

PLOC를 고려한 배전계통의 신뢰도 계산 및 ANP에 의한 종합적 평가

(Reliability Assessment Considering PLOC and Unified Evaluation via Analytic Network Process)

이 범* · 김용하**
(Buhm Lee · Yong-ha Kim)

요 약

본 연구는 복잡하면서도 적용하기 어려운 계통인 인천국제공항 배전계통에 대하여 전력공급제한을 포함하는 종합적인 신뢰도평가를 하였다. 우선, 계통의 선로제한 및 전압강하를 고려한 평가를 하기 위하여 확정론적인 방법과 고장모드-효과분석법에 기반을 둔 PLOC기법을 도입하고, 신뢰도지수를 계산하였다. 또한 계통의 능력을 평가하고, 신뢰도를 개선하기 위하여 ANP를 도입하였다. 이와같은 결과로 정확한 신뢰도를 계산하고, 취약부분을 찾아내고, 계통의 확장계획을 수립하는 것을 가능하게 하였다.

Abstract

This paper describes the unified reliability evaluation with partial loss of continuity for Incheon international airport distribution system which is complex and difficult system to implement. To evaluate reliability considering line limitation and voltage drop of the system, PLOC technique which is based on deterministic evaluation technique and failure mode & effective analysis method is employed. And reliability indices calculation method is used. Finally, to evaluate the system performance and to improve the reliability of the system, Analytic network process method is employed. As a result, calculating accurate reliability, finding weak points, and expansion scheduling of the system is possible.

1. 서 론

지금까지 개발된 배전계통의 신뢰도 해석기법 [1][2]에 의한 PSS/U와 같은 상용소프트웨어에서는 방사상계통에 대한 신뢰도 계산만을 처리할 수 있으

며, 루프나 병렬회로를 포함하는 배전계통에 대한 신뢰도 계산은 처리하지 못하고 있다. 그러므로 병렬 회로 및 루프를 포함하고 있는 배전계통의 경우에는 단순히 전압강하, 선로의 조류 등을 계산한 다음, 보강이 필요하다고 판단되는 설비를 결정하는 방법[3]을 사용하여 신뢰도를 판단하여 왔다.

이에 병렬회로나 루프를 포함하고 있는 인천국제공항의 배전계통에 대하여 신뢰도를 계산하고, 계산 결과를 사용하여 다양한 신뢰도지수를 산정[4]한 다음, 이들 신뢰도지수들을 계층화 의사결정법(이하

* 정희원 · 여수대학교 전기 및 반도체공학과 조교수

** 정희원 : 인천대학교 전기전자공학부 부교수

접수일자 : 2000년 2월 18일

AHP[5]을 이용하여 하나의 종합적인 지수를 산출할 수 있도록 하는 연구[6]를 저자들이 진행한 바 있다. 그러나, 이들 방법 역시 완전정전상태(Total Loss of Continuity; 이하 TLOC)만을 고려하여 신뢰도를 계산함으로써 일부 선로의 고장 등의 이유로 제한적인 전력공급만이 가능한 경우를 고려할 수 없는 단점을 가지고 있었다.

그러므로 본 연구에서는 인천국제공항의 배전계통 [7]에 대한 신뢰도를 TLOC뿐만 아니라 일부 전력공급설비의 고장 등으로 충분한 전력을 공급할 수 없는 상태(Partial Loss of Continuity; 이하 PLOC)까지도 고려하여 정확한 신뢰도를 계산할 수 있도록 하였다. 또한, Analytic network process (이하 ANP)[8]기법을 도입하여, 앞서 구한 신뢰도지수를 하나의 척도로써 종합할 수 있도록 하였다. AHP에 의한 방법은 계층을 구성하고 있는 요소들의 관계가 단순히 수직적인 구조만을 갖게되어 요소들 간의 수평적인 관계를 고려할 수 없기 때문에, 부하집단의 크기 등을 반영할 수 없는 단점을 갖고 있었다. 따라서, 본 연구에서는 부하집단 요소들을 클러스터라는 단위로 집산화하고, 이들 클러스터를 가중 처리하여 수평적인 평가를 할 수 있는 ANP라는 기법을 전력계통의 배전신뢰도산정에 처음 적용하였다.

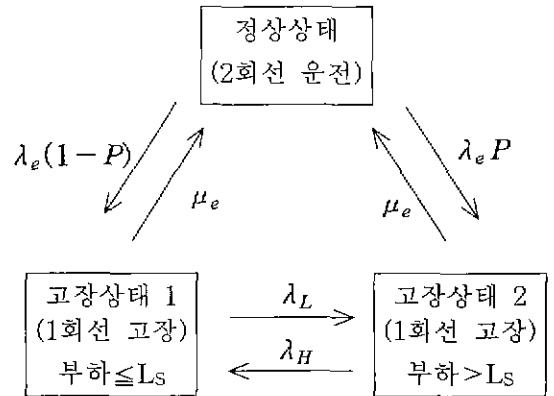
제안한 방법을 인천국제공항의 배전계통에 적용하여 본 연구의 유용성을 검증하였다.

