

스마트 그리드 내 전력 설비의 Risk-Level 평가

이윤성*, 이성훈*, 김진오*
한양대*

Risk-Level Evaluation for Electrical Facilities in Smart Grid

Yun-Seong Lee*, Sung-Hun Lee*, Jin-O Kim*
Hanyang University*

Abstract - 스마트 그리드란 마이크로 그리드 시스템에 IT 기술을 더하여, 에너지 효율의 최적화를 목표로 구축된 시스템을 일컫는다. 이러한 스마트 그리드 시스템은 기존의 전력망에다 실시간 통신 설비, 계량 설비, 전력 저장 장치 등이 추가됨은 물론 시스템 토폴로지의 변화로 설비의 유지보수 계획의 개념을 다르게 할 필요가 있다. 본 논문에서는 스마트 그리드에 적용할 수 있는 새로운 개념의 유지보수 수립 계획을 위해 고장 이벤트의 Risk-Level을 산정하고, 시스템을 분석하는 방법을 제시한다.

1. 서 론

스마트 그리드란 마이크로 그리드 시스템을 기반으로 하여 기존의 전력망에 IT 기술을 접목하여, 전력을 생산하고 공급하는 주체와 그것을 소비하는 주체가 실시간으로 정보를 교환함으로써 에너지 효율의 최적화를 목표로 구축된 시스템을 말한다. 기존의 전력망의 발전 형태가 집중식이라면, 스마트 그리드는 거기에 분산전원이 포함된 형태이며, 통신도 양방향 및 실시간으로 이루어지는 모습을 가진다. 계량도 디지털로 실시간으로 이루어지며, 계통의 사고 발생 시 자동으로 대비하여 사고의 과급을 제한시킬 수 있는 시스템이다. 이렇게 스마트 그리드는 기존의 계통에 실시간 통신 설비, 디지털 계량 설비, 전력 저장 장치 등의 설비가 추가됨은 물론 시스템 토폴로지의 변화로 계통 내 다양한 전력 흐름을 가지고 있는 특징이 있다. 따라서 스마트 그리드 내 전력 설비를 대상으로 하는 유지보수 계획을 위해서는 설비의 고장이나 계통 사고의 측면에서 이벤트 중심으로 분석할 필요가 있다. 본 논문에서는 스마트 그리드에 적용할 수 있는 유지보수 계획에 대해 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 스마트 그리드를 위한 신뢰도기반유지보수

전통적으로 수행되어온 유지보수 계획은 수명이나 특성보다는 운영자의 편리성과 설비 자체의 보존에 초점이 맞추어져 있어, 정비업무가 비효율적이고, 정비업무의 과도한 비용지출로 인해, 유지보수 계획의 경제성이나 시스템의 신뢰도 측면에서 단점이 있다. 신뢰도 기반 유지보수는 이러한 단점을 보완하기 위해 개발된 것으로, 통계적 고장 데이터와 설비의 상태 분석을 통해 효율적인 유지보수 계획을 수립하는 방법이다.[1] 신뢰도 기반 유지보수의 효과로는 직접적인 정비비용의 감소, 고장정비의 최소화, 예방정비의 감소, 시간지향업무대신 상태지향 및 예측업무로 대체, 적용 시스템의 안정성 및 이용률 향상 등이 있으며, 그 절차는 그림 1과 같다.



〈그림 1〉 신뢰도 기반 유지보수 절차

하지만 차세대 전력망인 스마트 그리드에 현재의 신뢰도 기반 유지보수 계획 기법을 그대로 적용할 경우 다음과 같은 문제점이 발생할 여지가 있다.

- 실시간 상태 모니터링이 이루어지는 스마트 그리드 환경 내에서 설비의 실시간 상태 정보가 제대로 반영되지 않을 가능성이 있음.
- 기존의 신뢰도 기반 유지보수 방식에서 수행하고 있는 예측 진단 업무는 과거의 데이터에만 의존하여 의사 결정을 내리므로 자동 감시에 의해 빠르게 유지 보수 업무가 수행되어야 할 스마트 그리드 체제하에서는 그 문제점이 드러남.
- 기존의 신뢰도 기반 유지보수의 목표는 설비의 예방 정비를 위한 최적의 유지보수 주기를 결정하는 것인데, 스마트 그리드 내 전력 설비에 대해서는 설비의 실시간 상태에 의한 상태 기반 유지보수가 더 적합함.

