

전력 공급신뢰도 평가를 위한 교육용 소프트웨어 개발

(A Development of Educational Software for Power System Reliability Assessment)

김광원*

(Gwang Won Kim)

Abstract

This paper is on the development of computer software which can be utilized as a power system analysis tool for reliability assessment education. The input data of the developed software are so simple that even a non-expert easily understand how to use it. The software provides not only reliability indices but also their distributions, moreover, it provides the factors those effect the indices, which made the software even more useful for educational purpose. The developed software utilized Monte-carlo simulation based on the state duration sampling, therefore it can manage various probability distributions such as exponential, Weibull, gamma and lognormal distribution. Within the software, the parameters of the distribution can be decided automatically from its mean and variance, that is another advantage as an educational software.

Key Words : Computer Software, Power System Education, Reliability Assessment

1. 서 론

일상에서 사용되는 전기에너지원 중에서 차지하는 신재생에너지의 비율이 증가하고 스마트 그리드에 대한 연구가 확산되고 있는 현 환경에서 전력시스템의 공급신뢰도는 그 중요성이 부각되고 있다[1-3]. 공급신뢰도란 부하에 중단없이 전력을 공급할 수 있는 정도를 나타내는 지표로, 신뢰도 평가를 통해서 각 부하의 정전빈도 및 연간정전시간 등 유용한 정보를 산정

할 수도 있고 현 시스템의 신뢰도를 향상시키기 위한 효율적인 방법을 모색할 수도 있다.

전력시스템은 다양한 설비로 구성되어 있지만, 신뢰도 평가에서는 크게 노드와 요소로 구분할 수 있다. 요소는 선로, 변압기, 차단기, 스위치 등 발전기와 부하를 제외한 거의 모든 설비를 대표하는 개념으로 요소의 양단에는 노드가 위치한다. 노드는 전력시스템 해석에서의 모선(bus)과 유사한 개념으로 노드 중의 일부는 전원점 또는 부하점으로 지정할 수 있다. 전력시스템의 각 부하에 대한 공급신뢰도는 전원점과 부하점간의 전기적인 연결여부가 관건이므로 전력시스템을 이루는 요소의 신뢰도 데이터를 바탕으로 전원점과 부하점간의 연결 상태를 확률적으로 파악함으로써 신뢰도를 평가한다[4-6].

* Main author : Professor in the School of EE,
Univ. of Ulsan
Tel : 052-259-2186, Fax : 052-259-1686
E-mail : gwangwon@gmail.com
Received : 2015. 5. 8
Accepted : 2015. 6. 11

전력시스템의 신뢰도 평가에 대한 연구는 이미 오래 전부터 진행되어 오고 있으나, 주로 효과적인 평가 기법에 대한 연구이기에 전력시스템의 신뢰도 자체를 이해하고자하는 학습자가 쉽게 접할 수 있는 연구 결과는 찾기가 어렵다.

이에 본 논문의 연구에서는 전력시스템의 구성이 공급신뢰도에 미치는 영향을 이해하고자 하는 학습자가 쉽게 사용할 수 있는 교육용 소프트웨어를 개발하였다. 개발한 소프트웨어에서는 각 요소의 간단한 신뢰도 정보만으로 각 부하점에서의 신뢰도 지수 및 그 확률분포를 산정할 수 있으며, 각 요소가 공급신뢰도에 미치는 영향 또한 파악할 수 있어서 학습자가 대상 시스템의 신뢰도 상황을 파악하고 이해하는데 도움이 되도록 하였다. 또한 본 논문에는 개발한 소프트웨어의 구체적인 절차와 이에 사용된 신뢰도 평가기법을 상세히 수록함으로써 전력시스템의 공급신뢰도 평가 기법 자체를 학습하거나 컴퓨터 프로그래밍을 학습하는 학생들을 대상으로 캡스톤 디자인 교육을 하는 데에 활용할 수 있도록 하였다.

2. 문제의 정의

부하에 전력을 원활히 공급하려면 전원에서 부하로 전력을 공급할 수 있는 경로가 존재하여야 하고, 경로를 흐르는 전력량을 경로상의 각 요소가 감당할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 문제를 다소 간략화하여 각 요소의 정격용량은 충분하다고 가정하였고 전원과 부하간의 연결 상태만을 기준으로 전력공급의 신뢰도를 평가하였다.

전력시스템의 공급신뢰도를 평가하는 데는 그림 1과 같은 형태의 단선도(one-line diagram)를 구성하는 것이 편리한데, 이 경우에 단선도는 전력시스템 해석에서의 모선과 유사한 개념인 노드와 그 외의 선로, 변압기 등을 의미하는 요소로 구성된다.

