

# 시스템상태전이 샘플링을 이용한 변전소 신뢰도평가 컴퓨터 프로그램 개발

(Computer Program Development for Station Reliability Assessment using System State Transition Sampling)

김광원\* · 우경행 · 현승호 · 손진만 · 한진희 · 신용학

(Gwang-Won Kim · Kyoung-Hang Woo · Seung-Ho Hyun · Jin-Man Sohn · Jin-Hee Han · Yong-Hark Shin)

## 요 약

본 논문은 변전소 신뢰도 평가를 위하여 개발한 컴퓨터 프로그램을 소개하고 있다. 개발한 프로그램은 시스템상태전이 샘플링(system state transition sampling)을 이용한 몬테카를로법을 근간으로 하고 있다. 시스템상태전이 샘플링은 평가 결과를 신속히 얻을 수 있지만, 평가 대상이 지수분포(exponential distribution)로 모형화된 경우에만 적용할 수 있다는 단점이 있다. 본 프로그램에서는 정전을 유발하는 사건간의 배타성을 가정함으로써 고장 수리 시간의 모형으로 비지수분포를 사용할 수 있도록 하였다. 개발한 프로그램을 신뢰도 평가결과가 잘 알려진 시스템에 적용하여 개발한 프로그램의 신뢰성을 증명하였다.

## Abstract

This paper presents the computer program for station reliability assessment. The developed program is based on Monte-Carlo simulation using system state transition sampling, which has the merit of rapid assessment compared to state duration sampling. One of the contributions of this paper is introduction of exclusiveness among events, which makes non-exponential probabilistic distribution be utilized in modeling repair time. The developed program is applied to well-known sample system and its assessment results are listed in this paper to show the reliability of the program.

Key Words : Station, Reliability Assessment, Computer program, Monte-Carlo Simulation

## 1. 서 론

전력시스템의 신뢰도평가는 주로 발전량 적정성 (generation adequacy), 복합계통(composite system), 배전계통으로 나뉘어 연구되고 있으며[1], 변전소의 신뢰도 평가는 그 중요성이 상대적으로 과소평가되

\* 주저자 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수  
Tel : 052-259-2186, Fax : 052-259-1686  
E-mail : kim66@ieee.org  
접수일자 : 2007년 9월 5일  
1차심사 : 2007년 9월 14일  
심사완료 : 2007년 10월 12일

고 있지만, 피더(feeder)의 정전은 배전계통의 사고로 인한 정전에 비하여 큰 범위의 정전을 유발할 수 있으므로 변전소도 신뢰성 평가를 위한 노력이 경주되어야 한다. 이에 본 연구에서는 변전소의 신뢰도 평가를 위한 컴퓨터 프로그램을 개발하였다.

변전소의 신뢰도 평가는 배전계통과 마찬가지로 전원점과 부하점과의 전기적 연결 상태의 확률적인 파악이 중요하다. 일반적으로 배전계통은 수직상으로 운전하지만 변전소는 다수의 인입선과 피더가 다소 복잡하게 연결되므로, 변전소의 신뢰도 평가에서는 계통보호전력 등을 잘 고려하여 사고로 인한 정전피더 및 스위칭에 의한 정전복구피더를 파악하여야 한다. 신뢰도 평가 방법은 크게 해석적인 방법과 모의에 의한 방법으로 구분할 수 있는데, 모의에 의한 방법은 근사해만을 구할 수는 있는 반면, 신뢰도 평가에 다양한 상황을 반영하기가 수월하고 신뢰도 지수 및 그 분포를 산출하기 용이하며 다양한 확률모형을 반영할 수 있다는 장점이 있으므로 본 연구에서는 몬테카를로법을 이용하여 변전소 신뢰도평가 프로그램을 개발하였으며, 모의의 속도를 향상하기 위하여 시스템상태천이샘플링 기법을 사용하였다. 시스템상태천이 샘플링은 다양한 확률모형을 모의에 반영하기가 쉽지 않다는 단점이 있으나, 본 프로그램에서는 사건(event)간의 배타성을 도입함으로써 변전소 요소의 수리시간을 비지수분포(non-exponential)로써 모형화할 수 있도록 하였다.

배전계통의 신뢰도 지수는 잘 약속되어있으나[2], 변전소의 경우에는 널리 약속된 신뢰도 지수가 없으며, 단지 피더별로 '연간정전빈도(occ/yr)', '연간정전시간(hr/yr)', '정전당 지속시간(hr/occ)' 등이 나름대로 중요한 의미를 지닌다. 이에 개발한 프로그램에서는 발전량 적정성평가에서 사용하는 신뢰도 지수의 용어를 빌려와서 전술한 신뢰도 지수를 각각 '연간 LOLF', '연간 LODL', '정전당 LODL'라 명명하였다(LOLF: Loss Of Load Frequency, LODL: Loss Of Load Duration).

