

FTA를 이용한 배전계통 신뢰도 분석

구분희* 차준민* 김형철**
 대진대학교* 한국철도기술연구원**

Reliability Analysis of Distribution Systems by using FTA

BonHui Ku* Jun-Min Cha* Hyungchul Kim**
 Daejin University* Korean Railroad Research Institute**

Abstract - 배전계통은 수용가에 전력을 공급하는 설비로서 계통의 안정적인 운영을 위하여 배전계통의 신뢰도를 산정하는 것은 중요한 의미를 갖는다. 본 논문에서는 배전계통을 구성하는 설비와 수용가의 전력 공급 유무에 따른 신뢰도를 산정하였다. Fault Tree Analysis(FTA)는 시스템의 고장을 해석하는 방법으로 사용된다. 시스템의 고장을 발생시키는 사건원인을 분석하여 Fault Tree(FT: 고장목)를 작성하고, 시스템을 구성하는 설비들의 고장확률 계산을 통하여 전 시스템의 신뢰성을 산정할 수 있다. 본 연구에서는 Relx 7.7 프로그램을 사용하여 FTA를 수행하였다.

1. 서 론

전력계통의 운영의 목적은 양질의 전력을 안정적으로 공급하는 것이라고 할 수 있다. 이 중 변전소를 거쳐 수용가에 전력을 공급하는 역할을 담당하는 배전계통은 공급신뢰도에 중요한 영향을 미친다고 할 수 있다. 본 논문에서는 5개의 구간과 5개의 수용가를 갖는 22.9kV 방사상 배전계통을 구성하고[1], 이들 설비와 수용가의 전력 공급 유무에 따른 신뢰도를 산정하기 위하여 FTA 알고리즘에 적용하여 신뢰도를 산정하였다. FTA는 각 시스템을 구성하는 사건 원인 분석을 통하여 기본사상(Basic Event)을 작성하고, 논리구조에 따라 FT를 구성한 후 시스템을 구성하는 설비들의 고장확률을 통하여 시스템의 신뢰도를 산정할 수 있다. 본 연구에서는 Relx 7.7 프로그램을 사용하여 FTA를 수행한다.

2. 배전계통의 구성

일반적으로 배전용 변전소로부터 부하에 전력을 공급하는 데는 몇가지 방식이 있다. 배전계통은 넓은 지역 내에서 각각의 장소에 분산된 다수의 수용가에게 전력을 직접 배분 공급하는 계통으로 차단기, 단로기, 급전선, 간선 등으로 구성되어 있다. 차단기(Circuit Breaker: CB)는 전류의 흐름을 전달 개폐하는 역할을 하며 단로기(Disconnecting Switch: DS)는 계통의 점검·보수를 위하여 무부하상태에서 선로를 분리하거나 변경하기 위하여 사용되는 장치로 차단기와 단로기는 개폐장치라고도 한다. 급전선(feeder)은 배전변전소로부터 배전 간선에 이르기까지 도중에 부하가 일체 접속되지 않는 선로를 말하며, 간선은 배전선로에서 부하로 배전하는 역할을 하며 분기선과 주상변압기가 접속되기도 한다.

방사상식 배전계통은 변전소로부터 인출된 배전선이 부하의 분포에 따라 나뉘어지고 같은 모양으로 분기선을 내면서 각 방면에 이르는 것이다. 방사상 방식은 수요증가에 따라 간선이나 분기선을 연장하거나 증강하여 쉽게 사용할 수 있다는 장점이 있으나 사고발생시 다른 계통으로 전환할 수 없기 때문에 사고의 위험이 크고 전압변동 및 전력손실이 크다는 결점이 있다[2,3].

3. 신뢰도의 산정

3.1 Fault Tree Analysis

FTA(Fault Tree Analysis)는 신뢰도와 안전성 분석을 위해 행하는 기법으로, 일반적으로 복잡하고 동적인 시스템에 적용된다[4]. FTA는 시스템의 전체와 일부분의 고장이 어떠한 논리로 결부되어 있는지를 FT(Fault Tree)로 나타내어 시스템의 고장을 해석하는 방법이다. 시스템의 고장이나 결함을 발생시키는 사상(event)을 사건 원인에 따라 논리게이트를 이용하여 FT를 작성하고 시스템의 고장확률을 구하여 고장이 발생한 부분을 찾아 시스템의 문제점이나 시스템의 신뢰성을 개선할 수 있다. FT의 작성은 시스템 고장의 최상위사건 즉, 주요 시스템 고장(Top event)을 규정하고 사건을 일으키는 하위 고장의 원인을 찾아 각 요소별 연결의 인과관계에 따른 논리게이트로 결합하여 더 이상 분해가 불가능한 기본사상(Basic event)이 될 때 까지 반복한다.

