지어는 상반되는 특성을 가지게 된다. 그러므로 이를 단일의 종합적인 지수 값으로 평가하기 위하여 ANP를 사용하였다.

3.1 ANP 및 모델구성

종합적인 신뢰도를 계산하고자 하는 연구[5]에 사용된 AHP[7]는 각 평가대상에 대하여 각각의 평가를 한 다음, 이들을 수직적으로 종합적인 평가를 함으로써, 의사결정에 도움을 줄 수 있다. 그러나, 이 방법은 평가대상을 상위계층의 기준에 따라서만 평가가 가능하기 때문에 평가대상 상호간의 관계를 감안하여 평가하는 것이 곤란한 단점이 있다.

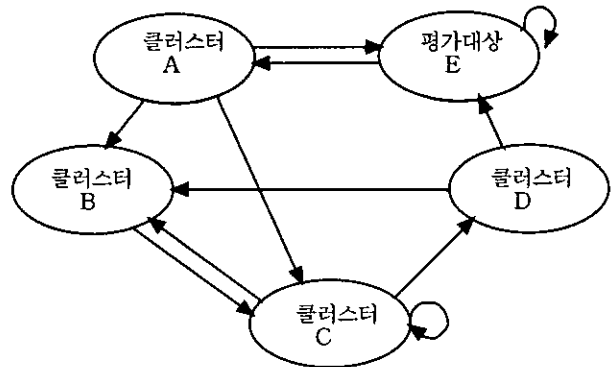


그림 2 ANP에 의한 종합적 평가
Fig. 2 Unified evaluation via ANP

이러한 문제점을 개선하고자, 최근 ANP기법[6]이 개발되어 사용되고 있다. ANP는 AHP의 확장형태라 할 수 있으며, AHP가 평가대상을 다단계 평가기준에 따라 평가하는 것과 달리 ANP는 평가대상, 평가기준들 사이의 관계뿐만 아니라, 이들 요소 각각에 대한 관계도 고려할 수 있는 장점이 있다. ANP에 의한 종합적인 평가의 일례를 그림 2에 나타내었다.

ANP는 그림 2와 같이 평가기준, 평가대상을 각각의 Cluster로 나누고, 이들 Cluster사이의 관계로써 종합적으로 평가하는 방법이다. 그림에서 ① Cluster E는 평가대상집단으로 평가대상간의 관계가 존재하며, ② Cluster A ~ D는 평가기준집단으로, 이중 Cluster C만 평가기준내의 관계가 존재하고, ③ 각 Cluster간의 관계는 화살표 방향으로만 존재하며, 이중 Cluster A-E, B-C사이에는 상호간의 관계가 존재함을 알 수 있다. 이와 같은 방법으로 평가를 시행하면, 이들 요소 각각에 대한 관계도 고려할 수 있게 된다. 본 연구에서는 ANP적용을 위한 모델구성은 다음과 같이 하였다.

(1) 클러스터의 구성

평가대상은 부하집단별 신뢰도이므로, 각 부하집단별 신뢰도지수를 요소로 하고, 이들 요소로 부하 클러스터를 구성하였다. 또한 평가기준으로는 수용가지수라 할 수 있는 SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI와 에너지지수라 할 수 있는 ENS, AENS로 각각 구성하였다.

(2) 각 요소간의 관계 정립(자체 및 상호관계행렬의 구성)

평가대상인 부하 클러스터에 대하여는 각 부하집단별 크기를 사용하여 부하-부하 행렬을 구성하였다. 또한, 평가기준으로 여러 전력회사에서 사용하는 각 신뢰도지수의 사용빈도를 이용하였다. 즉, SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI, ENS, AENS의 사용빈도를 이용하여, 부하와 이들 지수와의 관계 및 지수-지수간의 관계를 정립하였다.

본 연구에서 사용한 ANP모델을 그림 3에 나타내었다.