본 프로그램은 C++로 개발되었으며, 신뢰도 지수와 함께 그 분포 그래프를 결과로써 제공한다. 본 논문에서는 개발한 프로그램의 기본 원리와 GUI를 소개하고 있으며, 캐나다 CEA(Canadian Electrical

Association) 보고서에서 발췌한 시스템을 대상으로 개발한 프로그램에서 산출한 신뢰도 평가결과를 신뢰도 분야의 대가인 Roy Billinton의 결과[1]와 비교하여 수록하였다.

## 2. 시스템상태천이샘플링

### 2.1 샘플링 개요

시스템상태천이 샘플링에서는 현재의 시스템상태에서 변화하는 요소(element)를 확률적으로 결정함으로써 다음 시스템상태를 결정한다. 시스템이  $m$ 개의 요소로 이루어져 있고, 각 요소상태의 지속시간  $T_i$ 가 발생할  $\lambda_i$ 인 지수분포를 따른다면 가장 빨리 변화하는 요소에 의하여 다음의 시스템 상태가 결정되므로 시스템의 현 상태 지속시간은  $T = \min(T_i)$ 이다.  $T$ 는 시스템의 변화시점을 결정하는 확률변수로서  $\lambda = \sum \lambda_i$ 를 파라메타로 하는 지수분포를 따른다[1]. 즉 시스템의 현 상태 지속시간은 다음의 확률분포를 따른다.

$$f(t) = \left( \sum_{i=1}^m \lambda_i \right) \exp \left( -t \sum_{i=1}^m \lambda_i \right) \quad (1)$$

한편 시스템의 상태가  $t = 0$ 와  $t = t_0$ 에서 각각 변화하였다고 가정할 때,  $t = t_0$ 에서의 변화가 요소  $j$ 에 기인할 확률  $P_j$ 는 다음과 같다.

$$P_j = \frac{P(T_j = t_0) \times \prod_{i=1, i \neq j}^m P(T_i \geq t_0)}{P(T = t_0)} \quad (2)$$

위에서  $P(T_j = t_0)$ 와  $P(T = t_0)$ 는 각각  $t_0$ 에서 요소  $j$ 와 시스템이 변화할 확률로서 지수분포를 가정하면 다음과 같이 풀어낼 수 있다.

$$P(T_j = t_0) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (\lambda_j e^{-\lambda_j \Delta t}) \Delta t \quad (3)$$

$$P(T = t_0) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \sum_{i=1}^m \lambda_i e^{-\sum_{i=1}^m \lambda_i \Delta t} \right) \Delta t \quad (4)$$

$$P(T \geq t_0) = e^{-\lambda t_0} \quad (5)$$

시스템상태전이 샘플링을 이용한 변전소 신뢰도평가 컴퓨터 프로그램 개발

식 (3)~(5)를 식(2)에 대입하면 식 (6)을 얻을 수 있다.

$$P_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{i=1}^m \lambda_i} \quad (6)$$

즉 각 요소의 발생률  $\lambda_i$ 에 정비례하여 해당 요소가 시스템의 상태변화를 유발할 확률이 높아진다. 식 (6)에서 구한 모든 요소의  $P_j$ 를 더하면 '1'이 되므로 그림 1에서와 같이 [0, 1]구간의 uniform 난수 U로써 시스템의 상태변화를 유발하는 요소를 결정할 수 있다[1].

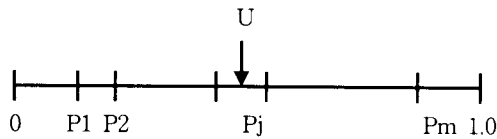


그림 1. 시스템상태전이 샘플링  
Fig. 1. System state transition sampling

한편 현재 시스템 상태의 지속시간 T는 식 (1)에 근거하여 [0, 1]구간의 새로운 uniform 난수 U2로써 다음과 같이 결정하여야 한다.

$$T = -\left(\sum_{i=1}^m \lambda_i\right)^{-1} \ln U_2 \quad (7)$$

시스템상태전이 샘플링은 다양한 신뢰도 지수 및 그 분포를 얻을 수 있으면서도, 시뮬레이션에 소요되는 시간이 비교적 짧다는 장점이 있는 반면에, 각 상태의 지속시간이 지수분포인 경우에만 적용할 수 있다는 한계가 있다.