2. PLOC를 고려한 신뢰도 계산

지금까지 배전계통의 신뢰도계산은 TLOC만을 대상[4][6]으로 하고 있으며, 계산방법으로는 계통축약법과 고장모드-효과분석법[1][4]을 주로 사용하고 있다. 그러나 일부 선로의 고장 등으로 과도한 전압강하나 선로과부하가 발생하는 경우에는 일부설비에만 전력이 공급되어 전체설비의 정상적인 운전이 불가능하게 된다. 그러므로 이와 같은 상태를 의미하는 PLOC[1][2]를 TLOC와 함께 고려하여 설비신뢰도를 계산하여야 실제적으로 계통에서 발생할 수 있는 모든 상황을 고려할 수 있게 된다.

일례로서, 2회선 병렬회로를 통해 전력을 공급받는 경우를 살펴본다. 우선, TLOC만을 대상으로 할 때에는 2회선중 어느 한 선로에 고장이 발생해도 전력공급이 가능하기 때문에, 2회선 모두 고장이 발생

하는 경우에만 전력공급에 지장이 있다고 할 수 있다. 그러나, 1회선 고장이라도 전력을 공급하는 다른회선의 용량이 충분치 못할 경우에는 정상적인 전력의 공급이 불가능하다. 1회선만 고장이 발생하였을 상황에 대한 부하 및 선로의 상태를 그림 1에 나타내었다.



여기서,

$$\mu_e = 1/r_e$$

λ_e : 각 고장상태별 고장율

r_e : 사고상태에서의 평균지속시간 [h]

L_s : 고장상태동안 해당 부하에 공급될 수 있는 최대전력 [MW]

P : 부하가 L_s 보다 클 확률

λ_H : 고장상태 2에서 고장상태 1로의 천이율

λ_L : 고장상태 1에서 고장상태 2로의 천이율

그림 1. 2회선 선로에서 1회선 고장시의 상태도
Fig. 1. State diagram of 1 circuit failure at 2 circuit line

그림 1에서 고장이 발생하지 않은 선로의 용량이 충분한 경우(고장상태 1)에는 다른회선의 고장에도 불구하고 전력공급에 지장이 없어 TLOC만을 대상으로 한 경우와 동일하다. 그러나 1회선 고장시, 고장이 발생하지 않은 다른 선로의 용량만으로 충분한 전력을 공급할 수 없어 제한적으로만 전력을 공급하는 상태(고장상태 2)가 존재하는데, 이때의 상태가 PLOC상태이다.

본 연구에서는 PLOC를 고려하기 위한 계산절차를 다음으로 하였다.

[단계 1] TLOC의 경우에 대한 신뢰도의 계산

고장모드-효과분석법을 사용하여 모든 경우의 고장조합을 설비별로 결정하고, 이를 이용하여 계통의 모든 전력설비에 대하여 TLOC만을 대상으로 한 신뢰도를 계산한다.

[단계 2] 고장조합별 조류계산에 의한 PLOC대상 결정

단계 1에서 결정된 모든 경우의 고장조합에 대하여 각 고장조합별 조류계산을 통하여 전압기준치를 초과하는 전압강하, 선로용량기준치를 초과하는 조류등이 발생하는 조합을 추출하고, 이러한 조합을 PLOC대상으로 결정한다.

[단계 3] PLOC에 해당하는 고장조합별 기본신뢰도 값의 산정

단계 2에서 결정된 PLOC 대상에 대한 i 조합의 기본신뢰도 값 λ_i, r_i, U_i 및 공급지장전력 L_i , 전력량 E_i 를 계산한다. 이때, r_i 의 결정에는 재폐로 여부가 영향을 미치게되는데, 본 연구에서는 수리완료시까지 재폐로가 되지 않는다고 가정하고 계산하였다. i 조합에 대한 기본신뢰도를 산정하기 위하여 그림 1의 $\lambda_e, \mu_e, r_e, L_s, P, \lambda_H, \lambda_L$ 를 $\lambda_{ei}, \mu_{ei}, r_{ei}, L_{si}, P_i, \lambda_{Hi}, \lambda_{Li}$ 로 하였다.

$$\lambda_i = \lambda_{ei} P_i + \lambda_{ei} (1 - P_i) \lambda_{Li} \frac{r_{ei} r_{Li}}{r_{ei} + r_{Li}} \quad (1)$$

$$r_i = r_{ei} \quad (2)$$

$$U_i = \lambda_i r_i \quad (3)$$

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

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

여기서,

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

$$r_{Li} = \frac{1}{\lambda_{Li}}$$

$L_{i(t)}$: 부하가 큰 순서로 정리한 후의 시간대별 부하의 크기[MW]

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

[단계 4] 각 전력설비에 대한 PLOC대상 신뢰도 계산

단계 3에서 구한 기본신뢰도는 고장조합별로 계산된 값이므로, 개개의 전력설비에 대한 PLOC대상 신뢰도를 다음으로 구한다.