그림 1의 단선도는 다섯 개의 노드와 일곱 개의 요소로 구성되는데, 노드는 전원점, 부하점 및 그 외의 노드로 구분할 수 있다. 본 논문에서 개발한 소프트웨어는 다음과 같은 입력 데이터를 바탕으로 신뢰도 평가와 관련된 유용한 정보를 산출하여 출력한다.

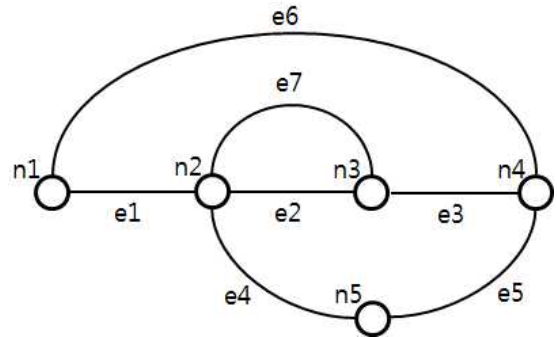


그림 1. 신뢰도 평가를 위한 단선도 예
Fig. 1. Example of one-line diagram for reliability assessment

- 입력 데이터
 - 노드와 요소의 연결정보
 - 전원점과 부하점의 위치
 - 각 요소의 고장발생시간 관련 확률분포 및 고장수리에 소용되는 시간 관련 확률분포
- 출력 데이터
 - 각 부하점의 연간평균 정전횟수 및 정전시간
 - 각 요소가 부하점의 신뢰도에 미치는 영향 분석

출력 데이터에는 각 부하점의 신뢰도 지수 외에도 각 요소가 신뢰도에 미치는 영향을 포함하고 있는데, 이 정보는 목표하는 부하점에서의 공급신뢰도를 향상시키기 위한 최적의 방법을 선정하는데 도움이 된다.

3. 공급신뢰도평가 절차

본 연구에서 개발한 전력시스템 공급신뢰도 평가를 위한 소프트웨어의 전체적인 절차는 그림 2와 같다.

3.1 데이터 읽기

개발한 소프트웨어에서 목적하는 공급신뢰도를 평가하기 위해서 필요로 하는 입력데이터의 구체적인 내용은 다음과 같다.

- 노드 및 요소의 개수
- 전원점 및 부하점에 해당하는 노드번호
- 각 요소로 연결되는 노드번호
- 각 요소의 기본 신뢰도 정보

- 경로1 : 요소 e6
- 경로2 : 요소 e1, e2, e3
- 경로3 : 요소 e1, e3, e7
- 경로4 : 요소 e1, e4, e5

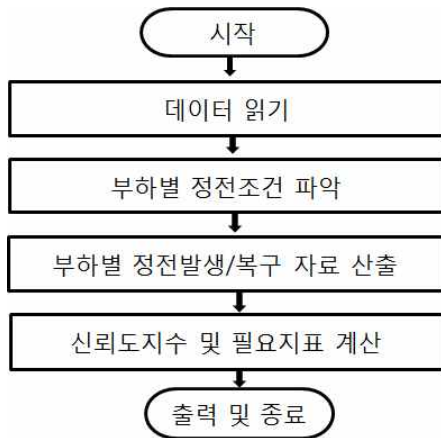


그림 2. 전체적인 흐름도
Fig. 2. Overall flow chart

위에서, 각 요소의 기본 신뢰도 정보는 요소별로 설비가 투입되어 고장이 발생할 때까지의 시간을 의미하는 TTF(time to failure) 및 설비에 고장이 발생하여 시스템으로부터 분리되었다가 재투입될 때까지의 시간을 의미하는 TTR(time to repair)의 확률분포인데, 개발한 프로그램에서는 그 확률분포로서 지수분포, 감마분포, 와이블분포, 로그정규분포 중에서 사용자가 가장 적당한 분포를 선택할 수 있도록 하였다. 아울러, 확률분포의 파라미터를 산정하기 어려운 경우에도 입력데이터를 쉽게 준비할 수 있도록, 분포의 종류와 함께 평균과 분산을 입력하면 해당 파라미터를 내부적으로 계산하게끔 프로그램하였다.

3.2 부하별 정전조건 파악

예를 들어 그림 1의 단선도에서 노드 n1이 전원점이고 노드 n4가 부하점인 경우에 전원점과 부하점을 연결하는 모든 경로는 다음의 네 경우이며, 그 중에서 건전한 경로가 하나라도 있으면 노드 n4에 정전이 발생하지 않는다.