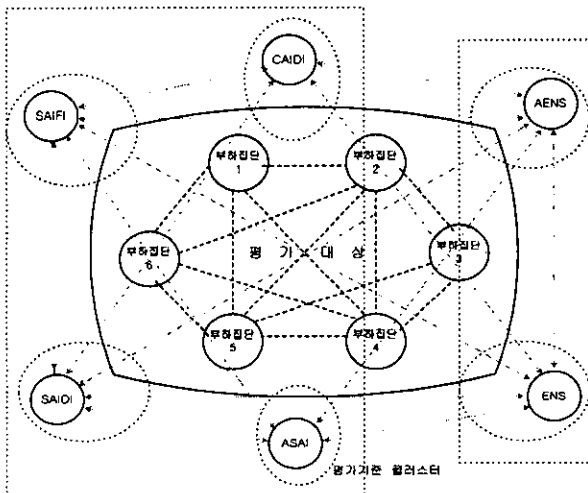


그림 3 신뢰도 평가를 위한 ANP 모델
Fig. 3 ANP model for reliability evaluation

3.2 ANP에 의한 해법

앞서 구한 평가대상 요소 및 클러스터, 평가기준 요소 및

클러스터와 이들 요소간의 관계로부터 다음과 같은 ANP계산 과정[6]을 거쳐 배전계통 신뢰도의 종합적인 평가를 구하였다. 이 과정에서 배전계통 신뢰도 종합화 모델은 초행렬[6]로 나타낼 수 있는데, 이는 그림3에서와 같이 부하1.6을 평가대상 클러스터로, SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI, ENS, AENS를 각각의 평가기준 클러스터로 구성한 것이다.

또한, 평가를 함에 있어, 입안자의 주관을 가중행렬을 사용하여 정할 수 있는데, 이 행렬의 크기에 따라 중요도가 영향을 받게 된다. 이의 과정을 그림 4에 나타내었다.

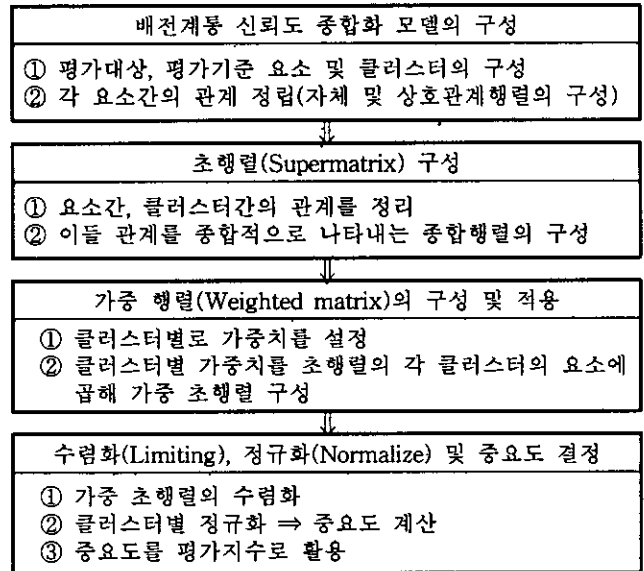


그림 4 ANP에 의한 배전계통 신뢰도의 종합 평가 과정
Fig. 4 Unified evaluation of distribution system via ANP

4. 사례연구

4.1 대상계통

본 연구에서는 대상계통을 대규모 배전계통이라 할 수 있는 인천국제공항의 배전계통으로 하였다.

(1) 배전계통의 구성 및 부하

대상 배전계통을 하나의 그림으로 나타내기 어렵기 때문에, 본 계통중 PLOC대상이 되는 부하 A,B에 대한 구성도, 선로특성, 모선의 최소 및 최대부하 만을 그림 5에 나타내었다. 여기서 부하는 1일을 기준으로 최소에서 최대까지 변화하게 되는데, 이 크기의 변화는 선형적인 것으로 가정하였다.

또한, 본 계통은 다양한 특성을 갖는 다수의 부하를 갖고 있으며, 본 연구에서는 이들 부하의 중요성과 전력공급방식에 따라 6개의 부하집단으로 구분하여 구성하였다. 이중, 부하 1,2,3은 터미널 등과 같이 개개의 규모가 큰 부하의 집단으로 구성하였으며, 부하 4,5,6은 가로등과 같이 개개의 규모가 작은 부하의 집단으로 구성하였다. 여기서, 규모가 작은 부하의 집단이라 하더라도 부하의 개수가 많기 때문에, 반드시 전체 부하의 크기가 작은 것은 아니다.