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

$$U_p = \sum_{i=1}^n U_i$$

$$r_p = U_p / \lambda_p \quad (6)$$

$$E_p = \sum_{i=1}^n E_i$$

$$L_p = E_p / U_p$$

여기서,

$\lambda_p, U_p, r_p, E_p, L_p$: PLOC대상 신뢰도

n : 해당 전력설비가 갖고있는 고장조합의 수

[단계 5] 종합신뢰도의 계산

PLOC대상이 아닌 설비의 신뢰도는 TLOC만으로, PLOC대상인 설비의 신뢰도는 식(7)로서 TLOC의 상태와 PLOC의 상태를 모두 고려한 신뢰도를 계산한다.

$$\lambda = \lambda_t + \lambda_p$$

$$r = r_t + r_p \quad (7)$$

$$U = \lambda r$$

여기서,

λ_t, r_t : TLOC 대상 신뢰도

[단계 6] 신뢰도지수 계산

계통성능의 평가, 수용가능한 신뢰도의 기준 설정, 계통상황에 대한 예측 등을 수행하기 위하여 복잡적으로 신뢰도를 평가할 수 있는 지수[4]를 계산한다.

PLOC를 고려한 배전계통의 신뢰도 계산 및 ANP에 의한 종합적 평가

이들 지수로는 수용가중심의 지수인 SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI와 에너지중심의 지수인 ENS, AENS를 사용하였다[1].

3. ANP에 의한 종합적인 평가

계통의 운전자 및 계획수립자가 합리적인 의사결정을 하기 위하여는, 앞서 계산한 다양한 성질을 가지는 여러 가지 종류의 신뢰도지수를 단일한 통합적인 지수값으로 계산할 필요가 있다. 이와 같은 지수의 통합을 위한 기법으로 최근 ANP기법이 개발되어 사용되고 있다.

그림 2는 일례로써 ANP[8]에 의한 종합적인 평가 구조를 나타낸 것이다.

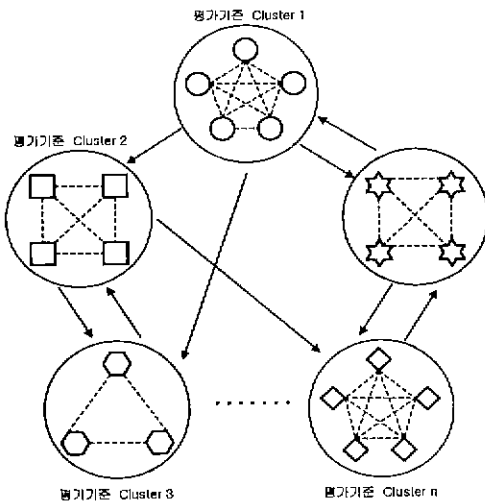


그림 2. ANP의 구조
Fig. 2. Structure of ANP

ANP는 그림 2와 같이 유사한 특성을 갖는 요소들을 평가대상, 평가기준1, ..., 평가기준 n의 클러스터로 그룹화한다음, 이들 요소간의 관계, 클러스터간의 관계로서 종합 평가하는 방법이다. 그림 2에서 클러스터내의 점선은 요소간의 관계를 의미하며, 실선은 클러스터간의 관계를 의미한다.

ANP를 사용하여 배전계통의 종합적인 중요도를 구하기위한 간략한 산정과정은 다음에 나타내었다.

[단계 1] 평가대상, 평가기준 요소 및 클러스터의 구성

종합적인 평가를 하고자 하는 것은 부하집단별 신뢰도이므로, 부하집단 1~6의 신뢰도지수를 요소로 하고, 이들 요소로 평가대상 클러스터인 부하 클러스터를 구성하였다. 또한 평가기준으로는 수용가 클러스터와 에너지 클러스터를 구성하였으며, 이들 클러스터의 요소로는 SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI와 ENS, AENS로 각각 구성하였다.