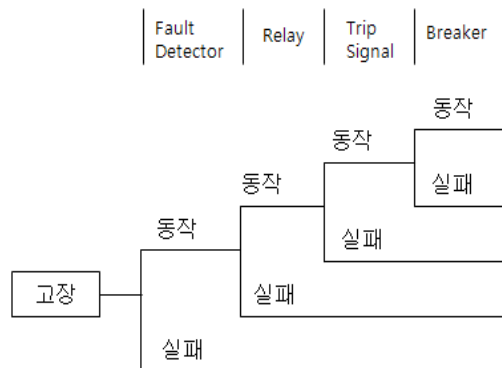
따라서 스마트 그리드 시스템의 유지 보수 계획을 수립할 시에는 앞서 열거한 문제점을 반드시 고려해야 하며, 시스템 구조 자체에 대한 분석이 선행되어야 한다. 이러한 사항을 반영하기 위해서는 실시간 탐지에 기반한 고장 이벤트 중심의 시스템 분석을 수행해야 할 필요가 있으며, 이를 유지보수 운영에 반영하여 계획을 수립해야만 스마트 그리드에 적합한 효율적인 유지보수 업무가 실행될 수 있다.

2.2 Risk-Level 산정

스마트 그리드를 구성하고 있는 전력 설비가 가지고 있는 리스크를 분석하는 첫 번째 단계는 해당 이벤트가 발생할 확률(Probability)과 심각도(Seriousness)를 먼저 정의하는 것이다[2]. 여기서 이벤트 발생 확률이란 해당 이벤트의 발생 가능성을 의미하며, 심각도는 리스크의 영향 정도를 의미한다. 심각도는 특정 사고가 발생하였을 때의 물리적, 사회적 비용을 고려하여 전문가가 산정한다. 이 때, Risk-Level을 기본적으로 산정하는 방식은 식 (1)을 따른다.

$$Risk - Level = Probability \times Seriousness \quad (1)$$

하나의 사고 이벤트 발생은 다수의 원인을 가지고 있을 수가 있는데, 이때는 주요 원인 별로 그 확률과 심각도를 개별적으로 분석하여 합산하여야 한다. 여기서 이벤트 원인 분석의 도구로써 사용할 수 있는 것이 Event-Tree Analysis이다[3]. Event-Tree Analysis는 하나의 고장 이벤트가 발생할 수 있는 모든 경우의 수를 나열하고, 개별 고장 확률을 이용하여 특정 원인에 대한 해당 고장 이벤트가 발생할 가능성을 분석하는 방법이다. 그림 2는 보호 설비에 대하여 Event-Tree를 간단하게 구성한 예이다.



〈그림 2〉 Event-Tree의 구성

고장이 발생하게 되면, 먼저 고장 탐지기가 고장을 검출하게 되고, 고장이 검출되면 계전기가 고장전류를 확인하고, 트립 신호를 보내 차단기가 작동하는 구조이다. 그림 2의 예시와 같은 Event-Tree를 이용하여 특정 이벤트의 모든 고장 원인에 대하여 개별 확률과 심각도를 구할 수 있다. 모든 고장 원인에 대하여 이벤트 발생 확률과 심각도 분석이 끝났다면, 식 (1)을 식 (2)와 같이 확장할 수 있다.

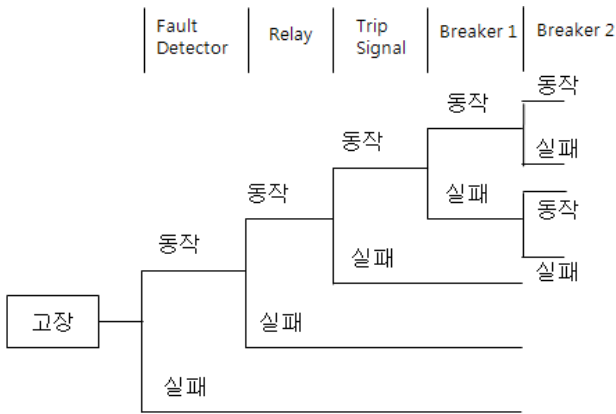
$$Risk-Level_i = \sum_{n=1}^k Probability_{i,n} \times Seriousness_{i,n} \quad (2)$$

여기서, $Risk-Level_i$ 는 이벤트 i 의 Risk-Level, $Probability_{i,n}$ 은 이벤트 i 의 n 번째 고장 원인에 대한 확률, $Seriousness_{i,n}$ 은 이벤트 i 의 n 번째 고장 원인에 대한 심각도, k 는 총 고장 원인의 수를 각각 나타낸다.

식 (2)를 통해 특정 고장 이벤트 i 에 대한 시스템으로의 파급 효과를 파악할 수 있다.