2.2 모의대상 모델

몬테카를로 시뮬레이션으로 변전소 신뢰도를 평가하기 위해서는 변전소를 이루는 각 요소의 모델링이 선행되어야 하며, 그림 2는 일반적으로 사용되는 모형이다.

그림 2의 모형은 정상상태인 '운전', 고장직후에 정전구역 복구상태인 '복구', 고장을 수리 중인 '수리'의 세 상태로 구성되어 있으며, 각 상태간의 변화 시

점은 확률적으로 결정하여야 한다. 그림 2에서 active 고장은 이로 인하여 차단기가 동작하여야 하는 고장이며, passive 고장은 차단기가 동작할 필요 없는 고장을 의미한다. 차단기의 오동작이 passive 고장의 대표적인 예이며, 이 경우에는 '운전' 상태에서 곧바로 '수리' 상태로 이동한다.

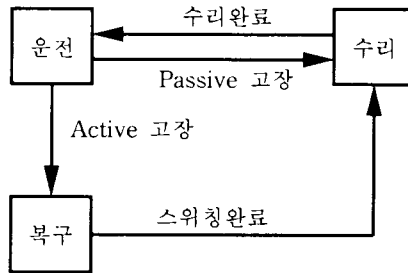


그림 2. 신뢰도 평가를 위한 요소 모델  
Fig. 2. Element model for reliability assessment

요소의 고장율(failure rate)은 상수로 모형화 하는 것이 타당성을 가지므로 고장시각을 결정할 때에 지수분포의 확률모형을 이용하는 것이 적절하지만, 수리완료 시간을 결정하는 확률 모형은 실제 데이터를 잘 근사하도록 모델링할 필요가 있다. 만약 수리에 소요되는 시간에 대한 데이터를 구할 수 없으면, 추정 평균값만으로 지수분포를 가정하고 신뢰도 평가를 수행하는 것이 차선책이다. 다만 이 경우에는 몬테카를로법에서 결과로써 제공하는 신뢰도 지수의 확률분포는 의미가 없게 된다.

2.3 모의종료 조건

몬테카를로법에 의한 결과는 샘플의 수가 증가할 수록 참값으로 수렴해 가지만 참값을 구할 수는 없으며, 모의할 때마다 상이한 결과를 제공한다. 즉 몬테카를로법으로는 근사해만을 구할 수 있으므로, 모의를 종료할 적절한 종료조건을 부가하여야 한다.

몬테카를로법의 오차는 central-limit theorem에 근거하여 예측이 가능하다. 즉 몬테카를로법을 동일한 문제에 N번 반복 적용하여 각각의 해  $X_i$ 를 얻었다고 할 때,  $X_i$ 들은 평균이  $\mu_x$ 이고 표준편차가  $\sigma_{x_i}/\sqrt{N}$ 인 정규분포를 이룬다[3]. 여기서  $\sigma_{x_i}$ 는

$X_i$ 를 위한 개별모의 결과의 표준편차로서 각 모의마다 다르지만 차이가 크지 않으므로 적절히 산정할 수 있다. 이 때  $X_i$ 가 다음 범위에 포함될 확률은 95.4[%]이다.

$$\mu_x - 2 \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}} < X_i < \mu_x + 2 \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}} \quad (8)$$

역으로 몬테카를로 모의를 수행하여 해  $X$ 를 얻었다고 하면, 참값으로 추정되는  $\mu_x$ 가 존재하는 신뢰도 95.4[%]의 구간은 다음과 같다.

$$X - 2 \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}} < \mu_x < X + 2 \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}} \quad (9)$$

따라서 몬테카를로법 모의에서 다음의 조건을 만족하면 상대오차  $\alpha$ ([%])까지 해에 수렴하였을 확률이 95.4[%]라고 할 수 있다.

$$\alpha > 2 \frac{\sigma_x}{X\sqrt{N}} \times 100 \quad (10)$$

식 (10)에서 상대 오차를 구하려면 참값으로 정규화하여야 하지만 참값은 알 수가 없으므로 근사값  $X$ 를 사용하였으며, 이로 인하여 식 (10)의 신뢰도는 다소 감소하게 된다. 식 (10)에 의하면 종료조건  $\alpha$ 가 작을수록 또는 표준편차  $\sigma_x$ 가 클수록 반복횟수  $N$ 은 증가하며, 일반적으로 최대 반복횟수를 또 다른 종료조건으로 지정한다.

### 3. 변전소 신뢰도 평가 프로그램

개발한 변전소 신뢰도 평가 프로그램은 SRAP (Station Reliability Assessment Program)이라고 명명하였으며, 시스템상태천이 샘플링의 몬테카를로법으로 신뢰도 평가를 수행한다. 개발한 프로그램의 특징은 다음과 같다.