임의로 지정되는 전원점과 부하점 정보로부터 위와 같은 경로를 파악하려면 주어진 전력시스템의 연결 관계를 파악하기 위한 탐색알고리즘이 필요하다. 일반적으로 사용되는 탐색 알고리즘으로는 깊이우선탐색법과 너비우선탐색법이 있는데[7], 본 논문에서는 부하점인 노드에서 시작하여 그림 3의 절차를 따르는 깊이우선탐색을 수행하였다.

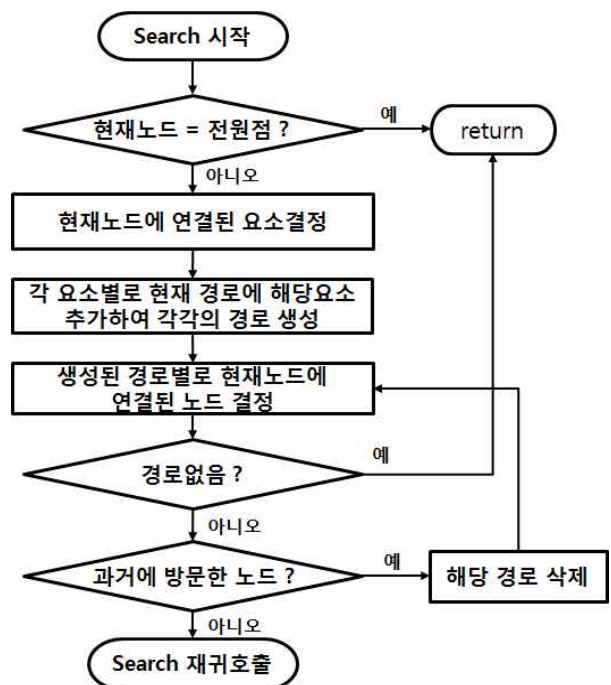


그림 3. 경로 탐색절차
Fig. 3. Path searching procedure

본 논문에서 다루는 문제는 사전에 탐색 깊이를 알 수 없는 깊이우선탐색 문제이므로, 그림 3과 같이 재귀호출(recursion)을 이용하는 것이 바람직하다. 탐색의 목적은 부하노드와 전원노드를 연결하는 모든 경로를 찾는 것이며, 각 경로는 경로를 이루는 요소들의 집합으로 표현된다. 그림 3의 절차를 보면 재귀호출을

할 때마다 경로에 요소가 하나씩 추가되는데 탐색과정에서 과거에 방문했던 노드를 만나면 해당 경로는 의미가 없어지므로 스택에서 삭제되며 전원노드를 만나면 해당 경로는 완성된 경로로 보존한다. 그림 3의 탐색은 스택내에 더 이상의 새로운 경로가 없으면 종료된다.

다음의 3.3절에서는 각 부하의 정전관련 정보를 확률적으로 산출하는 절차를 설명하며, 본 3.2절에서 구한 부하별 정전조건 경로정보를 이용한다.

3.3 부하별 정전발생/복구 자료 산출

선로, 변압기 등 각 요소의 TTF 및 TTR 확률분포로부터 부하별 정전 정보를 얻기 위한 방법으로는 해석적인 방법과 모의(simulation) 방법이 있는데, 해석적인 방법은 계산시간 및 정확도 면에서 유리하지만 다양한 확률분포를 다룰 수 없으므로 본 논문에서는 몬테카를로 모의를 이용하여 부하별 정전 정보를 산출하였다. 또한 몬테카를로 모의도 샘플링 방법에 따라 상태샘플링(state sampling), 상태-구간 샘플링(state duration sampling), 시스템상태 천이 샘플링(system state transition sampling) 등으로 구분할 수 있는데[4], 본 논문에서는 다양한 확률분포의 반영이 가능하고 정전 지속시간뿐 아니라 빈도와 관련된 정보를 얻을 수 있는 상태-구간 샘플링 방법을 적용하였다.

상태-구간 샘플링은 순차샘플링 방법으로, 시스템을 구성하는 각 요소의 TTF 및 TTR의 확률분포를 따르는 확률변수를 발생시켜서 해당 요소가 정상적으로 동작하는 시간구간(on-time)과 문제가 생겨서 개방된 시간구간(off-time)의 순차정보를 만든다. 모든 요소의 순차정보가 만들어지면 이를 종합하여 부하점의 정전 여부 및 정전 지속시간을 결정할 수 있다. 예를 들어 그림 1의 시스템에서 노드 n1이 전원점이고 노드 n4가 부하점인 경우에 부하가 전원에 연결되는 경로는 3.2절에서 나열한 네 가지 경우인데, 요소 e1과 e6의 개방 시간구간이 겹치게 되면 네 경로가 모두 개방되어 부하점 n4에는 정전이 발생한다. 본 예에서는 이 외에도 요소 e2, e3, e4, e6이 동시에 개방되는 경우

에도 정전이 발생하는데, 노드 n1의 부하에 정전이 발생하는 모든 경우는 3.2절에서 탐색한 경로를 바탕으로 결정할 수 있다.

