Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2011) 25(9) : 62~68
http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2011.25.9.062

종속고장을 고려한 전력시스템의 신뢰도 평가

(Reliability Analysis of Power System with Dependent Failure)

손현일* · 권기량 · 김진오**
(Hyun-Il Son · Ki-Ryang Kwon · Jin-O Kim)

Abstract

Power system needs to sustain high reliability due to its complexity and security. The reliability prediction method is usually based on independent failure. However, in practice, the Common Cause Failures(CCF) and Cascading failure occur to the facilities in power system as well as independent failures in many cases. The CCF and Cascading failure turn out the system collapse seriously in a wide range. Therefore to improve the reliability of the power system practically, it is required that the analysis is conducted by using the CCF and Cascading failure. This paper describes the CCF and Cascading failure modeling combined with independent failure. The incorporated model of independent failure, CCF and cascading failure is proposed and analyzed, and it is applied to the distribution power system in order to examine this method.

Key Words : RCM, CCF(Common Cause Failure), Cascading Failure, Independent Failure

1. 서 론

1.1 연구의 배경

여러 산업분야에서 전통적으로 수행되어온 유지보수 계획은 설비의 수명이나 특성보다는 운영자의 편리성과 설비 자체의 보존에 초점이 맞추어져 있다. 이러한 유지보수 계획은 정비업무의 비효율과 과도한 비용지출로 이어질 수 있다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위해 최근에는 정비업무의 효율을 높일 수 있는 기법인 신뢰도 기반 유지보수(RCM : Reliability Centered Maintenance)에 대한 연구가 각 분야에서 이루어지고 있다[1].

그동안 이러한 신뢰도를 산출하기 위해 RBD (Reliability Block Diagram), Fault Tree, FMECA (Failure mode, Effect and Criticality Analysis)등의 방법들이 개발되어 사용되어 왔다. 이러한 기법들은 시스템의 기기들이 모두 독립적으로 고장이 발생한다고 가정한 상태에서 신뢰도 분석을 하고 있다. 하지만 시스템의 고장은 기기 하나만 독립적으로 발생하는 것이 아닌 외부의 불명확한 원인이나 다른 기기의 고장에 영향을 받아 발생할 수 있으므로, 독립고장 모델만으로는 정확히 모델링 할 수 없다[2].

* 주저자 : 한양대학교 전기공학과 박사과정
** 교신저자 : 한양대학교 전기공학과 교수
Tel : 02-2220-0347, Fax : 02-2220-1856
E-mail : jokim@hanyang.ac.kr
접수일자 : 2011년 7월 6일
1차심사 : 2011년 7월 9일, 2차심사 : 2011년 8월 25일
심사완료 : 2011년 9월 9일

건국대학교 | IP: 203.252.132.58 | Accessed 2015/10/12 12:50(KST)

본 논문에서는 독립고장의 한계점을 개선하기 위해 종속고장(Dependent Failure)의 개념을 도입하여 시스템의 신뢰도를 분석하고자 한다. 종속고장은 한 기기가 다른 기기의 고장확률에 영향을 미치는 것을 말한다. 이러한 종속고장을 기존에 사용하던 독립고장의 개념을 포함한 포괄적인 고장 모델을 제시한다. 사례연구에서는 전력시스템을 구성하고 시스템의 여러 설비에 대한 종속고장을 평가하여 기존의 방법과 비교 분석한다.

2. 이론고찰

유지보수의 최적화 도구로써 RCM은 설비의 기능이 상실되거나 품질저하를 일으키는 고장모드를 가지고 있는 기기들을 찾아내는 것과 일정한 시간이나 계획에 따라 유지보수가 이루어지도록 정비주기를 결정하는 것을 목적으로 하고 있다. 즉 RCM은 설비 운영자들이 유지보수 전력을 결정하는데 필요한 수준을 분석할 수 있게 하는 도구이며, 이것을 통하여 정비 관리의 최적화를 이루어 경쟁력 있는 원가관리의 수단으로 활용된다.

