

인천국제공항의 신뢰도 산정에 관한 연구

김용하 이 범 최상규 노대석 문정호 민성준
 인천대 여수대 안양과학대 창원대 신공항건설공단

Research of Reliability Assessment for Incheon International Airport

Yong-ha Kim Buhm Lee Sang-kyu Choi Dae-seck Roh Jeong-ho Moon Sung-jun Min
 Incheon Univ. Yosun N. Univ. Anyang T. College Changwon N. Univ. K.A.C.A.

Abstract - This paper presents a reliability assessment for Incheon International Airport. Reliability of electrical parts and load points is calculated through Network reduction method and Failure modes & effective analysis method. And reliability indices of distribution system is calculated. By using reliability and reliability indices, assessment of distribution system of Incheon International Airport is executed. This results makes it possible to improve reliability.

1. 서 론

계통의 신뢰도 평가는 주로 전원계통에 대하여서 이루어지고 있으며 복합계통이나 배전계통에 대한 연구는 이에 반하여 미미한 실정으로, 지금까지는 확정론적인 방법에 의한 배전계통 신뢰도 평가에 관한 연구가 주로 진행되어 왔다. 현재 공항 등과 같은 독립된 산업 시스템의 배전계통의 신뢰도 평가는 주로 조류계산을 통하여 전압강하 및 선로용량의 한계성을 계산하고 이들에 문제가 발생하지 않는 경우 계통의 신뢰도가 우수한 것으로 막연히 평가하고 있는 실정이다. 그러나 이러한 평가방법으로는 구체적으로 얼마만큼 신뢰도가 우수한 것인지 정량적으로 신뢰도를 평가 할 수 없으며 설비의 구성상태가 달라지면 얼마만큼 신뢰도에 영향을 미치는지를 알 수가 없기 때문에 객관적이고 정량적인 계통의 신뢰도를 표현할 수 있는 방법의 개발이 필수적이라 하겠다. 그러므로 본 연구에서는 이를 위한 기초적인 연구로서 확정론적인 적정성의 평가[1][2]에 기반을 두고 설계되어진 배전계통에 대하여 계통의 신뢰도를 다각적인 지수를 사용하여 정량적으로 평가하였으며, 이들의 다양한 지수를 의사 결정자의 중요성 판단에 근거하여 하나의 정량화된 지수로서 이를 모두의 신뢰도지수를 대표할 수 있는 방법을 계층화 의사결정법을 이용하여 구하도록 하였다. 이 결과 각 설비부분에서의 신뢰도 평가를 통하여 시스템 전체의 신뢰성이 균일한 수준으로 설계되었는지도 평가할 수 있으며 이로서 시스템의 약점이나 보강계획등도 명료하게 판단할 수 있게 하였다. 본 연구에서는 제안한 방법을 대규모 부하이면서도 독립된 계통특성을 갖고 있는 인천국제공항의 배전계통[3]에 적용하여 신뢰도를 정량적인 방법으로 평가하여 본 연구의 유용성을 검증하였다.

2. 신뢰도 산정

2.1 설비신뢰도의 표현

전기설비가 어느 정도나 고장이 발생할 개연성이 있는 지에 대한 평가를 위하여 연간고장률 λ 와 고장지속시간 r 를 사용하였다.

2.2 신뢰도의 계산

2.2.1 직렬 및 병렬계통

(1) 직렬계통의 신뢰도[1]

$$\lambda_s = \sum \lambda_i$$

$$U_s = \sum \lambda_i r_i$$

$$r_s = U_s / \lambda_s$$

여기서, λ_i : 배전선로 i 기기의 연간고장율
 r_i : 배전선로 i 기기의 고장지속시간

(2) 병렬계통의 신뢰도[1]

$$\lambda_p = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2)}{1 + \lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2} \approx \lambda_1 \lambda_2 (r_1 + r_2)$$

단, $\lambda_i r_i \ll 1$

$$r_p = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$$

$$U_p = \lambda_p r_p = \lambda_1 \lambda_2 r_1 r_2$$

2.2.2 신뢰도의 계산법

(1) 계통축약법

계통 축약법은 직렬 및 병렬계산의 반복으로서 차례로 계통을 하나의 등가요소로서 축약시켜나가는 방법으로, 계통의 구성상태에 따라서 식(1) 및 식(2)를 이용하여 계속적으로 계통을 축약시켜 나가는 방법이다. 이 방법은 간략하게 계통의 신뢰도를 산정 하고자 하는 경우 많이 이용되고 있으나 계통의 구성이 단순하게 직렬 및 병렬만의 표현으로 불가능한 경우는 사용하기가 곤란하며 계통의 축약부분이 커질수록 실제적인 계통의 상태를 정확하게 반영할 수가 없는 단점도 있다.