① 각 사건은 상호 배타적(exclusive)임을 가정: 신뢰도 평가에서 사건은 주로 고장을 일컬으며, 본 프로그램에서는 각 사건이 상호 배타적임을 가정하였으므로 단일고장만을 기술하여 중복고장을 모의

할 수 없다. 이중 고장 등 중복고장을 고려하려면 중복고장 자체를 별도의 사건으로 기술하여야 한다. 또한 보수(maintenance) 등 고장 외의 상황도 별도의 사건으로 기술함으로써 반영할 수 있다.

② 시스템상태천이 샘플링에 비지수분포(non-exponential model) 도입: 2절에서 설명한 바와 같이 고장발생시각을 결정할 때에는 지수분포를 가정하므로 계산이 신속한 시스템상태천이 샘플링을 활용할 수 있지만 수리완료시간은 비지수분포로 모형화할 수 있으므로 문제가 된다. 본 연구에서는 각 사건의 상호 배타성을 가정함으로써 이러한 문제를 해결하였다. 즉 어떤 고장이 발생한 경우에 현 고장이 처리되어야 다음 고장이 발생할 수 있음을 가정한 것이므로, 고장발생시각은 시스템상태천이 샘플링으로 결정하고 수리완료시간은 고장 발생 요소의 수리완료시간모형의 확률변수로부터 간단히 결정할 수 있다.

③ 사건 별 정전피더를 지정함으로써 구체적인 보호전략 생략: 변전소의 구조 및 보호전략에 의하여 각 사건이 발생하였을 때의 정전피더 및 복구 스위칭 후의 정전피더가 결정되므로, 정확한 신뢰도 분석을 위해서는 변전소의 구조 및 보호전략을 상세히 기술하여야 한다. 신뢰도 평가를 위해서는 단지 상황에 따른 정전피더만 결정하면 되므로 개발한 프로그램에서는 신뢰도 평가의 입력자료로 각 사건별 정전피더 목록을 사용함으로써 입력데이터를 간단히 구성할 수 있도록 하였다. 부가적으로 본 방법을 사용함으로써 정전을 유발하지 않는 사건은 입력파일에서 완전히 배제할 수 있게 된다.

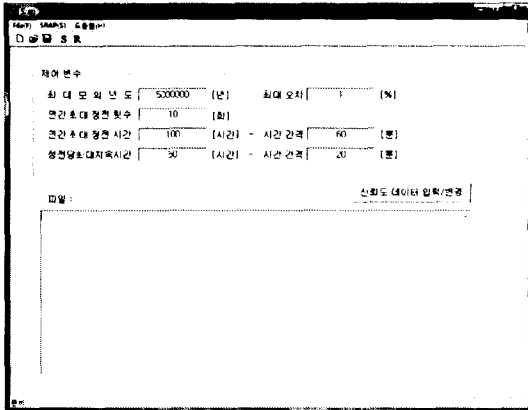
④ 개발한 프로그램에서는 각 피더별로 '연간 LOLF', '연간 LODL', '정전당 LODL'와 그 분포를 신뢰도 분석의 결과로써 제공한다.

개발한 프로그램의 메인화면은 그림 3과 같다.

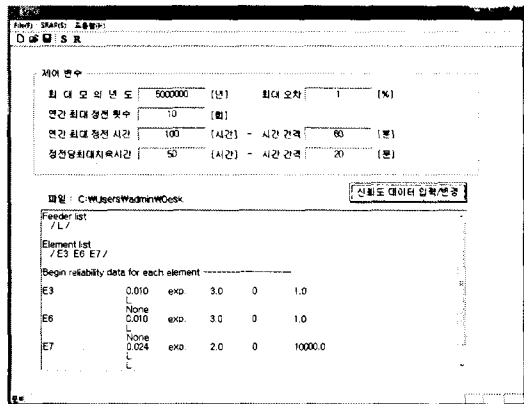
메인화면의 제어변수에 대한 설명이 표 1에 수록하였다.