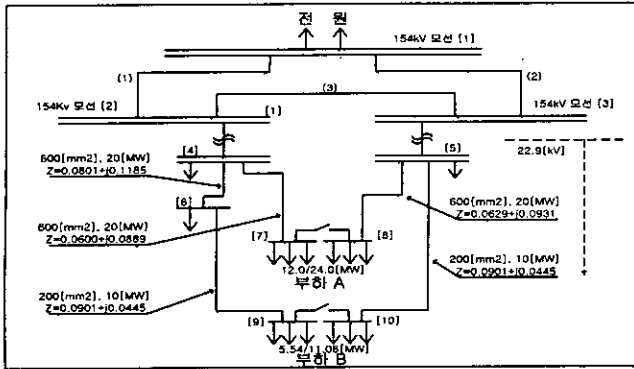


그림 5 모델계통의 구성 및 부하,선로특성(관심지역)
Fig. 5 Distribution system and its characteristic

또한, 부하집단 1,4는 전력공급점이 1개인 부하를, 부하집단 2,5는 전력공급점이 2개인 부하를, 부하집단 3,6은 전력공급점이 3개 이상인 부하로 구성하였다. 각 부하집단의 부하 크기를 그림 6에 나타내었다.

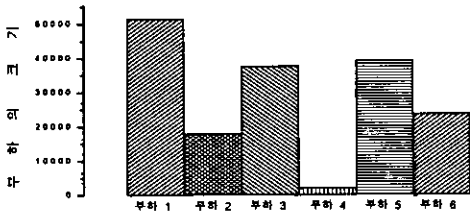


그림 6 부하집단별 최대부하의 크기
Fig. 6 Maximum load of each load group

또한, 부품별 신뢰도라 할 수 있는 각 기기별 신뢰도자료인 λ_i, r_i 는 기존의 옥외설비를 기준으로 IEEE에서 조사한 실적자료[8]를 사용하였다. 또한, 계통자료로는 설계통자료를 사용하였다.[2]

(2) 전력회사별 신뢰도지수 사용정도

신뢰도지수의 중요도는 각 전력회사별 신뢰도지수의 사용 정도로 하였다. 그림 7은 각 전력회사들이 사용하는 신뢰도지수의 사용정도를 집계한 것이다.[1]

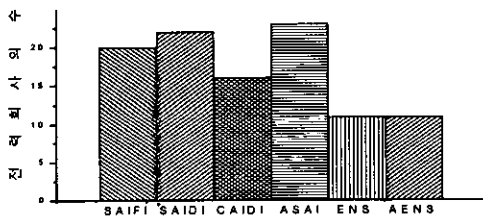


그림 7 전력회사별 신뢰도지수의 사용빈도
Fig. 7 Frequency of reliability indices of power utilities

4.2 신뢰도 및 신뢰도지수 계산결과

본 계통에 PLOC가 발생하는지를 알기 위하여, 모든 고장 모드를 구성하고, 이들 경우에 대하여 조류계산을 시행한 후,

각 부하에 공급되는 전압과 선로의 조류를 검토하였다. 우선, 계통의 전압강하는 모든 경우에 있어 4% 이내로 나타나 이로 인한 문제점은 발생하지 않았다. 선로의 조류는 부하집단 2에 속한 부하 B와 부하집단 5에 속한 부하 A만이 고장시 용량을 초과하는 PLOC 대상으로 나타나, 이 부분에 대하여만 PLOC를 계산하여 TLOC와 함께 그림 8에 나타내었다.