(2) 고장모드-효과 분석법

고장모드-효과 분석법은 minimal cut set 이론에 근거하고 있다. 고장모드란 계통을 구성하고 있는 설비의 중복고장으로 인하여 수전점에 완전히 전력이 공급되지 못하는 경우를 의미한다. 이러한 경우는 병렬시스템에서 주로 발생하게 되며 2개의 설비가 병렬로 연결된 경우에는 식(2)로 각 고장모드에 대한 신뢰도를 계산한다. 이와같이 계산된 각 고장모드에 대한 신뢰도를 다음과 같은 직렬회로의 계산으로서 종합화하여 계통의 전체 신뢰도를 구한다.

$$\lambda_{total} = \sum_{pp} \lambda_{pp}$$

$$U_{total} = \sum_{pp} U_{pp} = \sum_{pp} \lambda_{pp} r_{pp}$$

$$r_{total} = \left(\sum_{pp} U_{pp} \right) / \left(\sum_{pp} \lambda_{pp} \right)$$

여기서 λ_{pp} , r_{pp} 는 전기를 공급할 수 없는 각 고장모드의 고장율 및 고장지속시간

2.3 배전계통의 각종 신뢰도 지수(1)

계통에는 다양한 크기의 부하가 연결되어 있기 때문에, 각각의 부하에 대한 신뢰도 이외에도 이들 부하에 대하여 복합적으로 신뢰도를 평가할 수 있는 지수를 계산할 필요가 있는데, 이러한 지수는 ① 계통의 성능을 평가하고, 취약지역을 보강하는데 사용될 수 있으며, ② 수용 가능한 신뢰도 평가의 기준을 설정하는데 사용될 수 있으며, ③ 실제의 계통운전을 수행하기 이전에 계통 상황에 대한 예측을 수행 할 수 있다. 이들 지수는 수용가중심과 에너지중심의 지수로 나누어진다.

- (1) 수용가중심지수
 - 계통평균고장빈도 (SAIFI)
 - 계통평균고장지속시간 (SAIDI)
 - 수용가평균고장지속시간 (CAIDI)
 - 평균공급능력 (ASAI, ASUI)
- (2) 에너지중심지수
 - 에너지 불공급지수 (ENS)
 - 평균에너지 불공급지수 (AENS)

2.4 계층화의사결정법

배전계통의 신뢰도의 평가는 다양한 특성을 가지고 있는 여러가지 신뢰도지수에 의하여 평가되며, 대개의 경우 어떤 평가는 단면적이 아닌 다면적으로 이루어져야 한다. 일반적으로 이를 위한 가장 간단한 방법으로는 평가기준의 상대적인 가중치로서 평가치의 합을 구하는 다음과 같은 가법모델이 널리 이용되고 있다.

$$\sum_i w_i v_i \quad (4)$$

단, w_i : i 평가기준의 가중치 ($\sum_i w_i = 1$)
 v_i : 대체안의 i 평가기준에 대한 평가치

그러나 이질적인 평가기준에 대하여 직접 가중치를 부여하거나 물리적인 척도를 갖지 않는 정성적인 평가기준에 대해 대체안의 가중치를 직접 부여하는 것은 실질적으로 무척 어려운 일이다. 그러므로 이러한 문제를 해결하고자 계층화 의사결정법 (Analytic Hierarchy Process : AHP)법이 개발되어 널리 사용되고 있다. 계층화 의사결정법은 가중치를 주지 않고 평가기준의 일대일 비교를 통하여 어느 평가기준이 다른 평가기준에 비해 얼마만큼이나 중요한지를 결정함으로써 간접적으로 평가항목에 대한 가중치(weight)를 도출해내는 방법으로, 평가항목의 일대일 비교에서는 2가지 요소만을 비교하므로 다른 방법에 비해 그 비교가 현저하게 간단해 다른 방법에 비해 보다 현실적이고 그 적용이 용이하다는 장점이 있다. 이의 방법으로 우선 목적계층을 합리적으로 결정하고, 전체목적층을 상위계층으로 하여 보다 구체적인 항목을 하위계층으로 결정한 다음 각 목적계층에 대한 평가항목간의 일대일비교행렬 ($A = [a_{ij}]$)을 구한다. 이때 일대일비교행렬의 갯수는 직접적인 상위계층의 평가항목의 수 (n)만큼 얻어지며 이들 요소에는 다음 관계식이 성립한다.