[단계 2] 각 요소간의 관계 정립(자체 및 상호관계행렬의 구성)

우선, 부하 클러스터에 대하여는 각 부하집단별 크기를 사용하여 부하-부하 행렬을 구성하였다. 또한, 평가기준으로 여러 전력회사에서 사용하는 각 신뢰도지수의 사용빈도를 이용하여는, 수용가 클러스터의 구성요소인 SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI의 사용빈도를 이용하여 수용가-수용가 행렬을 구성하였으며, 에너지 클러스터의 구성요소인 ENS, AENS의 사용빈도를 이용하여 에너지-에너지 행렬을 구성하였다. 아울러, 각 부하집단별 신뢰도지수의 크기의 상관관계로부터 부하-수용가, 부하-에너지, 수용가-부하, 수용가-에너지, 에너지-부하, 에너지-수용가행렬을 구성하였다.

본 연구에서 사용한 ANP모델을 그림 3에 나타내었다.

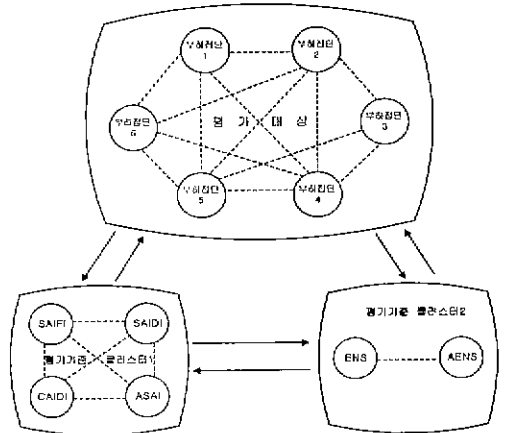


그림 3. 신뢰도 평가를 위한 ANP 모델
Fig. 3. ANP model for reliability evaluation

[단계 3] 초행렬(Supermatrix) 구성

단계 2에서 구성된 각 행렬을 정리하면 표 1과 같다. 이와 같이 구성된 통합행렬이 초행렬이다.

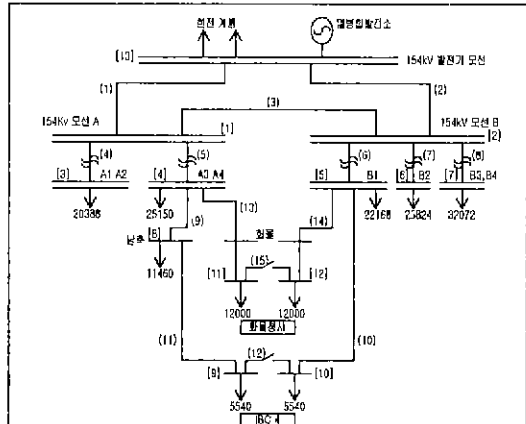
표 1. 신뢰도모델의 초행렬
Table 1. Supermatrix of reliability model

		부하	수용가 지수	에너지 지수
부하	부하	부하	부하	부하
수용가 지수	수용가 지수	수용가 지수	수용가 지수	수용가 지수
에너지 지수	에너지 지수	에너지 지수	에너지 지수	에너지 지수

4.1 인천국제공항의 특성자료

(1) 인천국제공항 배전시스템의 구성

인천국제공항 배전시스템의 개략적인 구성도 및 최대부하를 그림 4에 나타내었다.



[*] : 모선 (*) : 선로

그림 4. 인천국제공항의 계통 및 최대부하
Fig. 4. Incheon international airport distribution system and its maximum load

(2) 각 기기별 신뢰도자료 및 계통자료[7]

각 기기별 신뢰도자료인 λ_i , r_i 는 기존의 옥외 설비를 기준으로 IEEE에서 조사한 실적자료[9]를 사용하였다. 또한, 계통자료로는 실제계통자료를 사용하였으며, 이중 PLOC대상인 부하점에 대한 특성자료만을 표 2에 나타내었다.

[단계 4] 가중 행렬(Weighted matrix)의 구성 및 적용

단계 3에서 구성된 초행렬은 요소간, 클러스터간의 관계를 종합적으로 나타낸 것이라 할 수 있다. 여기에 클러스터별로 가중치를 설정할 수 있는데, 이 가중치를 사용하여 특정 평가기준 또는 평가대상을 강조하여 평가할 수 있도록 한 것이 가중행렬이다. 가중행렬의 클러스터별 값을 초행렬의 각 클러스터의 요소에 곱해 가중 초행렬을 계산한다.

[단계 5] 수렴화(Limiting), 정규화(Normalize) 및 중요도 결정

단계 4의 가중초행렬을 수렴화과정[8]을 통해 수렴화한 다음, 클러스터별 정규화를 통해 중요도를 계산한다. 이 과정을 거치면 부하의 중요도가 구해지게 되는데, 이 중요도가 종합적인 평가지수가 되는 것이다.