개발한 프로그램은 모의 년이 '최대 모의년도'를 넘어서거나 예측 상대오차가 '최대 허용오차'보다 작아지는 경우에 종료하며, 이 때 예측오차는 수렴이 가장 느린 연간 LODL를 기준으로 하고 그 신뢰도는 95.4[%]이다. 표 1에서 종료조건과 관련된 상위 두

시스템상태전이 샘플링을 이용한 변전소 신뢰도평가 컴퓨터 프로그램 개발



(a) 초기화면  
(a) Initial window



(b) 데이터입력 후 화면  
(b) Window after data handling

그림 3. SRAP 메인화면  
Fig. 3. Main window of SRAP

제어변수 외의 다섯 변수는 신뢰도 평가 후 신뢰도 지수의 분포를 저장할 때 영향을 미친다. 즉 신뢰도 평가 결과로서 신뢰도 지수 확률분포의 그래프를 그릴 때, 각 축의 범위 및 구간의 길이는 표 1의 제어변수에 의하여 제한을 받는다. 신뢰도 지수 분포의 저장과 관련된 제어변수에서 저장 범위 및 정밀도를 크게 하면 정밀한 그래프를 얻을 수 있는 반면, 신뢰도 평가에 소요되는 시간이 길어지고 많은 컴퓨터 메모리를 사용하게 된다. 표 1의 제어변수 값은 메인 화면에서 변경할 수 있다.

개발한 프로그램에서 약속한 입력파일의 구조는 다음과 같다.

Feeder list  
/ 피더이름1 피더이름2 ... /

Event list  
/ 사건이름1 사건이름2 사건이름3 ... /

Begin reliability data for each element ----

사건이름1 f\_rate r\_shape r\_parallel r\_para2 s\_time  
feeder list1  
feeder list2

사건이름2 f\_rate r\_shape r\_parallel r\_para2 s\_time  
feeder list1  
feeder list2

End -----

표 1. 제어변수와 기본 값

Table 1. Control variables and their default values

구분	제어 변수	단 위	기본값
종료조건 관련	최대 모의 년도(simulation year)	년(year)	5,000,000
	허용 최대 오차(종료조건)	[%]	1
확률분포 저장관련	연간 최대 정전횟수	번(occurrence)	10
	연간 최대 정전시간	시간(hour)	100
	정전당 최대 지속시간	시간(hour)	50
	연간 정전시간 저장 폭	분(minute)	60
	정전당 지속시간 저장 폭	분(minute)	30

입력파일의 첫 부분에서 변전소를 이루는 피더의 목록과 피더에 정전을 유발하는 사건의 목록을 선언하며, 이어서 각 사건별로 구체적인 신뢰도 데이터를 기입하여야 한다. 사건별 신뢰도 데이터에 대한 설명은 표 2에 수록하였다.

위의 입력파일은 SRAP 메인화면의 편집기나 윈도우즈의 메모장을 사용하여 작성할 수도 있지만, 메인화면에서 '신뢰도 데이터 입력/변경' 버튼을 클릭함으로써 생성되는 그림 4의 창을 이용하면 보다 쉽게 작성할 수 있다.