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad \text{단, } i, j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

이와같이 각 목적계층에 대한 평가항목간의 일대일비교행렬이 구해지면

$$A \cdot \omega = \lambda \cdot \omega \quad (6)$$

의 최대고유치근 λ_{max} 에 응답하는 고유벡터 (ρ_j)를 구하여 이를 $\sum_i \rho_i = 1$ 로 정규화하여 최종적인 가중치 벡터 (ω_j)를 구한다. 이와같은 방법으로 각 계층에 대

한 고유벡터 (ω_j)가 구해지면 이들을 이용하여 각 계층간의 고유벡터를 다음으로 종합화한다.

$$[\omega_{A1}, \dots, \omega_{AN}] \times \begin{bmatrix} w_{B1,A1} & w_{B2,A1} & \dots & w_{Bn,A1} \\ w_{B1,A2} & w_{B2,A2} & \dots & w_{Bn,A2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{B1,AN} & w_{B2,AN} & \dots & w_{Bn,AN} \end{bmatrix} \quad (7)$$

단, $w_{B*,A@}$ 는 목적계층 A의 평가항목 @에 대한 목적계층 B의 평가항목*의 가중치

3. 인천국제공항의 배전계통 신뢰도 평가

3.1 배전계통 신뢰도의 산정

인천국제공항의 배전계통은 설비의 종류 및 그 구성의 상태가 다양하며 전원을 공급하기 위한 방법이 설비의 중요성에 따라 각기 다른 방식으로 구성되어 있으므로 그 특성에 맞도록 그림.1 과 같이 계통의 부분 부분에 대하여 신뢰도의 평가를 하였다. 이때 각 상위 부분의 신뢰도 결과는 하위부분의 신뢰도 계산을 위한 입력으로 사용된다.

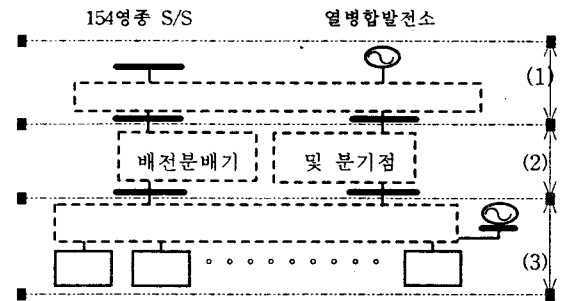


그림 1. 인천국제공항의 신뢰도계산을 위한 구간

(1) 전원 ~ 수전변전소 154Kv 모선구간

154Kv 모선은 다른 경로를 통해 전력을 공급받고 있으며, 모선사이에 선로를 확보하고 있어 계통을 축약하기 힘들며, 따라서 고장모드-효과분석법을 사용하여 신뢰도를 계산하였다. 특히, 열병합발전소의 모선은 모선의 절체로 연결 또는 분리운용이 가능하며 이러한 경우 계통 구성자체가 변경되기 때문에 모든 경우에 대하여 신뢰도를 산정하도록 하였으며, 그 중 우수한 신뢰도를 갖는 구성으로 계통이 운용되는 경우로서 신뢰도를 결정하도록 하였다.

(2) 수전변전소 154Kv 모선 ~ 배전분기점 구간

이 구간은 모두 방사상 계통으로 구성되어 있어, 계통축약법에 의해 신뢰도를 계산하였다.

(3) 부하단

인천국제공항은 다양한 부하를 갖고 있으며, 부하의 중요성에 따라 전력의 공급 방식이 다르게 구성되어 있다. 따라서 표. 1과 같이 전력공급점의 개수에 따라 설비를 분류하고, 각각에 대하여 계통축약법 및 고장모드-효과분석법을 사용하여 신뢰도를 산정하도록 하였다.

한편, 배전계통의 각종 신뢰도지수는 계통전체에 대하여 구해지게 된다. 그러나 계통의 성능을 평가하고, 취약지역을 보강하는 것을 목적으로 하는 경우에 있어서는, 계통을 구성하고 있는 부하의 특성을 고려하여 부하 특성별로 신뢰도지수를 산정하고, 이를 부하의 중요성과

함께 비교·평가하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 표. 1에서와 같은 방법으로 부하를 분류하여 각 부하종류에 대한 각종 배전신뢰도를 산정하였다.