2.1 RCM 분석

RCM 분석을 위한 일반적인 실행 절차는 다음과 같다.

① 연구 준비 : RCM해석에 있어서 연구해야 하는 조건 확인한다.
② 시스템 선택과 정의 : RCM의 해석 전에 과거 유지보수 계획과 비교하여 이득을 얻을 수 있는지, 그리고 현재의 시스템을 단계별로 RCM 해석을 수행할 수 있는 지를 파악한다.
③ 시스템의 기능별 고장해석 : 시스템이 필요로 하는 기능과 수행기준의 기능 정의, 시스템이 운영되기 위해 필요한 기능들의 상호관계, 시스템의 고장을 확인한다.
④ 임계 항목의 선택 : 기능고장에 관한 가능성 있는 임계항목을 해석하는 단계이다.
⑤ 데이터 취득 및 해석 : 다양한 입력 데이터의 취득 단계이다.
⑥ 고장 모드 영향 및 임계해석 : 유지보수 중요 요소 중 영향력이 가장 큰 고장 모드에 대해 정의하는 단계이다.
⑦ 유지보수 방법의 선택 : 수립될 수 있는 유지보수 방법을 비교하는 단계로 각 고장이 미치는 영향력을 고려하여 예방정비 시기를 결정하거나 혹은 항목별 고장의 진행 상태에 따라 판별하여 고장정비 여부를 선택한다.
⑧ 유지보수 주기 결정 : 설비의 고장함수를 이용하여 RCM 주기를 결정하는 단계이다.
⑨ 예방유지보수 비교 해석 : 설비의 신뢰도와 고장의 결과를 이용하여 유지보수를 적용할 수 있는가와 예방유지보수에 대한 비용효과를 평가하는 단계이다.
⑩ 유지보수를 결정하는 항목이 아닌 항목의 고려 : 유지보수를 결정하는데 영향을 미치지 않았던 항목에 대한 고려를 하는 단계이다.
⑪ 유지보수 실행 : 지원하는 기술적 기능이 이용가능한지를 확인하는 과정이다.
⑫ 현재 사용되는 데이터 취득 및 업그레이드 : 신뢰도 데이터의 취득과 기존에 가지고 있었던 데이터의 수정을 하는 단계이다.

본 논문에서는 위의 절차 중에서 ⑥ 고장 모드 영향 및 임계해석에서 독립고장만이 아닌 공통원인고장 및 다단고장을 고려한 종속고장을 고려한 신뢰도 해석에 대해 기술한다.

2.2 종속고장

독립고장의 한계를 극복하기 위해 종속고장을 도입하여 시스템의 신뢰도를 분석하고자 한다. 종속고장이란 한 기기의 고장이 다른 기기들의 고장 확률을 높이거나 낮추는데 영향을 미치는 것이다. 종속고장에는 3가지 형태가 있다.

① 공통 원인고장(Common Cause Failure) : 한 원인에 의해 여러 기기들이 동시에 고장에 발생하는 경우
② 다단고장(Cascading Failure) : 시스템의 한 기기

건국대학교 | IP: 203.252.132.58 | Accessed 2015/10/12 12:50(KST)

의 고장이 발단이 되어 다른 기기의 고장에 영향을 주는 경우

③ 역 종속고장(Negative Dependencies Failure) : 한 기기의 고장으로 인해 다른 기기의 고장 확률이 줄어들게 되는 현상

역 종속고장의 경우에는 고장의 심각도가 증진되지 않으므로, 본 논문에서는 앞의 두 가지 경우 공통 원인 고장과 다단고장에 대해 논술하도록 한다.

2.3 공통 원인고장

한 원인에 의해 여러 기기들이 동시에 고장이 발생하는 것을 말한다. 고장을 일으키는 원인은 주로 시스템 외부에서부터 오는 것으로, 이 원인을 고장근원(Root Cause)이라고 한다. 고장근원의 의미는 공통 원인고장을 발생하게 하는 가장 기본적인 원인으로 정의할 수 있다. 고장의 근원은 5가지 형태로 있으며, 표 1과 같이 분류할 수 있다.