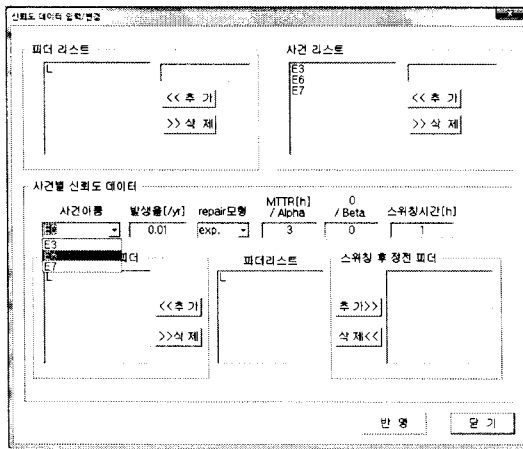


그림 4. 신뢰도데이터 입력/변경 화면  
Fig. 4. Windows for data input/change

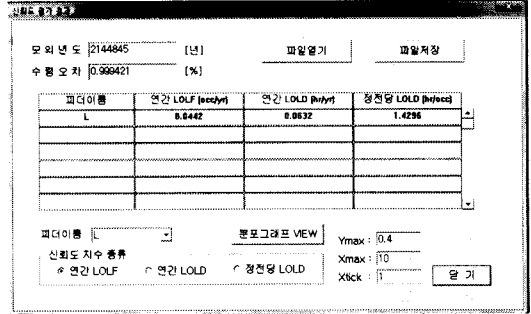


그림 5. 신뢰도 평가 결과 결과화면  
Fig. 5. Windows for assessment results

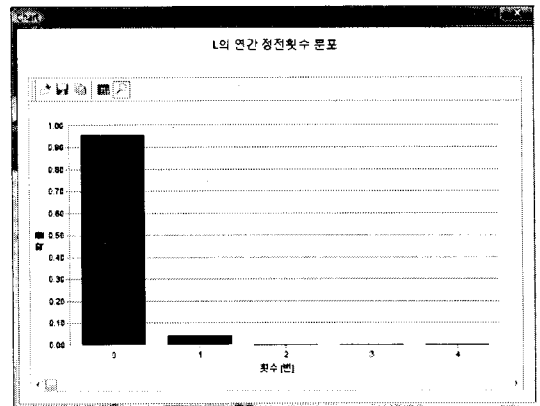


그림 6. 연간 LOLF 분포 그래프  
Fig. 6. Distribution chart of annual LOLF

표 2. 사건의 기술에 사용되는 정보  
Table 2. Information for event description

기 호	설 명	비 고
f_rate	· 연간 사건 발생률(failure rate) · 지수분포 가정	· 단위: occ./year
r_shape	· 고장요소의 수리에 소요되는 시간의 확률분포	· exp: 지수분포 · Wb: 와이블 분포
r_paral	· r_shape의 기술에 사용되는 파라메타 · 시간의 단위: hour	· 지수분포: 평균시간 · 와이블분포: scale 모수
r_para2		· 지수분포: 의미 없음 · 와이블분포: shape 모수
s_time	· 사건의 복구에 소요되는 평균시간 · 지수분포 가정	· 단위: hour
feeder list1	· 사건 발생 직후 정전인 피더 목록	· 각 피더는 빈칸으로 구분
feeder list2	· 복구 스위칭 후 계속 정전인 피더 목록 · 없는 경우에는 None이라고 기술	

시스템상태전이 샘플링을 이용한 변전소 신뢰도평가 컴퓨터 프로그램 개발

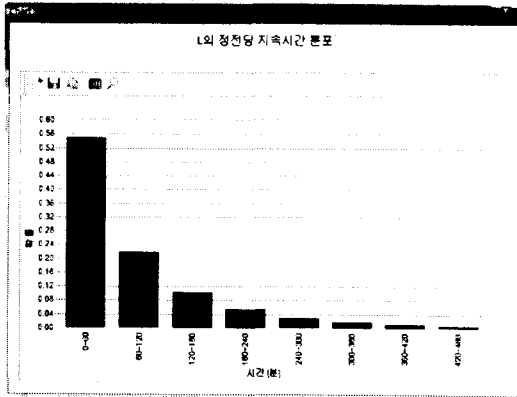


그림 7. 정전당 LOLD 분포 그래프  
Fig. 7. Distribution chart of LOLD per blackout

그림 5는 신뢰도 평가 결과 화면으로 종료 사유와 함께 각 피더별 신뢰도 지수를 보여준다. 또한 각 신뢰도 지수별로 관련된 확률분포그래프를 얻을 수 있으며, 그 예는 그림 6, 7과 같다.

끝으로 개발한 프로그램은 비정상적인 값으로 신뢰도 평가를 수행하고자 하는 경우에 오류를 발생하도록 하였고, 입·출력 파일이 정해진 키워드로 시작하지 않는 경우에도 오류를 발생하도록 하였다.

#### 4. 사례연구

그림 8은 캐나다 CEA(Canadian Electrical Association) 보고서에서 발췌한 시스템으로 11개의 요소로 이루어져 있다[1]. 그림에서 요소 1~5는 차단기로서 양방향 교장을 모두 차단한다고 가정하며, 요소 6~8은 모선이고, 요소 9~11은 변압기이다.

이 시스템은 외부 시스템과 6개의 선로를 통하여 연결되며 변압기 고압측의 위치에 따라서 송전선로와 피더가 다르게 결정된다. 본 사례연구에서는 6개의 선로 모두에 대하여 신뢰도 평가를 하였으며, 각 요소의 기본 신뢰도 데이터는 표 3과 같다.

그림 8의 시스템에 대하여 최대 모의년수를 5,000,000년으로, 종료조건을 상대오차 1.5[%]로 하여서 신뢰도 평가를 한 결과는 그림 9와 같다.

개발한 프로그램의 검토를 위하여 개발한 프로그램의 결과와 동일한 사례에 대하여 Roy Billinton 이 신뢰도 분석을 수행하여 문헌에[1] 수록한 연간

LOLF 확률분포 및 정전당 LOLD 확률분포를 비교하여 보았다. 표 4, 5는 연간 LOLF의 확률분포이고 표 6, 7은 정전당 LOLD의 확률분포로서, LOLD의 단위는 '분'이다.