표. 1 부하의 종류에 따른 전력공급 방식

부하 종류	전력공급점		
	주전력공급점	예비전력공급점	비상전원
부하 1	배전분배기		
부하 2	배전분배기	배전분기점	
부하 3	배전분배기	배전분기점	발전기
부하 4	배전분기점		
부하 5	배전분기점	배전분기점	
부하 6	배전분기점	배전분기점	U.P.S.

3.2 계층화의사결정법에 의한 중요도 산정

본 연구에서는 앞서 계산한 각 부하종류별로 계산된 다양한 특성을 가진 각종 배전신뢰도지수를 사용하여 계층화 의사결정법으로 부하종류별 배전종합신뢰도의 중요도를 단일화된 하나의 지수로서 정량화 할 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 하나의 정량화된 부하종류별 배전종합신뢰도의 중요도를 구하는데 목적계층A를 SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI, ENS, AENS로 하였으며, 목적계층B는 표. 1에서와 같이 구성하였다. 한편, 일대일비교행렬을 구성하는데 있어서 우선 목적계층 1의 일대일비교행렬의 구성요소는 현재 전력회사에서 어떤 종류의 신뢰도지수를 가장 많이 사용하고 있는지를 조사하여 이를 기준으로 하여 일대일 비교를 하여 결정하도록 하였다. 한편, 목적계층 2의 일대일비교행렬의 구성요소는 3.1 절에서 계산된 부하종류별 신뢰도지수의 계산결과치를 사용하여 구성하도록 하였다. 즉, 우선 배전신뢰도지수의 특성을 파악하고 각 신뢰도지수의 관점에서 어느 부하종류가 중요한지를 해당되는 신뢰도지수의 계산 결과치를 표준화하여 일대일 비교를 통하여 상대적인 중요도를 결정하였다.

4. 사례연구

4.1 인천국제공항의 배전계통 자료

본 연구에서 설비신뢰도는 IEEE에서 조사한 실적자료(4)를 사용하여 신뢰도를 계산하였다. 또한, 인천국제공항의 간략한 배전계통은 다음과 같다.

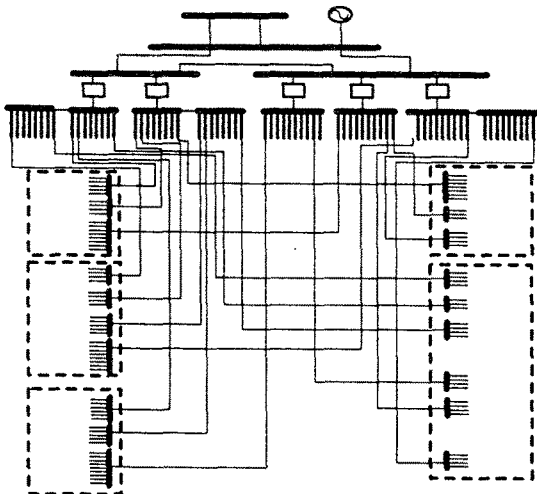


그림 2. 인천국제공항의 계통도

4.2 신뢰도 평가결과

4.2.1 배전 신뢰도의 산정

각 구간별로 신뢰도를 산정하고, 부하종류의 특성별로 신뢰도지수를 산정한 결과는 표. 2와 같다.

표. 2 배전신뢰도지수 산정결과

	수용가중심					에너지중심	
	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	ENS	AENS
부하 1	0.2294	26.83	116.98	0.9969	0.00306	1380.0	697.0
부하 2	0.0022	0.366	162.44	0.9999	0.00004	6.5	21.7
부하 3	0.0011	0.294	260.99	0.9999	0.00003	11.1	2.9
부하 4	0.2974	28.47	95.70	0.9967	0.00325	95.9	1917.2
부하 5	0.0034	0.39	113.89	0.9999	0.00004	15.0	30.4
부하 6	0.0011	0.29	259.99	0.9999	0.00003	7.0	21.1
계통전체	0.0682	8.036	117.78	0.9990	0.00091	1515.5	217.2