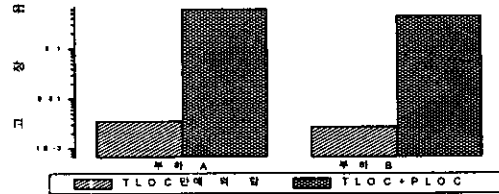


그림 8 PLOC를 고려한 고장율
Fig. 8 Failure rate considering PLOC

그림 5로부터 두개의 선로로부터 전력을 공급받는 부하 A, B는 두개 선로가 모두 가동중일 때는 정상적인 운전이 가능하지만, 어느 한 선로에 고장이 발생되어 차단되었을 때에는 전력공급에 지장을 받는다. 즉, 부하 A는 5.54~11.08[MW]로 변화하기 때문에, 부하가 선로공급능력인 10[MW]를 초과하는 동안(24시간중 4.68시간)은 정상적으로 전력을 공급할 수 없다. 또한, 부하 B는 12.0~24.0[MW]로 변화하기 때문에, 부하가 선로공급능력인 20[MW]를 초과하는 동안(24시간중 8시간)은 정상적으로 전력을 공급할 수 없게 된다.

그림 8에서 TLOC만으로 고장율을 계산하면 2회선 선로중 1회선 고장이 발생하였을 경우, 위와 같은 공급제한이 반영되지 않아 고장율이 낮게 계산된다. 여기서, PLOC를 감안하여 신뢰도를 계산하면 고장율이 상당히 높아지고 있음을 알 수 있다. 이는 TLOC만에 의한 계산이 2회선 선로 중 1회선 고장과 같은 상황에서 공급능력을 반영하지 못함에 따라 제대로 계산하지 못한 것임을 나타내는 것이다.

또한, 앞에서 계산된 TLOC만을 고려한 경우와 PLOC까지도 고려한 경우에 대해 각종 신뢰도지수를 산정한 결과를 그림 9에 나타내었다.

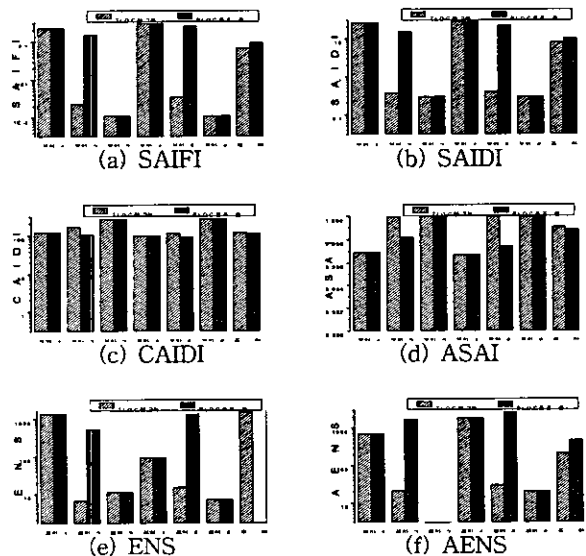


그림 9 각종 신뢰도지수 계산결과
Fig. 9 Calculation of various reliability indices

그림 9에서 PLOC 대상 부하가 있는 부하집단 2,5는 PLOC를 감안한 신뢰도를 계산하였을 때에만 실제상황을 반영한 신뢰도지수가 산정되고 있음을 알 수 있다. 이들 부하집단은 각 부하의 신뢰도를 계산할 때와 마찬가지로 PLOC를 감안함으로써 신뢰도가 나쁘게 계산되고 있다.

4.3 종합적인 신뢰도의 평가

본 연구에서는 ANP를 사용하여 종합적인 신뢰도를 평가하고, 이를 AHP를 사용한 방법[5]과 비교하였다.

4.3.1 AHP와 ANP의 비교

그림 9의 PLOC를 감안한 신뢰도지수와 그림 7의 각 전력회사별 신뢰도지수의 사용정도로부터 ANP를 사용하여 신뢰도를 평가하였다. 또한, 본 연구에서는 평가대상인 부하-부하클러스터의 중요도가 크다고 생각되어 이 클러스터의 가중치만 5배로 하였다. 이때의 가중 초행렬을 표 1에 나타내었다.