표 1. 고장근원의 형태
Table 1. Type of Root Cause

분류	원 인
기계적 원인	기기 주위 온도 및 습기
전기적 원인	과도한 전류, 전력 사용량 초과
화학적 원인	습기, 가스에 의한 화학적 변화
인적 오류	오작동 및 보수, 측정기구의 오차
재난	천재지변

2.3.1 공통 원인분석 방법

시스템의 공통원인 고장에 대한 연구는 1988년 미국의 NUREG/CR-4780을 작성하면서 시작되었다. 대표적인 공통 원인고장에 관한 모델은 한계방법(Bounding Method), Beta Factor(BF) 모델, Binomial Failure rate(BFR), SPN 모델이 있다[3-6].

한계방법은 최초로 공통 원인고장을 정량화한 방법이며, 특정 원인에 의한 다중 고장을 고려할 때 여러 가지 조건하에서 사상의 확률에 대한 상한 값과 하한 값을 계산할 수 있으며, 상/하한 값의 기하평균을 공통 원인고장의 확률로 추정한다. 간단한 방법이므로 계산은 쉬우나 실제 시스템을 정확히 모델링하기 어렵다.

Beta Factor 모델은 β라는 하나의 매개모수를 사용한다. 이 모수는 한 기기의 총고장률 내에서 고통 원인에 의한 고장률이 차지하는 비율을 의미한다. 이 방법은 간단하게 모수를 측정할 수 있어 사용하기는 쉬우나, 단일 모수를 사용함으로서 다중도의 증가를 잘 반영하지 못한다.

Binomial Failure Rate 모델은 독립고장과 종속고장의 두 가지 형태의 고장을 정의하고 치명적 충격률과 비 치명적 충격률에 관한 모수를 사용한다. 이 모델은 충격이라는 물리적 현상으로 공통 원인고장을 설명하며 다중도의 증가에 따라 모수의 개수가 증가하지 않는 장점이 있으나 다른 모형에 비해 복잡하다.

SPNs 모델은 인적오류를 포함한 공통원인 고장과 다른 종속고장을 Continuous-Time Markov Chain (CTMC)을 이용하여 정의하였으며, 전체 시스템의 Availability를 산정하였으나, 고장 원인의 판별은 다루어지지지 않았다.

따라서 본 논문에서는 다음과 같이 최소절단집합(Minimal Cut Sets)을 이용한 공통원인 고장의 원인 판별과 그 산정 방안을 제안한다.

2.3.2 주요 고장 근원(hazard root cause) 선별

전력시스템은 자연환경에 많이 노출되어 있으므로 많은 고장근원에도 노출되어 있다. 이러한 고장근원은 여러 가지 이지만 시스템에 치명적인 영향을 줄 수 있는 주요고장근원(hazard root cause)을 선별하는 것이 실질적인 방법으로 사료된다. 이에 다음과 같은 방법을 제시한다.

① 최소절단집합을 이용한 시스템 행렬정의

전력시스템의 신뢰도를 구하기 위해 최소 절단집합에 다음의 정의를 이용하여, 전력시스템 M을 j개의 기기로 구성된 i개의 최소절단집합으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$M = [m_{ij}] \tag{1}$$

건국대학교 | IP: 203.252.132.58 | Accessed 2015/10/12 12:50(KST)

$$m_{ij} = \begin{cases} 1 & i\,th\,cut\,set\text{에 } j\text{기기가 있는 경우} \\ 0 & i\,th\,cut\,set\text{에 } j\text{기기가 없는 경우} \end{cases}$$

또한 시스템 최소절단집합 행렬 M을 이용하기 위해 다음과 같은 열벡터를 정의한다.

$$S = [s_i] \tag{2}$$

$$s_i = \sum_{k=1}^{j} m_{ik}$$

시스템 행렬 M은 0혹은 1의 값을 가지므로 행렬 M의 각 행의 합은 한 최소절단집합 안에 있는 기기의 개수이다.