한편 경로데이터를 이용하여 아래와 같이 모든 경로가 개방되는 정전발생경우를 모두 정리하여 두면 시스템에 대한 더 유용한 신뢰도 정보를 얻을 수 있다.

- 정전발생경우1 : 요소 e1, e6의 개방
- 정전발생경우2 : 요소 e3, e4, e6의 개방
- 정전발생경우3 : 요소 e3, e5, e6의 개방
- 정전발생경우4 : 요소 e2, e4, e6, e7의 개방
- 정전발생경우5 : 요소 e2, e5, e6, e7의 개방

위의 정전발생경우는 포함관계가 없어야 하며 정전을 발생하는 최소한의 요소로 구성하여야 의미가 있다. 즉 요소 e2, e3, e4, e6이 동시에 개방되는 경우에도 정전이 발생하지만 이는 위의 ‘정전발생경우2’에 포함되며 이 경우에 요소 e2의 개방 유무는 정전발생에 영향을 미치지 않으므로 목록에서 제외된다. 이렇게 정리한 ‘정전발생경우’는 부하별로 전력공급신뢰도를 산출하는데 이용할 수 있을 뿐 아니라 각 요소가 부하별 정전에 미치는 영향을 산출하는데도 사용할 수 있다.

상태-구간 샘플링을 사용자가 지정한 모의시간 동안 반복하면서 위의 ‘정전발생경우’에 적용하면 모의시간동안 각 부하별로 정전이 발생하는 시각 및 정전지속 시간을 구할 수 있다. 한편 모의의 종료조건에 해당하는 모의시간이 길수록 3.4절에서 설명하는 신뢰도 지수의 신뢰도가 향상되지만 계산에 소요되는 시간이 길어지게 되므로, 대상 시스템에 따라서 적절한 모의시간을 지정할 필요가 있다.

본 3.3절에서 구한 부하별 정전발생 및 지속시간을 바탕으로 3.4절에서는 부하별 신뢰도 지수 및 기타 필요지표의 계산 절차에 대해 설명한다.

3.4 신뢰도 지수 및 필요지표 계산

3.3절의 절차에서 구한 다음의 정보를 이용하면 각

부하별도에 신뢰도 지수 뿐 아니라 여러 가지 의미있는 정보를 구할 수 있다.

- T_s : 모의시간 (year)
- n_i : 부하 i의 정전발생 횟수 (occurrence)
- ts_{ij} : 부하 i의 j번째 정전발생 시각 (hour)
- te_{ij} : 부하 i의 j번째 정전종료 시각 (hour)

전력시스템의 중요한 신뢰도 지수로는 대표적인 정전 빈도관련 지수인 연간정전빈도(LOLF; loss of load frequency)와 정전 시간관련 지수인 연간정전시간(LOLD; loss of load duration)을 생각할 수 있는데, 다음 식에 따라 산출할 수 있다.

$$LOLF_i = \frac{n_i}{T_s} [\text{occ./yr}] \quad (1)$$

$$LOLD_i = \frac{1}{T_s} \sum_{j=1}^{n_i} (te_{ij} - ts_{ij}) [\text{hr./yr}] \quad (2)$$

또한 부하별 ‘정전발생 경우’ 정보를 이용하면 각 요소가 해당 부하의 정전에 연루되는 확률을 구할 수 있다. 3.3절에서의 다섯 가지 정전발생경우를 예로 들면, 요소 e2는 정전발생 경우 4와 5에만 포함되므로 요소 e2가 정전에 연루되는 확률은 식 (3)으로 구할 수 있다.

$$\frac{n_{i4} + n_{i5}}{n_i} \times 100\% \quad (3)$$

- 여기서, n_i : 부하 i의 정전발생 횟수
- n_{ik} : 경우 k에 의한 부하 i의 정전발생 횟수

한편, 3.3절의 절차에서 모의시간 동안 발생하는 모든 정전의 발생 및 종료시각을 구하였으므로 이로부터 신뢰도지수 뿐 아니라 연간 정전발생빈도 및 정전 지속시간의 확률분포 또한 쉽게 구할 수 있다. 이는 상태-구간 샘플링을 이용한 몬테카를로 모의의 장점 중 하나이다.

4. 사례연구

본 논문에서는 범용 소프트웨어인 matlab을 이용하여 3절에서 설명한 절차를 따르는 신뢰도 평가 소프트웨어를 개발하였으며, 개발한 소프트웨어를 이용하여 다음과 같이 사례연구를 수행하였다.