표 1 시험계통의 가중 초행렬

Table 1 Weighted supermatrix of test system

클러스터	부 하 집 단						SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ENS	AENS	
	요소	1	2	3	4	5							6
부하집단	1	0	0.2386	0.2733	0.2163	0.2793	0.2477	0.0820	0.0950	0.0420	0.0555	0.1378	0.0329
	2	0.1064	0	0.0954	0.0754	0.0936	0.0864	0.0537	0.0560	0.0379	0.0556	0.0520	0.0820
	3	0.2231	0.1746	0	0.1582	0.2026	0.1812	0.0004	0.0010	0.0038	0.0557	0.0011	0.0001
	4	0.0121	0.0085	0.0109	0	0.0110	0.0099	0.1064	0.1007	0.0344	0.0555	0.0006	0.0006
	5	0.2328	0.1821	0.2093	0.1651	0	0.1891	0.0905	0.0795	0.0319	0.0555	0.1321	0.1266
	6	0.1390	0.1055	0.1255	0.0993	0.1271	0	0.0004	0.0011	0.0034	0.0557	0.0007	0.0010
SAIFI	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0.0353	0	0.1130	0.1026	0.1149	0.0823	0.0823	
SAIDI	0.0388	0.0388	0.0388	0.0388	0.0388	0.0388	0.1202	0	0.1128	0.1264	0.0905	0.0905	
CAIDI	0.0282	0.0282	0.0282	0.0282	0.0282	0.0282	0.0874	0.0904	0	0.0920	0.0558	0.0558	
ASAI	0.0406	0.0406	0.0406	0.0406	0.0406	0.0406	0.1257	0.1300	0.1179	0	0.0947	0.0947	
ENS	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667	0	0.3333	
AENS	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.0714	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667	0.3333	0	

이와 같이 ANP에 의해 계산한 결과와 AHP에 의한 결과를 그림 10에 나타내었다.

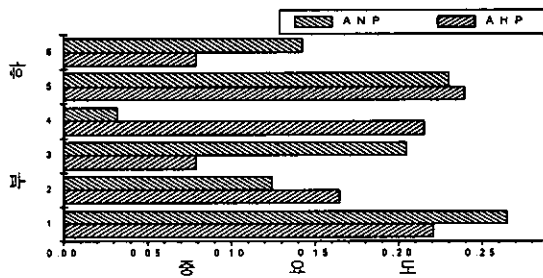


그림 10 AHP 및 ANP에 의한 부하집단별 중요도 Fig. 10 Importance indices for load group via AHP and ANP

위의 그림 10으로부터 AHP와 ANP에 의한 중요도를 살펴본 결과, AHP에 의한 결과에서는 각 부하집단의 신뢰도에만 의존하고 있다. 전력공급점이 하나인 부하집단 1,4에서 다른 부하집단에 비해 비교적 중요도가 크게 나타나고 있는

데, 이는 전력공급점이 2개나 3개인 부하보다 전력공급점이 하나인 부하를 개선하였을 때 신뢰도의 향상이 커짐을 의미한다. 여기서 부하집단 5의 중요도는 전력공급점의 갯수만을 생각하면 부하집단 1,4보다 작아져야 하나, 그림 9에서와 같이 PLOC를 고려하게 되면 부하집단 5의 ENS 및 AENS값이 매우 크게 계산되기 때문에 그 중요성이 증대된 결과로 분석된다.

ANP에 의한 결과에서는 신뢰도뿐만 아니라, 부하의 크기도 감안하고 있다. 우선, 부하집단 1,2,3을 살펴보면 AHP에 비해 부하집단 2보다 부하의 크기가 상대적으로 큰 부하집단 3의 중요도가 커지고 있음을 알 수 있다. 이는, 큰 부하가 연결된 설비를 보강하는 경우 상대적으로 신뢰도의 개선이 큼을 의미한다. 또한, 부하집단 4,5,6의 경우에도 상대적으로 부하의 크기가 작은 부하집단 4의 중요도가 낮게 계산되고 있음을 알 수 있다. 즉, ANP에 의한 계산에서는 신뢰도가 낮을수록, 부하의 크기가 클수록 중요도가 크게 나타나고 있어, 이러한 부하를 개선하였을 때 신뢰도의 향상이 두드러짐을 알 수 있었으며, 이를 사용하여 효율적인 보강계획을 수립이 가능하다고 할 수 있다.