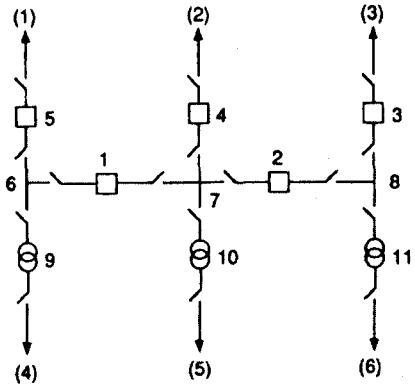


그림 8. 사례연구 시스템  
Fig. 8. Sample system for case study

표 3. 사례연구의 기본 신뢰도 데이터  
Table 3. Basic reliability data for the case study

요소	active failure rate (occ./yr)	passive failure rate (occ./yr)	repair time (hr/occ.)	switching time (hr/occ.)
차단기	0.002	0.0001	126.0	1.0
모선	0.025		13.0	
변압기	0.026		43.1	1.0

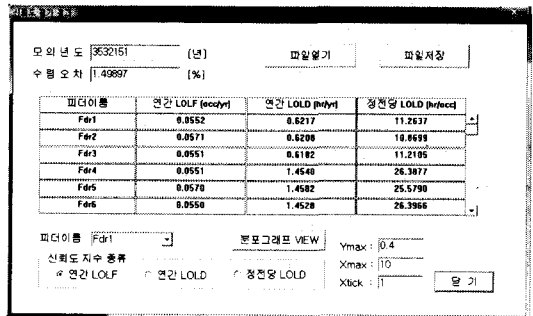


그림 9. 사례연구의 신뢰도 평가 결과  
Fig. 9. Assessment results of the case study

표 4와 표 5는 거의 일치하는 결과를 보인 반면, 표 6과 표 7은 대체적으로 비슷하면서도 약간의 차이를 보이고 있다. 두 결과를 비교하는 방법으로, 그

**표 4. 연간 LOLF 확률분포(개발한 프로그램)**  
**Table 4. Probability density distribution of annual LOLF(developed program)**

	0	1	2	3	4
Fdr1	0.9463	0.0523	0.0015	0.0000	0.0000
Fdr2	0.9444	0.0540	0.0016	0.0000	0.0000
Fdr3	0.9463	0.0522	0.0015	0.0000	0.0000
Fdr4	0.9464	0.0522	0.0015	0.0000	0.0000
Fdr5	0.9445	0.0539	0.0016	0.0000	0.0000
Fdr6	0.9464	0.0521	0.0015	0.0000	0.0000

**표 5. 연간 LOLF 확률분포(Roy Billinton)**  
**Table 5. Probability density distribution of annual LOLF(Roy Billinton)**

	0	1	2	3	4
Fdr1	0.9462	0.0522	0.0016	0.0000	0.0000
Fdr2	0.9441	0.0544	0.0015	0.0000	0.0000
Fdr3	0.9462	0.0523	0.0015	0.0000	0.0000
Fdr4	0.9462	0.0521	0.0016	0.0000	0.0000
Fdr5	0.9442	0.0543	0.0015	0.0000	0.0000
Fdr6	0.9463	0.0522	0.0015	0.0000	0.0000

**표 6. 정전당 LOD 확률분포(개발한 프로그램)**  
**Table 6. Probability density distribution of LOD per blackout(developed program)**

	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
Fdr1	0.7564	0.1154	0.0539	0.0266	0.0128
Fdr2	0.7634	0.1118	0.0527	0.0251	0.0129
Fdr3	0.7557	0.1149	0.0543	0.0264	0.0131
Fdr4	0.4137	0.1902	0.1133	0.0730	0.0501
Fdr5	0.4352	0.1841	0.1098	0.0697	0.0483
Fdr6	0.4165	0.1902	0.1131	0.0714	0.0505

림 6의 사례 시스템을 보면 Fdr1과 Fdr3, Fdr4와 Fdr6은 각각 완전히 대칭이므로 연간 LOLF 와 정전당 LOD의 분포가 동일하게 나와야 한다. 표 6의 개발한 프로그램의 결과가 표 7의 Roy Billinton의 결과보다 이러한 대칭성을 좀 더 잘 보여주므로 본 연구에서 개발한 프로그램이 보다 정확한 결과를 산출하였다고 추정할 수 있다. 그러나 이로부터 개발한 프로그램이 더 우수하다고 단언할 수는 없으며,

본 프로그램의 종료조건을 완화시키면 보다 못한 결과를 제시할 수도 있다.

다음에 개발한 프로그램으로 동일한 신뢰도 평가를 10회 반복하여 얻은 10개의 신뢰도 지수의 편차를 각 신뢰도 지수의 최대값으로 정규화한 결과를 표 8에 실었다.