② 고장근원 표현

공통 원인고장을 발생시키는 n이라는 고장근원에 의해 j기기가 영향을 받는 경우로 수식 (3)과 같다.

$$R = [r_{jn}] \tag{3}$$

$$r_{jn} = \begin{cases} 1 & j\text{기기가 } n\text{고장에 영향을 받는 경우} \\ 0 & j\text{기기가 } n\text{고장에 영향을 받지 않는 경우} \end{cases}$$

③ 주요 고장근원 선택

위의 수식들을 이용하여 고장근원에 의한 공통 원인고장이 최소절단집합으로 표현된 시스템에 어떤 영향을 미쳐 공통 원인고장이 일어나는 지를 모델링한다.

$$MR = M \cdot R = [m_{ij}][r_{jn}] = [mr_{in}] \tag{4}$$

위 수식 (4)는 한 최소절단집합 안에 있는 기기들이 얼마 많은 고장 근원에 영향을 받는지를 알 수 있게 한다. 행렬 MR의 요소인 mr_{in}과 수식 (2)의 열벡터 S의 요소인 s_i를 비교하여 주요 고장 근원 판별 행렬이 정의된다.

$$R^{CR} = [r_{in}^{CR}] \tag{5}$$

$$r_{in}^{CR} = \begin{cases} 1 & s_i - mr_{in} = 0 \\ 0 & s_i - mr_{in} \neq 0 \end{cases}$$

위 수식을 이용하여 어떤 고장근원이 각각의 최소절단 집합에 영향을 주는지 알 수 있게 한다.

2.4 다단고장

다단고장이란 한 기기에 고장이 일어난 것이 발단이 되어 주변의 여러 기기들에게 기계적인 충격이나 전기적인 악영향 등을 주는 것을 의미한다. 이러한 영향으로 고장의 도미노 현상도 발생할 수 있다. 특히 자기 용량에 근접하거나 초과하여 부하를 부담하게 될 경우 고장의 확률이 높아지게 되며, 이러한 고장을 겪게 된다면 광범위한 정전을 겪을 수 있다[6-10].

기존의 다단고장에 관한 모델은 Combinatorial techniques. State space method, SFNs 모델등이 있으나 고려해야 되는 기기수가 늘어날수록 계산이 복잡해지는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 다단고장을 기기의 상호영향 관계를 나타내었다. 각각의 기기는 내부고장으로 인한 고장확률과 외부의 영향으로 발생하는 다단고장확률을 가지게 되어, 기기 X의 고장확률은 다음과 같이 정의된다.

$$U_X = u_{XX} + \sum_{Y} u_{XY} \tag{6}$$

여기서

U_X : 기기 X의 고장확률

u_{XX} : 기기 X의 내부 고장확률

u_{XY} : 기기 Y의 고장으로 인한 기기 X의 고장확률

상호영향관계를 나타내는 다단고장확률(u_{XY})은 수식 (7)과 같이 조건부확률로 표현할 수 있다.

$$u_{XY} = P(Q_X | Q_Y) = \frac{P(Q_X \cap Q_Y)}{P(Q_Y)} \tag{7}$$

여기서 Q_X : 기기X의 고장상태

다단고장에 대한 시스템 전체의 고장확률 U의 일반화 모델은 수식 (8)과 같다.

건국대학교 | IP: 203.252.132.58 | Accessed 2015/10/12 12:50(KST)

$$U = I \cdot U^I + U^D \cdot A \tag{8}$$

여기서
I : 단위행렬
$U^I = [u_{jj}]$: 내부고장 확률 행렬
$U^D = [u_{kj}]_{j \neq k}$: 종속고장 확률 행렬
$A = [1]_{j \times 1}$: 열벡터

2.5 종속고장의 확률 산정

본 논문의 종속고장은 앞에서 정의한 주요고장근원에 의해 선별된 공통원인고장과 기기의 상호영향관계에 의한 다단고장을 모두 고려한다.