4.3.2 가중행렬에 따른 감도 해석

ANP에서는 가중행렬에 따라 해당 클러스터에 대한 중요성을 배가시킬 수 있기 때문에, 가중행렬의 구성은 매우 중요하다 할 수 있다. 따라서, 가중행렬에 따른 중요도의 변화를 알아보기 위해, 가중행렬을 변화시켜가면서 중요도를 알아보았다.

우선, 부하-부하 클러스터의 가중치, 부하-SAIFI 등 각종 신뢰도지수 클러스터의 가중치를 변화시키면서 감도를 알아보았다. 또한, 신뢰도지수의 특성을 복합적으로 평가하기 위하여 에너지관련지수인 ENS, AENS를 하나의 클러스터로 묶고, 수송관련지수인 SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI를 또 하나의 클러스터로 묶은 다음, 이들 클러스터중 부하-에너지, 부하-수송가 클러스터의 가중치를 변화시키면서 감도를 알아보았다.

(1) 부하-부하 클러스터의 가중치에 대한 감도

부하의 크기에 대한 감도를 알아보기 위하여 부하-부하클러스터의 가중치를 변화시키면서 감도를 알아보았다.

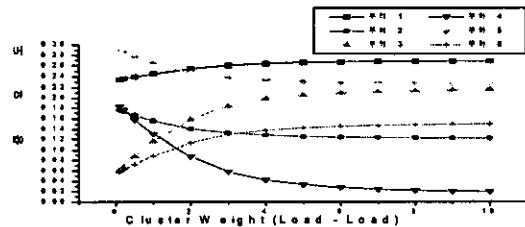


그림 11 부하클러스터의 가중치에 따른 부하집단별 중요도 Fig. 11 Importance Indices according to the load cluster weighting

그림 11로부터 중요도를 살펴본 결과, 부하-부하 클러스터의 가중치를 작은 값인 0.1로 주었을 경우에는 부하집단의 중요도는 AHP로 계산하였을 때와 마찬가지로 5>1>4>2>3>6의 순서를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이로부터, 가중치를 크게함에 따라 부하가 상대적으로 큰 부하집단 1,3,6은 점차 중요도가 높아지고 있는 반면, 부하가 상대적으로 작은 부

하집단 2,4는 점차 중요도가 낮아지고 있어 가중치를 크게 함에 따라 부하의 크기를 반영한 중요도를 얻을 수 있었다. 여기서 부하집단 5는 부하가 상대적으로 크에도 불구하고 중요도가 다소 낮아지고 있는데, 이는 부하집단 1,3,6의 증가에 따른 상대적인 하락이라 할 수 있다.

(2) 부하와 관련이 있는 클러스터의 가중치에 대한 감도

전력회사별로 중요시하는 신뢰도지수가 있다. 앞에서 계산한 중요도는 그림 7의 각 전력회사에서 사용하는 신뢰도지수별 사용빈도를 가지고 계산한 것이라 할 수 있다. 실제로 각 배전계통에서 중요시하는 신뢰도지수가 있기 때문에, 이들 신뢰도지수별로 가중치를 변화시키면서 감도를 알아보았다.