4. 사례연구

본 연구에서는 대규모 배전시스템인 인천국제공항에 대하여 PLOC를 고려한 신뢰도를 계산하고 ANP를 사용하여 종합적인 평가를 한 다음, 이를 분석하였다.

표 2. 부하점의 특성자료 (PLOC 대상)
Table 2. Characteristic for load point (PLOC)

송진점	부하	선로	선경 [mm]	용량 [Kw]	길이 [Km]	R	X	부하 [KW]	
								최소	최대
B1	HBC 4	B1 부하	200	10000	2.1	0.090101	0.044450		
A3	HBC 4	A3 남측	600	20000	5.6	0.080090	0.118533	5540	11080
		남측 부하	200	10000	2.1	0.090101	0.044450		
A4	화물청사 1,2,3,4	A4 화물	600	20000	2.6	0.037185	0.065033		
		화물청사	600	20000	1.6	0.022883	0.033867		
B1	화물청사 1,2,3,4	B1 화물	600	20000	2.8	0.040045	0.059267	12000	24000
		화물청사	600	20000	1.6	0.022883	0.033867		

PLOC를 고려한 배전계통의 신뢰도 계산 및 ANP에 의한 종합적 평가

또한, 표 3과 같이 각 전력회사들이 사용하는 신뢰도지수의 사용정도를 집계하였다[1].

표 3. 전력회사별 신뢰도지수의 사용정도
Table 3. Usage of reliability indices of power utilities

	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ENS	AENS
전력회사	20	22	16	23	11	11

(3) 부하의 종류

인천국제공항의 부하는 부하의 중요성과 전력공급 방식에 따라 다음과 같은 6개의 부하집단으로 구분하여 구성하였다. 여기서, 대규모부하는 터미널 등과 같이 개개의 규모가 큰 부하를 선정하였으며, 소규모부하는 가로등과 같이 개개의 규모가 작은 부하로 선정하였다. 따라서, 소규모부하라 하더라도 부하의 개수가 많기 때문에, 반드시 부하의 크기가 작은 것은 아니다. 또한, 부하집단 1,4는 전력공급점이 1개인 부하를, 부하집단 2,5는 전력공급점이 2개인 부하를, 부하집단 3,6은 전력공급점이 3개 이상인 부하로 구성하였다.

표 4. 각 부하집단의 구분 및 부하의 크기
Table 4. Classification of each load group and load

전원의수	대 규모			소 규모		
	1	2	3	1	2	3
구분	부하집단 1	부하집단 2	부하집단 3	부하집단 4	부하집단 5	부하집단 6
부하의 크기	51,500	17,964	37,680	2,047	39,312	23,639

4.2 PLOC를 감안한 신뢰도 및 신뢰도 지수 계산결과

4.2.1 신뢰도 계산결과

PLOC와 관련된 신뢰도를 평가하기 위하여 발생 가능한 모든 경우에 대하여 조류계산을 시행하고 각 부하에 공급되는 전압과 선로의 조류를 검토해 본 결과, 계통의 전압강하는 최대 3.8%로 문제가 없었으며, 부하집단 2에 속한 IBC 4 와 부하집단 5에 속한 화물청사 만이 PLOC 대상으로 나타났다. 따라서, 이 부분에 대하여 PLOC를 식(1)~식(5)로 계산한 결과를 표 5에 나타내었다.

표 5. PLOC 계산결과
Table 5. PLOC calculation results

고장조건	L _s [Kw]	P	r _B [hr]	λ _e	r _r	λ _H	λ _L	r _L	λ	U	L [Mwh]	E [Mwh/yr]	
													IBC 4
IBC 4	①	10,000	0.195	468	0.3151	90.00	0.214	0.0518	19.32	0.27039	24.335	540	13141
	②	10,000	0.195	468	0.1918	138.28	0.214	0.0518	19.32	0.17172	22.028	540	11895
	합계					104.87			0.44211	46.363	540	25036	
화물청사	①	20,000	0.333	7,992	0.3336	84.85	0.12520	0.0636	15.98	0.33037	28.032	2000	59364
	②	20,000	0.333	7,992	0.3173	92.59	0.12520	0.0636	15.98	0.28597	26.478	2000	52956
	합계					88.44			0.61634	54.510	2000	109320	

표 2 및 표 5로부터 IBC 4 와 화물청사는 두 개의 선로가 모두 가동중일 때는 정상적인 운전이 가능하지만, 어느 한 선로가 차단되었을 때에는 최대부하가 11.08[MW]와 24.0[MW]로 선로 용량인 10[MW]와 20[MW]를 초과하여 정상적인 운전이 불가능하며, 따라서 표 5의 P와 같이 하루중 IBC 4는 19.5%, 화물청사는 33.3%동안은 부하를 만족시킬 수 없다. 이와 같이 구한 PLOC는 표 5의 음영부분과 같다. 또한, PLOC를 고려하여 신뢰도를 계산한 결과를 표 6에 나타내었다.