행렬로 표현된 종속고장확률은 다음과 같은 가상의 행렬 원소를 정의함으로써 공통 원인고장을 포함할 수 있다.

① 공통 원인고장을 나타내는 가상의 원소는 시스템의 기기에 대한 영향을 줄 수 있다.
② 시스템의 실제 기기는 공통 원인 고장 기기에 영향을 줄 수 없다.

이와 같이 정의된 공통 원인고장의 성질을 이용하여 다음의 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 공통 원인고장(Common Cause Failure, CCF)은 기기 A, B에 영향을 동시에 주게 된다.

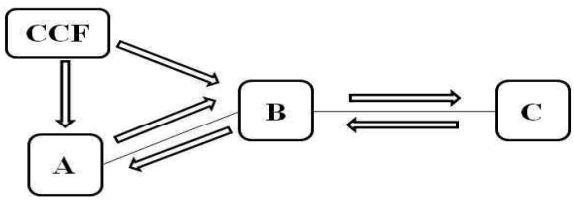

그림 1. 공통원인고장이 포함된 그래프
Fig. 1. graph including CCF

이와 같이 정의된 공통 원인고장의 성질을 이용하여 종속고장 확률 행렬은 다음과 같다.

$$U^M = [U^D | U_{CCF}]_{n \times (n+NCC)} \tag{9}$$

여기서
U^M : 공통 원인고장을 추가한 종속고장 행렬
n : 기기의 개수
NCC : 시스템에 영향을 미치는 고통 원인고장의 개수
U_{CCF} : 공통 원인 고장에 영향 받는 기기의 고장 확률
$U_{CCF} = [u_{CCF}]_{1 \times (n+NCC)}$

이러한 종속고장을 고려한 일반화된 고장확률은 다음과 같이 정의하게 된다.

$$U = I \cdot U^I + U^M \cdot B \tag{10}$$

여기서 $B = [1]_{(n+NCC) \times 1}$: 열벡터

3. 사례연구

3.1 계통 구성

독립고장과 종속고장의 모델을 다음과 같은 배전계통에 적용하여 신뢰도 산출에 적용한다.

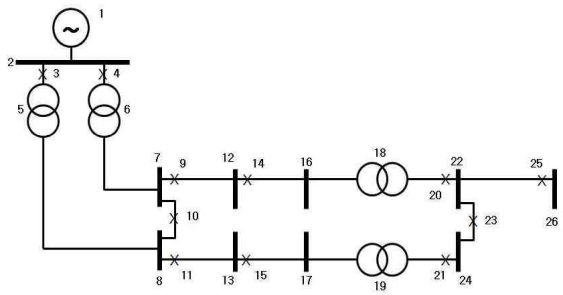

그림 2. 배전시스템
Fig. 2. Distribution Power System

위 배전계통은 4개의 변압기, 10개의 모선, 11개의 차단기, 1개의 발전기로 구성되어 있다.

신뢰도를 산출하기 위해 사례연구 계통을 RBD (Reliability Block Diagram)으로 나타내면 그림 3과 같다.

건국대학교 | IP: 203.252.132.58 | Accessed 2015/10/12 12:50(KST)

표 2. 기기의 독립고장확률
Table 2. The independent failure probability of the components

기기	번 호	독립고장확률(u_{XX})
발전기	1	2.78E-4
모선	2, 7, 8, 12, 13, 16, 17, 22, 24, 26	1.00E-4
차단기	3, 4, 9, 10, 11, 14, 15, 20, 21, 23, 25	1.78E-3
변압기	5, 6, 18, 19	3.80E-4

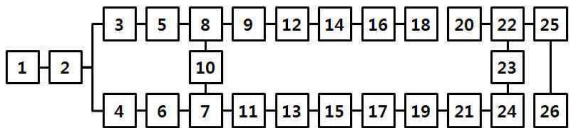

그림 3. 배전시스템의 RBD
Fig. 3. The RBD of Distribution Power System

3.2 다단 고장을 고려한 계통의 고장확률 산정

2.4절의 수식 (8)을 이용하여 다단고장을 고려한 배전 계통의 신뢰도를 고장확률을 계산하면 다음 수식 (11)과 같다.