4.1 기본 시스템

본 사례연구에서는 그림 1의 시스템을 대상으로 신뢰도 평가를 수행하였다.

평가 대상 시스템은 다섯 개의 노드와 일곱 개의 요소로 구성되는데 전원점은 한 개, 부하점은 두 개이며 구체적인 정보는 다음과 같다.

- 전원점 : 노드 n1
- 부하점 : 노드 n3, n4
- TTF : 와이블 분포(평균 1000시간, 분산 1000시간)
- TTR : 와이블 분포(평균 30시간, 분산 100시간)

본 사례에서는 모든 요소의 TTF, TTR을 같은 분포로 가정하였으나 필요에 따라서 와이블, 감마, 로그정규, 지수분포 중에서 적절한 분포를 선택할 수 있도록 프로그램하였으며 분포의 평균과 분산 또한 요소별 특징에 맞도록 지정할 수 있도록 하였다.

본 사례의 입력데이터 파일의 형태는 그림 4와 같다. 요소데이터는 요소번호 순서이며, 첫 두 열은 해당 요소가 연결하는 노드의 번호이고 다음 세 열은 TTF 데이터, 마지막 세 열은 TTR 데이터이다. TTF 및 TTR 데이터에서 w는 와이블 분포를 의미하며 다음 두 열은 각각 평균과 분산이다. 모의시간은 10^8 시간으로 하였다.

위와 같이 TTF 와 TTR에서 확률분포의 파라미터가 아닌 분포의 평균과 분산을 입력데이터로 함으로써 학습자가 데이터를 준비하기도 편하고 물리적인 느낌도 가질 수 있도록 하였다. 한편 와이블, 감마, 로그정규 분포는 두 개의 파라미터를 갖는 확률 분포이므로 입력한 평균과 분산을 모두 사용하여야 파라미터를 유일하게 결정할 수 있는 반면에, 지수분포는 하

나의 파라미터만을 가지므로 입력한 데이터 중에서 평균만을 이용하여 파라미터를 결정하도록 하였다. 평균과 분산으로부터 확률변수의 파라미터를 정하는 구체적인 방법은 참고문헌을 참조하기 바란다[8-9].

사례연구의 신뢰도 평가 결과는 그림 5와 같다. 결과에서 부하 1번과 2번은 입력 순서대로 노드 n3과 노드 n4에 해당한다. 평가 결과를 보면 전원점에서 먼 노드 n4의 신뢰도가 노드 n3에 비하여 다소 우수하게 나왔는데, 이는 노드 n4를 전원점과 직접 연결하는 요소 e6의 영향이라고 생각된다.

```

% 데이터 시작 =====
모의시간 = 1e8
노드개수 = 5
전원점 = [ 1 ]
부하점 = [ 3 4 ]

요소개수 = 7
요소데이터 = [ 1 2 w 1000 1000 w 30 100
                2 3 w 1000 1000 w 30 100
                3 4 w 1000 1000 w 30 100
                2 5 w 1000 1000 w 30 100
                5 4 w 1000 1000 w 30 100
                1 4 w 1000 1000 w 30 100
                2 3 w 1000 1000 w 30 100 ]

% 데이터 끝 =====
    
```

그림 4. 입력 데이터
Fig. 4. Input data

```

< load no. 1 >
* LOLD = 8.21 [hr/year]
* LOLF = 0.65 [occ/year]

< load no. 2 >
* LOLD = 7.98 [hr/year]
* LOLF = 0.62 [occ/year]

< Element별 정전연루 확률(%) - 횟수 >
      1      2      3      4      5      6      7
Load 1: 96.06  3.94  10.24  3.80  2.99  89.76  3.94
Load 2: 92.87  0.25  6.88  3.52  3.61  100.00  0.25

< Element별 정전연루 확률(%) - 시간 >
      1      2      3      4      5      6      7
Load 1: 97.01  2.99  7.68  2.91  2.09  92.32  2.99
Load 2: 94.86  0.15  4.98  2.74  2.40  100.00  0.15
    
```

그림 5. 기본 시스템의 평가결과
Fig. 5. Assessment results of the base case system

그림 5의 평가 결과에 따르면 요소 e6이 노드 n4의 정전과 관련되는 확률이 100%인데 이는 노드 n4에 정전이 발생했다면 요소 e6이 개방되어 있을 확률이 100%임을 의미하며 그 역은 성립하지 않는다.

그림 5의 평가 결과를 보면, 요소 e1과 요소 e6이 정전에 미치는 영향이 매우 크므로 두 요소에 해당하는 설비의 신뢰도를 높이는 것이 시스템의 공급신뢰도를 향상시키는 효과적인 방법이라고 할 수 있으며, 그 다음 우선순위로는 요소 e3이 적절함을 알 수 있다.