표 6. PLOC를 고려한 신뢰도
Table 6. Reliability considering PLOC

항목	λ	r	U	비고
IBC 4	TLOC	0.00269658	139.03	0.37491
	PLOC	0.44211000	104.87	46.36300
	합계	0.44480658	105.08	46.73899
화물청사	TLOC	0.00356623	112.29	0.40044
	PLOC	0.61634000	88.44	54.51000
	합계	0.61990623	88.58	54.90955

위의 결과들로부터 이들 부하점은 두 개의 선로를 통해 공급받기 때문에 TLOC만을 고려하는 경우에는 이들 선로 둘다 고장이 발생하거나, 수전단 모선에 고장이 발생하는 경우에만 전력을 공급받지 못하게 되어 λ가 매우 낮게 계산된다. 그러나, 전력공급이 가능하나 충분치 못한 경우인 PLOC를 감안하게 되면, λ가 상당히 높아지게 됨을 알 수 있다.

즉, PLOC를 감안함으로써 실제의 상황도 정확하게 반영한 신뢰도를 계산할 수 있게 된다.

4.2.2 신뢰도지수 계산결과

앞에서 계산된 TLOC만을 고려한 경우와 PLOC까지도 고려한 경우에 대해 각종 신뢰도지수를 산정한 결과를 표 7에 나타내었다.

표 7. 배전신뢰도지수 산정결과
Table 7. Distribution reliability indices

신뢰도 지수	수용가중심지수				에너지중심지수		비고
	SAIFI [회수/수용가]	SAIDI [h/수용가]	CAIDI [h/수용가]	ASAI	ENS [MWh]	AENS [kWh/수용가]	
부하집단 1	0.2294056	26.886026	116.980069	0.9999365	138.0	697.0	
부하집단 2	0.0022546	0.366246	162.44450	0.9999582	6.5	21.7	①
부하집단 3	0.1502517	15.835100	185.30048	0.9981923	520.5	1734.9	②
부하집단 4	0.0011230	0.294639	320.99976	0.9999664	11.1	29	
부하집단 5	0.2974816	28.47109	95.70709	0.9997409	95.9	1917.2	
부하집단 6	0.0038875	0.39721	113.89442	0.9999547	15.0	30.4	①
부하집단 7	0.2530423	22.45907	88.783212	0.9974351	1323.2	2678.6	②
부하집단 8	0.0011338	0.29477	259.99989	0.9999664	7.0	21.1	
계통전체 신뢰도	0.0382317	8.036877	117.78804	0.9990625	1515.5	217.2	①
	0.0322579	10.263028	111.25252	0.9988288	3337.7	478.2	②

- ① : TLOC 로 계산
- ② : TLOC+PLOC 로 계산

PLOC대상 부하가 없는 부하집단 1,3,4,6는 TLOC만으로도, PLOC 대상 부하인 IBC 4와 화물청사를 갖고 있는 부하집단 2,5는 PLOC를 감안한 신뢰도를 계산하였을 때에만 실제상황을 반영한 지수를 계산할 수 있었다. 부하집단 2,5는 PLOC를 감안함으로써 신뢰도가 나빠지고 있는데, 이는 지수가 나빠진다고 보다는 실제상황을 반영함에 기인하는 것이라 할 수 있다. 이중, 부하집단 5는 부하집단 4와 큰 차이가 없을 정도로 신뢰도지수가 나빠지고 있는데, 이는 화물청사의 최대부하가 24[MW](부하집단 5의 최대 부하: 39.312[MW])로 매우 커서 지수에 크게 영향을 미치기 때문이다.

4.3 ANP에 의한 종합적인 신뢰도의 평가

본 연구에서는 ANP를 사용하여 종합적인 신뢰도를 평가하고, 이를 AHP를 사용한 방법[6]과 비교하였다. 우선, 표 7의 신뢰도지수와 표 3의 신뢰도지수의 사용정도로부터 단계 1~단계 3의 과정을 거쳐

표 8과 같은 초행렬을 구성하였다.