**표 7. 정전당 LOD 확률분포 (Roy Billinton)**  
**Table 7. Probability density distribution of LOD per blackout (Roy Billinton)**

	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
Fdr1	0.7617	0.1167	0.0562	0.0218	0.0073
Fdr2	0.7637	0.1072	0.0524	0.0258	0.0153
Fdr3	0.7506	0.1118	0.0560	0.0306	0.0158
Fdr4	0.4102	0.1839	0.1209	0.0764	0.0465
Fdr5	0.4197	0.1906	0.1107	0.0743	0.0500
Fdr6	0.4039	0.1842	0.1199	0.0828	0.0489

**표 8. 신뢰도 지수 편차(%)**  
**Table 8. Deviation of reliability indices**

피더이름	연간 LOLF (occ/yr)	연간 LOD (hr/yr)	정전당 LOD (hr/occ)
Fdr1	0.904	3.545	3.067
Fdr2	0.524	3.209	2.796
Fdr3	0.904	1.774	1.367
Fdr4	0.906	2.107	0.850
Fdr5	0.524	1.187	1.031
Fdr6	0.906	0.998	1.111

본 연구에서 개발한 프로그램은 '연간 LOD'의 상대 오차를 기준으로 프로그램의 종료여부를 판별한다. 본 사례연구에서는, 상대오차 1.5[%]가 종료조건이었으므로 근사값 신뢰도 지수 편차는 3[%] 이내여야 한다. 표 8에 의하면 몇 경우에 3[%]이상의 편차를 보였는데, 이는 2절에서 밝힌바와 같이 종료조건 신뢰도가 95.4[%]이고 정규화과정에서 근사값을 사용하였기 때문인 것으로 생각된다. 대체적으로는 예상한 오차범위내의 편차를 보였으므로 개발한 프로그램의 종료조건 타당성도 검증되었다고 할 수 있다.



## 5. 결 론

본 논문에서는 변전소 신뢰도평가를 위하여 개발한 컴퓨터 소프트웨어를 소개하였으며, 개발한 소프트웨어는 다음과 같은 특징이 있다.

- 신속한 신뢰도 평가를 위하여 시스템상태전이 샘플링을 이용한 몬테카를로 모의를 기반으로 하였다.
  - 사건간의 배타성을 가정함으로써 시스템상태전이 샘플링을 이용하면서도 수리시간의 확률모형으로 비지수분포를 사용할 수 있도록 하였다.
  - 사건 발생 직후 및 복구조작 후의 정전피더목록을 작성하도록 함으로써 변전소 내부의 복잡한 복구규칙을 쉽게 반영할 수 있도록 하였다.
  - 신뢰도 평가의 결과로써 피더별로 연간정전횟수, 연간정정시간, 정전당 지속시간과 함께 그 확률 분포를 제공하도록 하였다.
  - 변전소를 구성하는 각 요소의 신뢰도 데이터의 입력을 쉽게 하도록 전용 창을 구성하였다.
- 개발한 프로그램은 검증과정을 거쳐서 해의 신뢰도를 확인하였다.

### 감사의 글

본 논문은 산업자원부 전력산업연구개발사업인 전력IT 기술개발사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

## References

- [1] R. Billinton and W. Li, Reliability Assessment of Electric Power Systems Using Monte Carlo Methods, Plenum Press, New York, 1994.
- [2] R. Brown, Electric Power Distribution Reliability, Marcel Dekker, New York, 2002.
- [3] Math H. J. Bollen, Understanding Power Quality Problems, IEEE Press, New York, 2000.

## ◇ 저자소개 ◇

### 김광원 (金光源)

1966년 5월 14일생. 1989년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996년~현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수.

### 우경행 (禹庚幸)

1970년 7월 22일생. 1993년 울산대학교 전자및전산기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 전자공학과 박사수료. 2005년~현재 이앤아이테크(주) 대표.

### 연승호 (玄升鎬)

1962년 10월 30일생. 1991년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1996~2002년 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단 시스템개발팀장. 2002~2004년 명지대학교 전기공학과 차세대 전력기술연구센터 연구교수. 2004년~현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 조교수.

### 손진만 (孫晉滿)

1970년 10월 1일생. 1994년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 동 대학원 전기·컴퓨터공학부 졸업(공학박사). 1996~2001년 현대건설 기술연구소 연구원. 2001~2003년 기초전력연구원 전임연구원. 2006년~현재 LS산전 중앙연구소 책임연구원.

### 한진희 (韓辰熙)

1970년 1월 13일생. 1993년 경북대학교 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년~현재 LS산전 중앙연구소 책임연구원.

### 신용학 (申龍鶴)

1960년 6월 3일생. 1984년 한양대학교 자연공학대 수학과 졸업. 1987년 동 대학원 전자계산학과 졸업(석사). 1988년~현재 LS산전 중앙연구소 수석연구원.