그림 6은 정전이 발생하였을 때 정전지속시간의 확률분포 그래프로서 위에서부터 각각 노드 n3과 노드 n4의 부하에 대한 그래프이다. 그래프로부터 정전의 절반 정도는 발생한 후 10시간 이내에 복구되며 3일 이상 지속되는 정전은 많지 않음을 알 수 있는데, 이러한 정보는 단순히 대표 숫자로 주어지는 신뢰도지수로부터는 얻을 수 없는 유용한 정보이다.

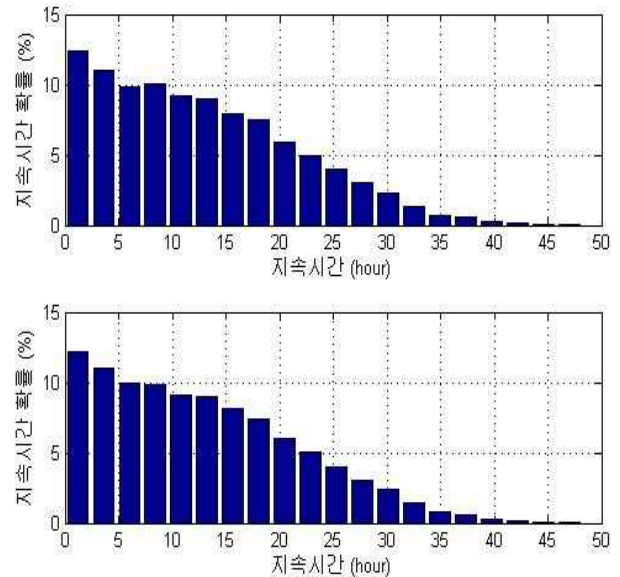


그림 6. 정전지속시간 확률분포
Fig. 6. Probability distribution of blackout duration

그림 7은 개발한 소프트웨어 출력을 캡처한 화면이다. 신뢰도 지수 및 요소별 분석 결과는 matlab의 command window 및 출력 텍스트 파일에서 확인할

수 있고, 정전지속시간 확률분포는 별도의 출력 그래프에서 확인할 수 있으며 필요에 따라 그림파일로 저장할 수 있다.

이상과 같이 개발한 소프트웨어를 이용하여 샘플 시스템의 기본 신뢰도 정보로부터 부하의 전력공급신뢰도를 평가하여 보았으며, 개발한 소프트웨어를 이용하면 매우 간단한 입력데이터만으로도 여러 가지 유용한 신뢰도 정보를 구할 수 있음을 확인하였다.

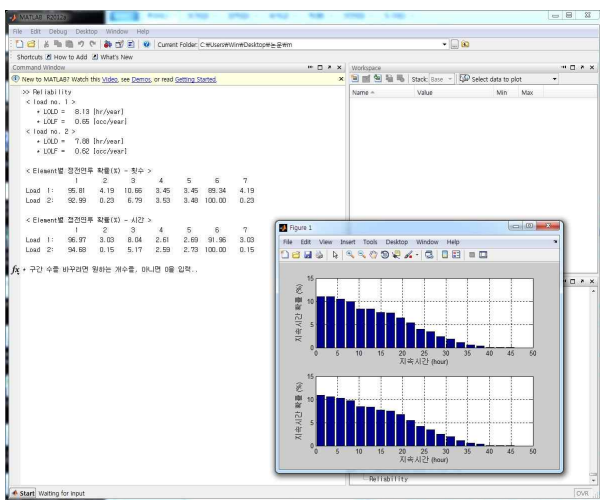


그림 7. 평가결과 화면
Fig. 7. Display of the assessment results

4.2 기본 시스템의 변경

본 사례연구에서는 4.1절의 기본시스템에 변화를 주어 해당 변화가 전력 공급의 신뢰도에 미치는 영향을 평가하였다.

4.2.1 요소 e7의 탈락

그림 1의 기본 시스템에서 요소 e7를 탈락시키고 신뢰도를 평가한 결과는 그림 8과 같다. 신뢰도 평가결과를 기본 시스템과 비교해 보면, 특히 노드 n3에 있는 부하1의 신뢰도가 급격히 저하되었다. 이는 요소 e7가 탈락함으로써 요소 e1을 거쳐 부하1에 공급하는 전력의 신뢰도가 크게 저하되었기 때문이다. 한편 노드 n4에 있는 부하2의 공급신뢰도는 요소 e6를 통해 직접 공급하는 전력의 영향을 크게 받는데, 이 경로에

는 변화가 없으므로 신뢰도 지수가 크게 변하지 않았다고 해석된다.