$$U = I \cdot U^I + U^D \cdot A \tag{11}$$
$$= I \cdot U^I + s \cdot \begin{bmatrix} 0 & 1 & \cdots & 1 & 1 \\ 1 & 0 & \cdots & 1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 1 & 1 & \cdots & 0 & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

식의 s는 상수로 0보다 큰 값을 가지며 그 값이 커질수록 점점 기기들의 고장확률에서 종속고장이 차지하는 비율이 커지게 된다. s의 값을 변화시키며 얻어진 값을 다음 그림 4에서 확인할 수 있다.

시스템의 전체 고장확률이 독립고장확률의 150[%]에 도달하게 되는 점은 종속고장확률 u_{XY}가 $3.8E-4$가 되었을 때이며, 또한 200[%]에 도달하게 되는 점은 종속고장확률 u_{XY}가 $9.8E-4$일 때이다. 그림 2에서 알 수 있듯이 시스템의 기기들의 고장확률에 가장 큰 영향을 미치는 모선의 독립고장확률보다 종속고장확률이 커지게 되면 전체 시스템의 고장확률이 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다.

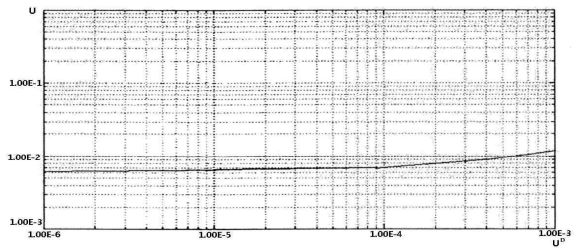

그림 4. 다단고장확률의 변화
Fig. 4. Transition of the Probability of Cascading failure

3.3 공통 원인고장의 영향 산정

시스템에 다음의 표 3과 같은 공통원인고장이 존재하면, 그림 5를 통해 다단고장만 고려한 시스템의 고장확률과의 비교가 가능하다.

표 3. 공통 고장원인
Table 3. Common Cause Failure

공통 원인 고장	기 기(번호)
CCF 1	CB(9), CD(10), 모선(13)
CCF 2	변압기(18), 모선(17)

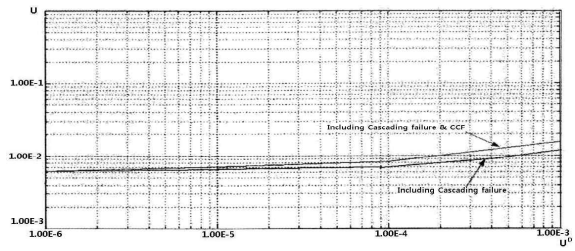

그림 5. 다단고장확률 및 공통 원인고장확률의 변화
Fig. 5. Transition of the Probability of Cascading failure and CCF

시스템의 전체 고장확률이 독립고장확률의 150[%]에 도달하게 되는 점은 종속고장확률 u_{XY}가 $2.28E-4$가 되었을 때이며, 이는 또한 200[%]에 도달하게 되는 점은 종속고장확률 u_{XY}가 $5.7E-4$일 때이므로, 그 값은 다단고장만을 고려했을 때 보다 약 70[%]정도 커

건국대학교 | IP: 203.252.132.58 | Accessed 2015/10/12 12:50(KST)

지게 된다.

사례연구 3.1절과 3.2절을 통해 종속고장을 고려하는 경우 다단고장을 고려하는 것보다는 공통 원인고장까지 고려하는 것이 종속고장의 고장확률의 변화에 더 민감하게 반응하였으며, 독립고장만을 고려하는 경우보다 전체 시스템의 고장확률 커지게 되어 유지보수에 있어서의 우선순위 선정에 영향을 미친다. 즉 외부환경에 많이 노출되어 있는 전력시스템의 경우에는 기기 하나하나의 독립고장확률은 낮으나, 상호간의 종속고장에 영향을 받는 경우가 많으므로, 이러한 점에 대한 대처가 반드시 필요하다.