Event-Tree 분석을 통해서 특정 이벤트가 어떠한 순서를 통해 발생한다는 것을 파악할 수도 있지만, 설비의 측면에서 본다면 해당 설비가 얼마나 많은 원인에 포함되어 있고, 얼마나 큰 영향을 미치는 지도 살펴볼 수도 있다.

그림 3은 그림 2의 예시에서 차단기가 직렬로 하나 더 추가된 형태를 나타낸다.



〈그림 3〉 차단기가 추가된 Event-Tree

그림 3과 같은 시스템에서는 여분의 차단기에 의해 시스템의 신뢰도가 상승한다. 그 이유는 첫 번째 차단기가 트립 신호에 반응하지 못하여 작동을 하지 않거나 또는 차단기 자체의 결함으로 작동을 못 할 경우에도 두 번째 차단기가 그 역할을 대신해 줄 수 있기 때문이다. 이러한 원리를 적용하여 설비 별 Risk-Level을 평가하는 방법을 식 (3)에 나타내었다.

$$Risk-Level_j = \sum_{n=1}^k \frac{Probability_{n,j}}{N_{n,j}} \quad (3)$$

여기서, $Risk-Level_j$ 는 설비 j 의 Risk-Level, $Probability_{n,j}$ 는 설비 j 가 포함되어 있는 Event-Tree에서의 해당 이벤트 발생 확률, $N_{n,j}$ 는 설비 j 가 n 번째 고장 원인에 대한 Event-Tree 내 포함되어 있는 설비의 개수를 의미한다.

식 (3)을 통해 특정 설비 j 의 Risk-Level을 산출해 낼 수 있고, 이 값은 해당 설비에 대한 유지보수 비중을 결정하는 데 이용할 수 있다.

그리고 그림 4는 본 논문에서 기술한 이벤트 및 설비의 Risk-Level을 평가하는 절차에 대한 흐름도이다.

2.3 사례연구

본 논문에서 제시한 방법을 그림 3에 나와 있는 간단한 시스템에 적용해 보았다.

고장 이벤트 i 에 대해서 총 5개의 고장 원인이 존재하고, 각 고장 원인에 대해서 표 1에 제시된 것처럼 해당 설비가 오동작을 하여야 한다.

표 2는 표 1에 제시된 데이터를 바탕으로 5개의 고장 원인 별 이벤트 발생 확률을 계산하고, 시스템 전문가가 산정한 심각도를 곱하여 이벤트 i 의 Risk-Level을 산출한 결과를 나타낸다.



〈그림 4〉 Risk-Level 산정 절차

〈표 1〉 이벤트 별 Event-Tree

	Fault Detector	Relay	Trip Signal	Breaker 1	Breaker 2
Probability j	0.03	0.007	0.2	0.05	0.02
Event i,1	○	○	○	○	X
Event i,2	○	○	○	X	○
Event i,3	○	○	○	○	○
Event i,4	○	X	○	○	X
Event i,5	○	X	○	X	○

〈표 2〉 이벤트 별 확률 및 심각도, Risk-Level 결과

	Event i,1	Event i,2	Event i,3	Event i,4	Event i,5
Probability i	2.1E-06	8.4E-07	4.2E-08	3.0E-04	1.2E-04
Seriousness i	9.0	7.0	3.5	0.5	0.2
Risk-Level _i = 0.0001989					

3. 결 론

본 논문은 스마트 그리드 시스템을 위한 유지보수 계획을 수립하는데 있어서 새롭게 고려되어야 할 이벤트 중심의 중요도 판별 방법을 제시하였다. 고장 발생 원인으로 부터 Event-Tree 분석을 통하여 이벤트 별 Risk-Level과 설비 별 Risk-Level을 계산하면 상대적으로 취약한 설비의 판별이 가능해져 효율적인 유지보수 계획 수립이 가능해진다. 사례 연구에서는 특정 고장 이벤트 i 의 Risk-Level을 구해보았고, 이 값은 다른 고장 이벤트의 Risk-Level 값과 비교하여 그 중요도를 가늠할 수 있다. 또한 설비 별 Risk-Level을 구하게 되면 상대적으로 취약한 설비를 파악하는 것이 가능해진다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. Endrenyi et al., "The present status of maintenance strategies and the impact of maintenance on reliability," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 16, no. 4, pp. 638 - 646, Nov. 2001.
- [2] Christophe Lallemand, "Methodology for a Risk Based Asset Management", KTH Electrical Engineering, Mar, 2008.
- [3] Marvin Rausand, and Arnljot Hoyland, System Reliability Theory, 2nd edition, wiley-Interscience, 2004.