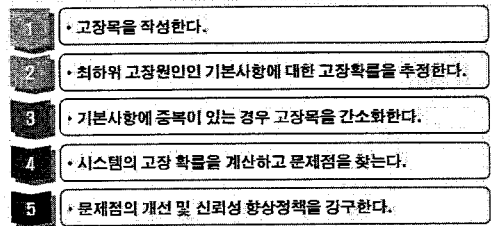


그림 1. FTA 수행 과정

FTA의 해석과정은 다음의 4단계로 나타낼 수 있다.

- Step 1.** FT(Fault Tree)구축. 시스템의 정의와 범위, 바람직하지 못한 사건의 정의를 명백하게 한다.
- Step 2.** 사건들 사이의 고장을 발생시키는 관계들을 연결하기 위해 논리게이트에 적용한다.
- Step 3.** 최상위사건(Top event)의 확률을 결정하기 위해 데이터를 적용하여 각 사건의 발생확률을 구한다.
- Step 4.** 시스템에 영향을 끼치는 모든 가능한 고장형태에 대한 신뢰도를 고려한다.

FTA는 시스템의 고장 원인의 연역적인 추론과 분석이 가능한 방법으로 사실과 현상이 복잡한 경우 인과관계를 알기 쉽다는 장점이 있다.

3.2 고장률의 산정

시스템의 신뢰도를 산정하는 방법으로는 여러 방법이 사용되고 있다. 시스템의 신뢰도는 전체 시간 중 시스템의 고장이 일어나지 않고 동작하는가를 평가하는 것으로 연속적인 시간함수로 표시되며, 고장률 λ 는 신뢰도를 측

정하고자 하는 시스템 설비의 성능을 평가하기 위한 것으로 다음과 같이 나타낸다[4].

$$\lambda(T) = \frac{N_f(\Delta T)}{N_{bp}(T_i) \cdot \Delta T} \quad (1)$$

여기서,

$N_f(\Delta T)$ = T_i 에서 ($T_i + \Delta T$)사이 기간 동안 고장난 설비의 수

$N_{bp}(T_i)$ = 관찰 중 ΔT 가 시작하는 시점(T_i)에서의 장비대수

ΔT = T_i 후 경과 시간, $N_f(\Delta T)$ 만큼 설비가 고장

위의 식 (1)은 평균고장률을 나타낸다. ΔT 의 기간동안 고장이 발생할 확률로 ΔT 에 해당하는 고장확률이 된다. 평균고장률의 측정치는 ΔT 가 변화함에 따라 변화하며 $N_f(\Delta T)$ 도 함께 변화한다.

3.3 FTA에서의 Gate확률 산정

FTA에서 시스템의 고장확률은 n개의 기본사상의 논리게이트의 결합으로 계산되어진다. 본 논문에서의 논리 구조는 AND gate와 OR gate로 이루어져 있다.

AND gate로 이루어진 사상의 발생확률 F는 식 (2)와 같다.

$$F = F_1 \cdot F_2 \cdots F_n = \prod_{i=1}^n F_i \quad (2)$$

OR gate의 결합으로 이루어진 사상의 고장 발생확률은 식 (3)과 같다[5].

$$F = 1 - [1 - F_1][1 - F_2] \cdots [1 - F_n] = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i) \quad (3)$$

4. 사례연구

4.1 모델계통

모델계통은 그림 2와 같이 5개의 구간과 5개의 수용가를 갖는 22.9kV 방사상 배전계통으로 구성하였다. 수용가 A~E는 용도, 용량에 관계없이 구성되었다고 가정[1]하고 각 수용가에는 차단기(CB)와 단로기(DS)가 설치되었다고 가정한다[1].

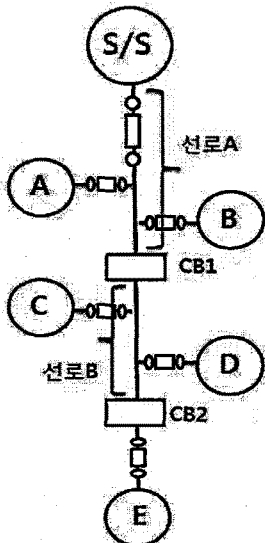


그림 2. 154/22.9kV 방사상 모델 배전계통

신뢰도산정을 위한 입력데이터는 "배전계통의 신뢰도평가에 관한 연구[1]"의 데이터를 사용하였다. 표 1에 나타난 데이터는 실제통의 사고 통계치와 평균치를 사용하였다. 이것은 평균사고율의 기대치를 나타낸 것으로 실제통의 특성에 따라 달라진다.