표 8. 신뢰도모델의 초행렬
Table 8. Supermatrix of reliability model

클러스터	부 하						수 용 가				에 너 지		
	요소	1	2	3	4	5	6	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ENS	AENS
부하	1	0.000	0.324	0.333	0.308	0.377	0.343	0.243	0.278	0.125	0.163	0.435	0.633
	2	0.149	0.000	0.136	0.166	0.132	0.120	0.161	0.168	0.136	0.167	0.150	0.240
	3	0.312	0.244	0.000	0.221	0.237	0.237	0.012	0.031	0.283	0.157	0.033	0.000
	4	0.010	0.013	0.012	0.000	0.015	0.013	0.191	0.322	0.103	0.164	0.037	0.219
	5	0.329	0.253	0.234	0.231	0.000	0.227	0.214	0.235	0.237	0.165	0.374	0.322
	6	0.159	0.153	0.178	0.139	0.178	0.000	0.012	0.032	0.232	0.157	0.021	0.030
수용가	SAIFI	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.249	0.000	0.340	0.377	0.348	0.249	0.249
	SAIDI	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276	0.307	0.000	0.385	0.333	0.276	0.276
	CAIDI	0.195	0.195	0.195	0.195	0.195	0.195	0.232	0.271	0.000	0.273	0.195	0.195
	ASAI	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.370	0.389	0.338	0.000	0.280	0.280
에너지	ENS	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.000	1.000
	AENS	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	1.000	0.000

표 8의 초 행렬에서 부하-부하, 부하-수용가 등 9개의 블록은 각 클러스터 내부의 관계 및 클러스터 간의 관계로, 가중치로 나타내게 되는데, 이들 블록을 살펴보면 다음과 같다. 우선, 각 블록의 대각선은 '1'으로 나타나며, 이는 각 요소는 자신에 영향을 미치지 않음을 나타내고 있다. 또한, 블록내의 요소를 수직으로 더하면 '1'이 됨을 알 수 있는데, 이는 가중치로 나타나기 때문이다. 즉, 이 초 행렬은 각 블록별로 클러스터 내부 및 클러스터간의 관계를 가중치로 나타낸 것이라 할 수 있다.

또한, 단계 4에서 가중행렬을 구성하여야 하는데, 본 연구에서는 부하에 대한 영향을 알아보기 위하여 가중행렬 요소중 부하-부하클러스터만을 변화시키고, 기타의 클러스터는 모두 1로 하였다. 단계 5를 거쳐 중요도를 산정한 결과를 그림 5에 나타내었다.

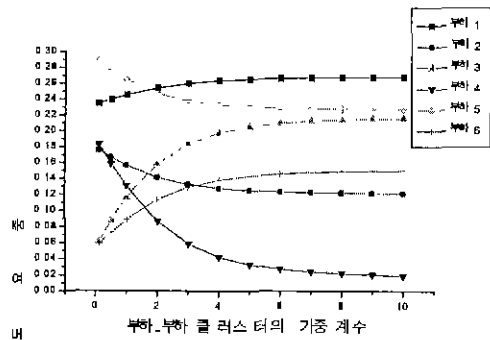


그림 5. 가중행렬의 변화에 따른 부하집단의 중요도
Fig. 5. Importance Indices for load group via change of weighted matrix

그림 5로부터 ANP에 의한 결과를 AHP에 의한 결과와 비교하기 위하여 부하-부하 클러스터의 가중치가 5인 경우에 대해 계산한 중요도를 표 9에 나타내었다.

표 9. AHP 및 ANP에 의한 부하집단별 중요도의 계산결과

Table 9. Results of Importance indices for load group via AHP and ANP

방 법		부하 1	부하 2	부하 3	부하 4	부하 5	부하 6
AHP	중요도	0.2210	0.1649	0.0794	0.2155	0.2398	0.0794
	순 위	②	④	⑤	③	①	⑥
ANP	중요도	0.2651	0.1247	0.2049	0.0324	0.2304	0.1426
	순 위	①	⑤	③	⑥	②	④

우선, 표 9의 AHP에 의한 중요도를 살펴보면, 대규모부하인 부하집단 1,2,3에서는 전력공급점이 하나인 부하집단 1이 중요도가 가장 크며 전력공급점이 3개인 부하집단 3의 중요도는 가장 작게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 전력공급점이 하나인 부하를 개선하였을 때 신뢰도의 향상이 두드러짐을 의미한다. 반면, 소규모부하인 부하집단 4,5,6에서는 대규모부하와 달리 전력공급점이 2개인 부하집단 5에서 가장 크게 나타나고 있다. 이는, 부하집단 2에는 PLOC에 해당되는 IBC 4가 있음에도 IBC 4의 부하가 순서를 바꿀정도로 크지는 않은 반면, 부하집단 5의 부하에 있는 화물청사는 부하가 상당히 커서 순서에 영향을 미치기 때문이다.