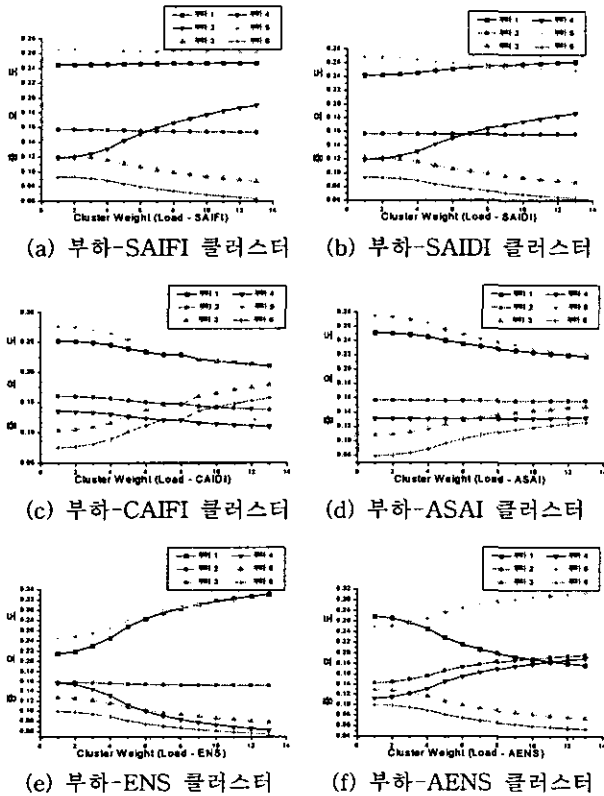


그림 12 부하관련클러스터의 가중치에 따른 부하집단별 중요도
Fig. 12 Importance Indices according to the load-related cluster weighting

우선, 한 예로 그림 12 (a)에서 SAIFI에 가중치를 두고 중요도를 계산하기 위하여 부하-SAIFI의 가중치를 증가시키면서 중요도를 계산한 결과, 가중치가 증가함에 따라 상대적으로 SAIFI가 나쁜 부하집단 4의 중요도가 증가함을 알 수 있으며, 상대적으로 SAIFI가 좋은 부하집단 3,6의 중요도가 감소함을 알 수 있다. 즉, 부하집단 4를 보강하면 용이하게 SAIFI를 증가시킬 수 있음을 알 수 있다.

이와 마찬가지로 방법으로 부하-SAIDI, 부하-CAIDI, 부하-ASAI, 부하-ENS, 부하-AENS에 대한 가중치를 변화시켜 가면서 중요도를 알아본 결과, 이들 클러스터의 가중치를 증가시키기에 따라 이들 신뢰도지수를 용이하게 개선할 수 있는 방법을 찾을 수 있었다.

(3) 평가클러스터의 복합적인 가중치에 대한 감도

또한, 앞의 각 지수를 향상시키는 것에서 더 나아가, 이들 지수를 복합적으로 개선시킬 수 있도록 하기 위하여, 이들 지수를 에너지관련지수인 ENS, AENS 와 수용가관련지수인 SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI로 구분하여 클러스터를 구성하고, 이의 가중치를 변화시켜가면서 중요도를 알아보았다.

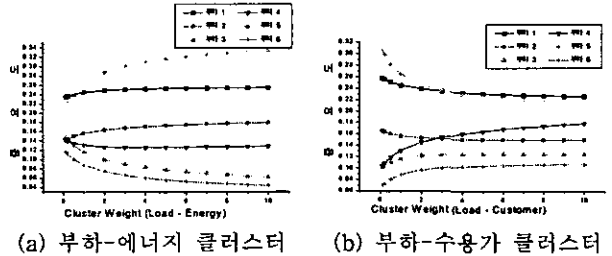


그림 13 평가클러스터의 가중치에 따른 부하집단별 중요도
Fig. 13 Importance Indices according to the evaluation cluster weighting

우선, 부하-에너지 클러스터의 가중치를 크게 할 수록 에너지중심지수의 영향이 크게 나타나고 있으며, 이들 클러스터의 가중치를 크게함에 따라 ENS, AENS의 지수가 큰 부하5의 중요도가 증가하고 있다. 즉, 부하5를 보강함으로써 에너지관련지수의 개선이 용이해 짐을 알 수 있다.

반면, 수용가지수는 SAIFI, SAIDI 와 CAIDI는 서로 다른 특성을 나타내고 있는데, 부하-수용가 클러스터의 가중치를 증가시키기에 따라 이를 복합적으로 평가하는 것이 가능하게 되었다. 즉, CAIDI의 값이 큰 부하3,6과 SAIFI와 SAIDI의 값이 큰 부하4의 중요도가 가중치의 증가와 함께 커지고 있어, 수용가관련지수의 개선을 하고자 하는 경우에 이들 설비를 보강함으로써 용이하게 관련 지수의 개선을 할 수 있음을 알 수 있다.