4.2.2 새로운 요소 e8의 추가

그림 1의 기본 시스템에 새로운 요소 e8을 추가하고 신뢰도를 평가하였는데, 그림 9는 요소 e1을 동일한 신뢰도를 가지는 요소로 2중화한 경우이고, 그림 10은 요소 e3을 2중화한 경우이다. 결과를 보면 요소 e1을 2중화한 경우가 훨씬 더 개선된 결과를 보였는데, 이는 기본 시스템의 신뢰도 평가에서 분석한 바와 같이 요소 e1이 e3보다 정전에 미치는 영향이 훨씬 크기 때문이다.

< load no. 1 >						
* LOLD =	15.85 [hr/year]					
* LOLF =	1.20 [occ/year]					
< load no. 2 >						
* LOLD =	8.48 [hr/year]					
* LOLF =	0.65 [occ/year]					
< Element별 정전연루 확률(%) - 횟수 >						
	1	2	3	4	5	6
Load 1:	51.26	48.74	49.08	3.51	3.56	50.92
Load 2:	87.48	6.19	6.33	6.03	6.49	100.00
< Element별 정전연루 확률(%) - 시간 >						
	1	2	3	4	5	6
Load 1:	51.32	48.68	49.05	2.51	2.41	50.95
Load 2:	90.96	4.25	4.78	4.35	4.69	100.00

그림 8. 변경시스템 1의 평가결과
Fig. 8. Assessment results of the modified system 1

< load no. 1 >								
* LOLD =	0.42 [hr/year]							
* LOLF =	0.05 [occ/year]							
< load no. 2 >								
* LOLD =	0.65 [hr/year]							
* LOLF =	0.07 [occ/year]							
< Element별 정전연루 확률(%) - 횟수 >								
	1	2	3	4	5	6	7	8
Load 1:	53.26	46.74	46.92	3.44	4.71	53.08	46.74	53.26
Load 2:	32.93	2.67	64.40	30.26	36.82	100.00	2.67	32.93
< Element별 정전연루 확률(%) - 시간 >								
	1	2	3	4	5	6	7	8
Load 1:	53.73	46.27	46.87	2.24	3.97	53.13	46.27	53.73
Load 2:	32.99	1.83	65.17	29.86	37.15	100.00	1.83	32.99

그림 9. 변경시스템 2의 평가결과
Fig. 9. Assessment results of the modified system 2


```

< load no. 1 >
+ LOLD = 7.37 [hr/year]
+ LOLF = 0.57 [occ/year]
< load no. 2 >
+ LOLD = 7.36 [hr/year]
+ LOLF = 0.57 [occ/year]

< Element별 정전연루 확률(%) - 횟수 >
      1      2      3      4      5      6      7      8
Load 1: 99.54  0.46  0.50  0.44  0.15  99.50  0.46  0.50
Load 2: 99.48  0.28  0.24  0.29  0.23  100.00  0.28  0.24

< Element별 정전연루 확률(%) - 시간 >
      1      2      3      4      5      6      7      8
Load 1: 99.73  0.27  0.30  0.23  0.07  99.70  0.27  0.30
Load 2: 99.76  0.14  0.11  0.12  0.13  100.00  0.14  0.11
    
```

그림 10. 변경시스템 3의 평가결과
 Fig. 10. Assessment results of the modified system 3

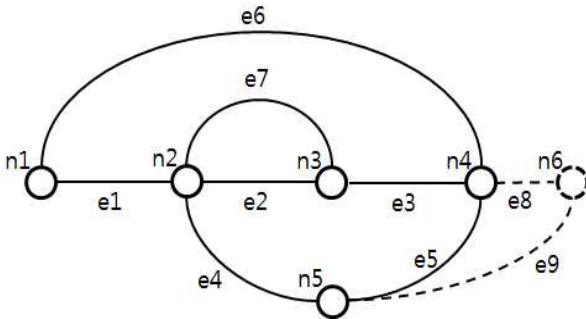


그림 11. 변경된 사례시스템
 Fig. 11. Modified system for case study

```

< load no. 1 >
+ LOLD = 7.85 [hr/year]
+ LOLF = 0.64 [occ/year]
< load no. 2 >
+ LOLD = 7.54 [hr/year]
+ LOLF = 0.61 [occ/year]
< load no. 3 >
+ LOLD = 15.25 [hr/year]
+ LOLF = 1.24 [occ/year]

< Element별 정전연루 확률(%) - 횟수 >
      1      2      3      4      5      6      7      8      9
Load 1: 95.87  4.13  8.44  4.44  0.24  91.56  4.13  0.11  0.14
Load 2: 96.51  0.20  3.29  3.26  0.23  100.00  0.20  0.10  0.13
Load 3: 47.67  0.11  1.63  3.50  2.02  49.28  0.11  1.96  0.06

< Element별 정전연루 확률(%) - 시간 >
      1      2      3      4      5      6      7      8      9
Load 1: 96.98  3.02  6.32  3.41  0.12  93.68  3.02  0.06  0.06
Load 2: 97.43  0.11  2.46  2.40  0.16  100.00  0.11  0.06  0.10
Load 3: 48.23  0.06  1.21  2.59  1.49  49.43  0.06  1.44  0.05
    
```