우선 수용가중심지수를 살펴보면, SAIFI, SAIDI, ASUI는 전력공급점이 1개인 경우보다 2개인 경우가, 2개인 경우보다 3개인 경우가 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 전력공급점이 증가할 수록, 주전력공급점에 고장이 발생해도 예비전력공급점이나 비상전원으로부터 전력을 공급받을 수 있어 부하에 전력을 공급할 수 있는 능력이 증가하고 있기 때문이라 할 수 있다. 또한 소규모 부하보다는 대규모 부하의 신뢰도지수가 감소하고 있어 규모가 클 수록 신뢰도가 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 대규모 부하일 수록 22.9Kv 배전분배기에서 직접 전력을 공급하고, 일부선로는 주전력공급점-부하를 연결하는 선로가 2회선으로 구성되어 있는 등 신뢰도저하의 원인을 줄였기 때문이라 할 수 있다. 한편, CAIDI는 SAIFI, SAIDI, ASUI와 반대로 전력공급점이 증가할 수록, 부하의 규모가 커질수록 증가하고 있음을 알 수 있다. 수용가당 고장지속시간이라 할 수 있는 SAIDI를 고장율로 나눈 값이라 할 수 있는 CAIDI는 일단 고장발생시에 얼마나 그 고장상태가 지속되는 가를 알고자 하는 것으로, 계통의 구조가 복잡할 수록, 부하의 규모가 커질 수록 고장지속시간이 길어짐을 알 수 있다. 즉, 전력공급점이 많고 규모가 큰 부하는 고장이 발생할 가능성이 매우 크게 감소하여 고장지속시간도 크게 감소하나, 일단 고장이 발생하면 고장이 지속되는 시간은 길어지게 된다. 또한 에너지중심지수로서 평균에너지불공급지수인 AENS는 SAIFI, SAIDI, ASUI와 마찬가지로 전력공급점이 증가할 수록, 부하의 규모가 커질 수록 감소하는 특성을 지니고 있음을 알 수 있다. 또한 AENS가 수용가당 공급할 수 없는 에너지량인데 반하여 에너지 불공급지수인 ENS는 공급할 수 없는 전체 에너지량을 나타낸다. 계통전체의 ENS는 각 부하군별 ENS를 합친 값과 같으며, ENS는 일반적으로 신뢰도가 증가함에 따라 감소하지만 부하의 크기가 클 수록 커지는 특성이 있다.

4.2.2 계층화의사결정법에 의한 종합신뢰도 산정

본 연구에서 계층의 수는 2개로 하였으며 계층1의 구성항목수는 6, 계층2의 구성항목수는 6개로 하였으며, 계층1 및 계층2의 최대고유치 및 고유벡터 초기치는 모두 1로 하였다. 각 부하종류별로 배전신뢰도를 산정하여 보면 표. 3과 같이 각 부하종류에 대하여 신뢰도의 중요도가 서로 다른 양상을 가지고 있으며 그 단위가 일정치 않아 어느 부하종류가 신뢰도의 측면에서 보장을 최우선적으로 요구하는지 또한 그 중요성이 다른 부하종류에 비하여 얼마나 되는지를 정량적으로 알 수 없다.

표. 3 부하종류별 배전신뢰도의 크기 순위

	대규모1	대규모2	대규모3	소규모1	소규모2	소규모3
SAIFI	②	④	⑥	①	③	⑤
SAIDI	②	④	⑥	①	③	⑤
CAIDI	④	③	①	⑥	⑤	②
ASAI	⑤	③	①	⑥	④	②
ASUI	②	④	⑥	①	③	⑤
ENS	①	⑥	④	②	③	⑤
AENS	②	④	⑥	①	③	⑤

반면, AHP에 의한 본 연구의 결과에 의하면 각 부하 종류에 대한 종합배전신뢰도의 중요도는 표. 4로 산정되었다.

표. 4 종합배전신뢰도의 중요도

	대규모1	대규모2	대규모3	소규모1	소규모2	소규모3
중요도	0.3736	0.0617	0.0735	0.3604	0.0570	0.0738
순위	①	⑤	④	②	⑥	③

신뢰도의 개선을 위한 중요도가 가장 낮은 부하를 기준으로 정규화시킨 각 부하종류의 신뢰도개선 측면에서의 중요도는 그림 3과 같다.