반면, ANP에 의한 중요도를 살펴보면 AHP에 의한 결과와 사뭇 다름을 알 수 있는데, 이는 ANP가 부하의 상대적 크기를 감안하기 때문이다. 즉, 전원의 수가 작을수록, 또한 부하가 클수록 계산된 중요도는 크게 나타나게 된다. 우선, 부하집단 1,2,3에서 중요도는 $1>2>3 \Rightarrow 1>3>2$ 로 변화한다. 여기서 부하집단 2와 부하집단 3의 순위가 바뀌고 있는데, 이는 부하집단 2의 크기가 부하집단 3의 크기에 비해 상당히 작기 때문이다. 또한, 소규모 부하인 부하집단 4,5,6에서 $5>4>6 \Rightarrow 5>6>4$ 로 변화하는데, 이는 부하집단 4의 크기가 매우 작아 부하집단 4를 개선해도 신뢰도의 증가가 미미하기 때문이다. 즉, 부하가 클수록 전력공급점을 늘렸을때의 효과가 큼을 알 수 있다.

그림 5에서 부하-부하의 가중치를 작은 값인 0.1

로 주었을 경우에는 AHP로 계산하였을 때와 마찬가지로 $5>1>4>2>3>6$ 의 중요도를 나타내고 있음을 알 수 있다. 그러나, 가중치를 크게함에 따라 부하가 상대적으로 큰 부하집단 1,3,6은 점차 중요도가 높아지고 있는 반면, 부하가 상대적으로 작은 부하집단 2,4는 점차 중요도가 낮아지고 있어 가중치를 크게 함에 따라 부하의 크기를 반영할 수 있음을 알 수 있다. 여기서 부하집단 5는 부하가 상대적으로 큼에도 불구하고 중요도가 다소 낮아지고 있는데, 이는 부하집단 1,3,6의 증가에 따른 상대적인 하락이라 할 수 있다. 이러한 결과들로부터 부하집단별 부하의 크기까지도 고려하여야만 정확하게 신뢰도를 평가하고, 보강계획을 수립할 수 있음을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 인천국제공항의 배전계통에 대하여 PLOC를 계산하고, ANP에 의해 종합적인 평가를 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) TLOC만을 대상으로 신뢰도를 계산하는 방법에서 진일보하여 PLOC까지도 감안하여 신뢰도를 계산할 수 있도록 하였으며, 이를 인천국제공항의 배전계통에 적용하였다. 그 결과, TLOC만으로는 정확한 계산이 불가능하였던 IBC 4 및 화물청사에 대한 신뢰도까지도 정확히 계산할 수 있었다.

(2) TLOC에 기반을 둔 신뢰도와 PLOC를 감안한 신뢰도 모두에 대하여 배전신뢰도지수를 계산하고 비교한 결과, PLOC 대상 부하점이 있는 부하집단 2와 부하집단 5만이 신뢰도지수에 영향을 받고 있었으며, 또한 계통 전체의 신뢰도에도 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 따라서 신뢰도와 마찬가지로 신뢰도지수도 PLOC를 고려하여야만 정확하게 계산할 수 있음을 알 수 있었다.

(3) ANP를 사용하여 종합적인 중요도를 산정함으로써 AHP에서 사용하던 신뢰도지수 및 전력회사들의 신뢰도지수 사용실적뿐만 아니라, 부하집단의 크기까지도 감안한 중요도를 계산할 수 있었다. 이 결과, 부하의 크기가 큰 부하를 보강할 경우에 보다 효과적임을 알 수 있었으며, 각 클러스터의 수평적 관계까지도 고려할 수 있는 ANP를 사용하여야 보다 타당한 종합적 평가를 할 수 있음을 알 수 있었다.

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 기술 제안서", 1998
- [4] 이범, 김용하, 최상규, "산업계통의 신뢰도산정에 관한 연구", 에너지공학, 제 8권 제 호, 1999. 9.
- [5] Marija D. Ilic, Shell Liu, "Hierarchical Power Systems Control - Its Value in a Changing Industry", Springer, 1996.
- [6] 김용하, 이범, 최상규, 정영식, 문정호, "인천국제공항 배전계통의 신뢰도 평가에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 제 48권 제 10호, 1999. 10.
- [7] 신공항건설공단, "인천국제공항 수배전 기본설계 재정리 보고서", 1997.
- [8] Thomas L. Satty, "The Analytic Network Process : Decision Making with Dependence and Feedback", RWS Publications, 1996.
- [9] IEEE, "IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems", IEEE, ANSI, 1991.

◇ 저자소개 ◇

이 범 (李范)

1959년 10월 28일생. 1981년 고려대 전기공학과 졸업. 1989년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 동대학원 전기공학과 졸업(박사) 1995년~현재 여주대학교 전기 및 반도체공학과 조교수.

김 용 하 (金龍河)

1959년 5월 16일생. 1982년 고려대 전기공학과 졸업. 1987년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992년~현재 인천대학교 전기전자공학부 부교수.