위의 결과들로부터 배전계통의 보강계획 등을 수립함에 있어 부하집단별 부하의 크기, 개선을 희망하는 각 신뢰도지수 등까지도 고려할 수 있는 ANP에 의한 평가가 유용함을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구의 중요한 결론은 다음과 같다.

- (1) 대규모 배전계통에 대하여 PLOC를 감안한 신뢰도 및 신뢰도지수를 계산하였다. 즉, 종래의 TLOC를 기반으로 신뢰도를 계산하는 방법에서 나아가, PLOC를 계산하고 이를 사용하여 신뢰도지수를 계산하였다. 그 결과, TLOC만으로는 정확한 계산이 불가능하였던 부하 A,B에 대한 신뢰도까지도 정확히 계산할 수 있었으며, 이들 부하가 있는 부하집단 2와 부하집단 5만이 신뢰도지수에 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 이로써 PLOC를 감안하여야만 정확한 신뢰도 및 신뢰도지수를 계산할 수 있음을 알 수 있었다.
- (2) 배전계통에 대하여 진일보한 종합적인 평가를 할 수 있는 기법을 적용하였다. 본 연구에서는 ANP를 사용

하여 종합적인 중요도를 산정할 수 있는 기법을 적용함으로써, AHP에서 사용하던 신뢰도지수 및 전력회사들의 신뢰도지수 사용실적뿐만 아니라, 부하집단의 크기까지도 감안한 중요도를 계산할 수 있었다. 그 결과, 부하의 크기가 큰 부하집단에 대하여 우선적으로 보강하여야 신뢰도개선효과가 큼을 알 수 있었다. 또한, 계통에서 개선을 희망하는 신뢰도지수 및 신뢰도지수그룹까지도 개선할 수 있는 보강방안을 도출할 수 있었다. 즉, ANP를 사용하여 각 클러스터의 수평적 관계까지도 고려하여야만 보다 타당한 종합적 평가를 할 수 있으며, 보다 효율적인 보강계획을 수립할 수 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관으로 수행되었음.

참 고 문 헌

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

[2] LG산전 컨소시엄, "인천국제공항 수·변전시설사업 기술제안서", 1998

[3] 이범, 김용하, 최상규, "산업계통의 신뢰도산정에 관한 연구", 에너지공학, 제 8권 제 호, 1999. 9.

[4] Marija D. Ilic, Shell Liu, "Hierarchical Power Systems Control - Its Value in a Changing Industry", Springer, 1996.

[5] 김용하, 이범, 최상규, 정영식, 문정호, "인천국제공항 배전계통의 신뢰도 평가에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 제 48권 제 10호, 1999. 10.

[6] Thomas L. Satty, "The Analytic Network Process : Decision Making with Dependence and Feedback", RWS Publications, 1996.

[7] Marija D. Ilic, Shell Liu, "Hierarchical Power Systems Control - Its Value in a Changing Industry", Springer, 1996.

[8] IEEE, "IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems", IEEE, ANSI, 1991.

저 자 소 개



김 용 하 (金 龍 河)
 1959년 5월 16일 생. 1982년 고려대 전기 공학과 졸업. 1987년 고려대 대학원 전기 공학과 졸업(석사). 1991년 동대학원 전기 공학과 졸업(공학). 1992년~현재 인천대 전기전자공학부 교수.
 Tel : 032-770-8434
 Email : yhkim@lion.inchon.ac.kr



최 상 규 (崔 祥 圭)
 1960년 12월 22일 생. 1983년 충북대 전기 공학과 졸업. 1986년 고려대 대학원 전기 공학과 졸업(석사). 1994년 동대학원 전기 공학과 졸업(공학). 1990년~현재 안양과학대 전기제어과 부교수.
 Tel : 031-441-1326
 Email : cskm@aytc.anyang-c.ac.kr



이 범 (李 范)
 1959년 10월 28일 생. 1981년 고려대 전기 공학과 졸업. 1989년 고려대 대학원 전기 공학과 졸업(석사). 1995년 동대학원 전기 공학과 졸업(공학). 1995년~현재 여수대 전기 및 반도체공학과 부교수.
 Tel : 061-659-3313
 Email : buhmlee@yosu.ac.kr