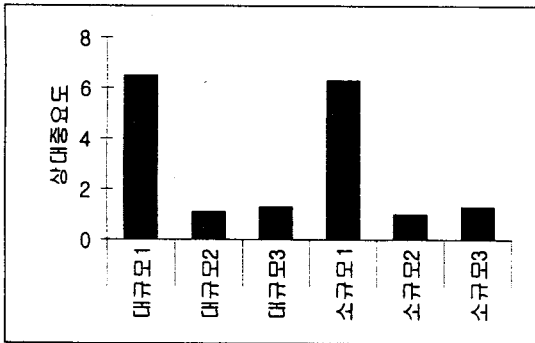


그림. 3 정규화시킨 각 부하종류의 중요도

이로서 배전신뢰도의 종합적인 측면으로 본다면 계통신뢰도의 개선을 위하여서는 대규모 1전원 부하를 보강하는 것이 가장 효과적임을 알 수 있으며 이는 소규모3전원 부하의 신뢰도를 보강하는 것에 비하여 약 5배 이상의 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 이와같은 결과로 미루어 본 인천국제공항의 신뢰도 개선을 위해서는 대규모 1전원 부하와 소규모 1전원 부하의 신뢰도를 개선하는 것이 효과가 있을 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 인천국제공항에 대하여 신뢰도를 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 인천국제공항의 배전계통에 대하여 각 설비의 특성에 적합한 방법으로 신뢰도를 계산한 결과, 방사상계통으로 구성되어 있는 각 배전분배기 및 배전분기점의 신뢰도는 직렬구간을 많이 거칠 수록 감소하며, 각 부하의 신뢰도는 전력공급점이 증가할 수록, 선로의 길이가 짧을수록, 전력공급과정 중간에 거치는 설비가 적을수록

증가함을 알 수 있었다.

(2) 계통전체에 대하여만 배전신뢰도지수를 산정하는 종래의 방법에서 진일보하여, 규모별, 전력공급방법별로 부하를 분류하고 각각의 부하종류에 대하여 각종 신뢰도지수를 산정하고 이를 종합적으로 분석한 결과, 부하의 전력공급점이 많을수록, 부하의 규모가 큰 종류일수록 신뢰도지수가 우수하게 나타나고 있어, 신뢰도를 증가시키기 위하여는 복수의 전력공급점을 설치해야 하며 부하종류의 규모를 키울 필요가 있음을 알 수 있었다.

(3) 계층화의사결정법을 도입하여 부하종류별로 계산된 배전신뢰도를 신뢰도지수의 중요도를 감안한 단일화된 하나의 지수로 정량화 할 수 있도록 하여, 부하종류별 상대중요도의 산정을 통한 계통신뢰도를 개선할 수 있는 효율적인 계통보강기준 등을 도출한 결과, 전력공급점이 1개인 대규모1전원 부하와 소규모1전원 부하를 보강하였을 때 계통의 신뢰도개선이 효과적으로 나타나고 있어 취약설비의 보강이 계통전체의 신뢰도를 효과적으로 상승시킬 수 있음을 알 수 있었다.

(4) 추후, 배전계통에 조류계산 및 제한적인 전력공급에 대한 신뢰도인 Partial Loss Of Continuity (P.L.O.C.)를 고려할 수 있는 방법을 개발하여 예비선로 및 비상전원에 대하여 보다 정확한 신뢰도를 산정할 수 있고, 보다 적절한 용량을 결정할 수 있는 기법의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

(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, Sep./Oct. 1994.
- [7] George J. Potochney, Wayne L. Stebbins, "The Application of Statistical Reliability Data in the Selection of a Utility Power Supply Scheme for an Industrial Plant", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.1A-15, No.5, pp.554-559, Sep./Oct. 1979.
- [8] Don O. Koval, "Transmission Equipment Reliability Data from Canadian Electrical Association", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.32, No.6, pp.1431-1439, Nov./Dec. 1996.
- [9] Charles R. Heising, "Quantitative Relationship Between Scheduled Electrical Preventive Maintenance and Failure Rate of Electrical Equipment", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.1A-18, No.3, pp.268-272, May/June 1982.
- [10] Luke Yu, Roy T. Beck, "Reliability and Availability Studies For Industrial Power System Analysis"
- [11] Daniel J. Love, "Reliability of Utility Supply Configurations for Industrial Power Systems", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.30, No.5, pp.1303-1308, Sep./Oct. 1994.
- [12] Daniel J. Love, "Failure Analysis of Low-Voltage Power and Control Circuits", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.27, No.5, pp.833-840, Sep./Oct. 1991.