4. 결 론

본 논문에서는 기존의 독립고장확률만을 이용하여 산출해 오던 신뢰도의 고장확률을 두 가지의 종속고장을 평가하여 새로운 고장확률을 제안하였다. 최소절단 집합을 이용하여 시스템에 치명적인 영향을 줄 수 있는 공통 원인고장(CCF)을 선별하고 평가하는 기법과 기기 상호영향을 고려한 다단고장(Cascading failure)의 모델을 제안하였다. 또한 두 가지 종속고장을 기존 독립고장과 결합하여 일반화할 고장확률을 제시하였다.

사례연구에서는 2회선 배전시스템을 선정하여 제안된 종속 고장확률을 적용하였으며, 시스템의 고장확률에 종속고장이 미치는 영향에 대해 연구를 진행하였으며, 종속고장을 고려한 고장계산의 유용성을 입증하였다.

본 논문의 연구로 새로운 모델을 이용한 전력시스템의 신뢰도 산정기법은 기존의 독립고장만을 고려한 산정기법에 비해 실제 시스템의 상황을 모델링한 것으로 향후 설비의 유지보수에 필요한 정보를 제공할 수 있다.

References

〔1〕 Billinton, R. and Allan, R. N., Reliability Evaluation of Power System, Longman, 1984.

〔2〕 Marvin Rausan, Arnljot Hoyland. System Reliability Theory : Models, Statistical Methods, and Applications., Wiley. 2004.

〔3〕 Mosleh, K.N. Fleming, Pickard, Lowe, and Garric "NUREG/CR-4780", U.S. Nuclear Regulatory Commission. January, 1988.

〔4〕 E.E.Lewis. Introduction to Reliabiliry Engineering, (2nd Eddition), Wiley. 1995.

〔5〕 Zhilie Pan, Yasuo Nonaka. "Importance analysis for the systems with common cause failures". Reliability Engineering and System safety, Vol.50, pp.297-300, 1995.

〔6〕 Ricardo M. Fricks, Kishor S. Trivedi, "Modeling failure dependencies in reliability analysis using stochastic petri nets.", European Simulation Multi-conference(ESM '97), Istanbul, Jun. 1997.

〔7〕 Kai Yang, "The relation between system functions, reliability and dependent failures", System, Ma, and Cybernetics, 1998 pp.4722-4727.

〔8〕 IEEE PES CAMS Task Force on Understanding, Prediction, Mitigation and Restoration of Cascading Failures, "Initial review of methods for cascading failure analysis in electric power transmission systems", IEEE PES General meeting, July 2008.

〔9〕 Yong Sun, Lin Ma, Joesph Mathew, Sheng Zhang. "An Analytical model for interactive failures," Reliability Engineering and System Safety. Vol91, pp495-504, 2006.

〔10〕 S.M. Seyed-Hosseini, N.Safaei, M.J. Asgharpour, "Reprioritization of failures in a system failure mode and effects analysis by decision making tral and evaluation laboratory technique", Reliability Engineering and System Safety. Vol91, pp872-881, 2006.

◇ 저자소개 ◇

손현일 (孫鉉一)
1975년 1월 20일생. 2005년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정 재학.
Tel : (02)2220-0347
E-mail : hison@hanyang.ac.kr

권기량 (權岐亮)
1983년 9월 12일생. 2009년 한양대학교 전기공학과 졸업(석사). 2009년 기초전력연구원 선임연구원.
Tel : (02)2220-0347
E-mail : krkwon@hanyang.ac.kr

김진오 (金鎭吾)
1980년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업. 1983년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 12월 Texas A&M 대학교 전기공학과 졸업(박사). 현재 한양대학교 전기제어생체공학부 교수.
Tel : (02)2220-0347
E-mail : jokim@hanyang.ac.kr

건국대학교 | IP: 203.252.132.58 | Accessed 2015/10/12 12:50(KST)