표 1. 영구사고에 대한 사고 통계치(평균치)

구성요소	사고율 (회수/연간)
가공선로	0.06
차단기	0.017
구분개폐기	0.014
주상변압기	0.01

(주) 선로는 km당 값이며, 그 외는 각 기기 당 값

4.3 FTA를 적용한 고장률 산정

고장률데이터는 FTA 알고리즘에 적용하여 배전계통의 신뢰도를 산정하였다. 시뮬레이션 프로그램은 Relx 7.7을 이용하였다.

수용가 A~E에 전력공급이 되지 못할 경우를 FT로 작성하면 S/S측의 차단기와 단로기가 오동작하거나 선로 A와 B측의 고장, 각 수용가측의 차단기와 단로기가 오동작 하는 경우, 그리고 각 구간을 분리하는 차단기가 오동작 하는 경우로 나타낼 수 있다.

그림 3은 작성된 FT의 Top event 부분의 FTA수행결과를 나타낸다.

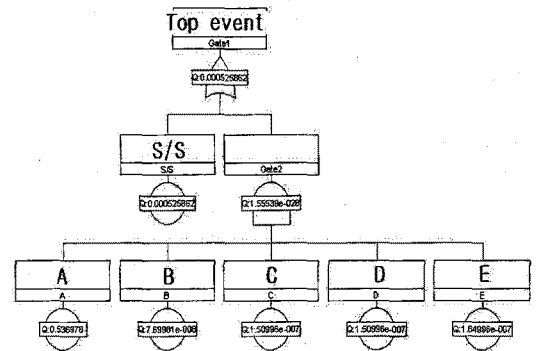


그림 3. FTA수행결과

그림 4는 수용가 E의 FT를 나타내며, 그림 3에 Basic event로 나타난 A~E 역시 각각의 FT를 구성하고, 산정된 값을 FTA에 적용하였다.

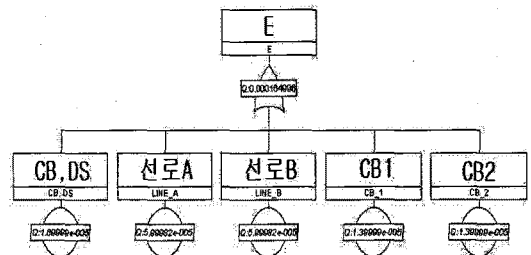


그림 4. 수용가 E의 FT

표 2는 FTA에 사용된 Basic event의 구성내용과 고장률데이터, 그리고 FTA를 수행한 Top event의 결과이다.

표 2. FT의 구성요소와 고장률

구성요소 (Basic event)	고장률	FTA로 산정된 고장률
S/S	0.526	
선로A, B	0.06	
CB, DS	0.017	
CBI, CB2	0.014	
A		7.69981e-008
B		7.69981e-008
C		1.50996e-007
D		1.50996e-007
E		1.64996e-007
Top event		0.000525862

FTA 산정결과 계통 전체에 전력이 공급되지 않을 경우의 확률은 0.000525862로 나타났다. 그러나 산정된 결과는 확률에 기초한 수치들이기 때문에 기본 사상을 이루는 설비의 구조와 고장률의 선택에 따라 시스템의 신뢰도는 변할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 다섯 개의 수용가를 갖는 방사상 구조의 배전계통의 신뢰도를 산정해 보았다. 사례연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. FTA를 적용하여 배전계통의 각 요소별 고장 데이터를 사용함으로써 계통을 구성하는 전체의 신뢰도를 산정할 수 있다.
2. 배전계통의 구성과 데이터를 정확히 알고 실제의 계통에 적용한다면 실제 배전계통의 신뢰도를 산정할 수 있다.
3. 배전계통 설비의 고장률데이터를 이용한 FTA분석은 배전계통을 구성하는 설비의 교체, 유지보수시 효율적인 설비 운영을 할 수 있는 자료로 사용될 수 있다.

시스템의 주기적인 신뢰도 분석을 통하여 배전설비의 보수 계획 수립에 반영하여 효율적이고 경제적인 배전설비 운영에 활용 가능할 수 있을 것이라 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 노대석 외, "배전계통 신뢰도평가에 관한 연구", 2003
- [2] 송길영, "송배전공학", 동일출판사, 2000
- [3] 이용희, "변전설비의 고장률DATA를 이용한 FEEGER 공급신뢰도 분석"
- [4] 김원경, "시스템신뢰도공학", 교우사, 1999
- [5] 구분희, 차준민, 김형철, "장애사례 분석을 통한 전기철도의 신뢰도 산정", 대한전기학회 전력계통연구회 춘계학술대회는문집 pp.165-167, 2008
- [6] U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Fault Tree Handbook", Jan 1981