그림 12. 변경시스템 4의 평가결과
 Fig. 12. Assessment results of the modified system 4

4.2.3 새로운 부하의 추가

그림 11은 그림 1의 기본 시스템에 새로운 부하 노드 n6와 새로운 요소 e8, e9를 추가한 시스템으로 추가된 부분은 점선으로 표시하였다. 추가된 요소의 신뢰도 정보는 기존 요소와 동일하다고 가정하고 평가한 신뢰도 결과는 그림 12와 같다. 평가 결과를 보면 부하1과 부하2의 신뢰도도 다소 개선되었는데, 이는 추가된 선로 e8과 e9를 통해 기존 부하에 전력을 공급하는 새로운 전력공급 경로가 만들어졌기 때문인 것으로 해석된다. 한편 부하3은 기존 부하에 비하여 전원에서 멀리 위치하므로 전력 공급의 신뢰도가 상대적으로 낮을 수밖에 없다.

5. 결 론

본 논문의 연구에서는 전력시스템의 공급신뢰도를 평가하는데 사용할 수 있는 교육용 소프트웨어를 개발하였다.

개발한 소프트웨어는 쉽게 구하거나 가정할 수 있는 간단한 입력 데이터만으로 신뢰도를 평가할 수 있고, 평가결과로서 정전 빈도/시간과 관련된 신뢰도 지수 뿐 아니라 신뢰도 관련 지수의 확률분포를 함께 제공하며, 특히 각 계통요소가 신뢰도에 미치는 영향을 정량적으로 제공함으로써 대상 시스템의 신뢰도 관련 정보를 종합적으로 이해하는데 도움이 되도록 하였다.

학습자들은 개발한 소프트웨어를 이용하여 다양한 경우에 대하여 신뢰도를 평가해 봄으로써 제한된 비용으로 신뢰성 높은 시스템을 구성할 수도 있으며, 또는 현재 시스템의 신뢰도를 요구되는 수준까지 높일 수 있는 경제적인 향상 방안도 탐구해 볼 수 있다.

캡스톤 디자인 교육에서는 본 논문에서 제시한 방법을 근간으로 신뢰도 평가용 소프트웨어를 직접 개발해보도록 함으로써 학습자들의 신뢰도평가 방법에 대한 이해도를 향상시킬 수 있고 컴퓨터 프로그래밍 능력 또한 배양할 수 있으리라고 생각한다.

향후에 내부적으로는 신뢰도 평가에서 전력시스템을 구성하는 각 요소의 정격용량까지도 고려하고,

외부적으로는 사용자의 편리성을 증진시키도록 인터페이스를 개선하여 보다 완성도 높은 전력 공급 신뢰도 평가를 위한 교육용 소프트웨어를 개발하고자 한다.

References

- [1] R. Billinton and G. Bai, "Generating Capacity Adequacy Associated With Wind Energy", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol.19, No.3, pp.641-646, September 2004.
- [2] Z. Qin and W. Li, "Generation System Reliability Evaluation Incorporating Correlations of Wind Speeds With Different Distributions", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.28, No.1, pp.551-558, February 2013.
- [3] Yi Ding, C. Singh, et al., "Short-Term and Medium-Term Reliability Evaluation for Power Systems with High Penetration of Wind Power", IEEE Trans. on Sustainable Energy, Vol.5, No.3, pp.896-906, July 2014.
- [4] R. Billinton and W. Li, Reliability Assessment of Electric Power Systems Using Monte Carlo Methods, Plenum Press, 1994.
- [5] R. Brown, Electric Power Distribution Reliability (2nd edition), CRC Press, 2009.
- [6] Math H. J. Bollen, Understanding Power Quality Problems, pp.89-98, IEEE Press, 2009.
- [7] George F. Luger and William A. Stubblefield, Artificial Intelligence, pp.86-100, Benjamin Cummings, 1993.
- [8] A. Leon-Garcia, Probability and Random Processes for Electrical Engineering (2nd edition), pp.99-119, Addison Wesley, 1994.
- [9] Gwang Won Kim, "A Study on the Substation Reliability Assessment Using Weibull Distribution", Trans. of the KIEE, Vol.51, No.1, pp.7-14, January 2002.

◆ 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 전기공학부 교수.