

계전기 동작에 의한 광역정전 방지방안

진보건* 이승재* 김상태**
 명지대학교 차세대 전력기술연구센터* 한전KDN(주)**

A Method of Preventing Blackout Caused by Relay

B.G.Jin* S.J.Lee* S.T.Kim**
 Myungji University NPTC* Korea Electric Power Data Network**

Abstract - This paper presents a vulnerability index for hidden failure of protective relays in transmission system. The bad influence can be quantized by an vulnerability index. When there is mis-operation, no-operation or mis-setting, power flow can be quantized by an index. According to the index, relays can be resetting. So the wide area blackout can be prevented.

1. 서 론

전력계통은 발전기, 부하 및 송전선로 등 구성요소 일부의 탈락이 전체 시스템 붕괴로 이어지는 것을 막기 위하여 비상상태 견딜 수 있도록 안전도(Security)를 유지하여 운전하고 있다. 그러나 후비계전기 오정정, 오퍼레이터의 실수, 제어시스템 통신실패, 보호계전기 고장등의 원인으로 비상상태가 되면 광역정전으로 진행될 수 있다.[1][2] NERC(North America Reliability Council)의 정전기록 분석결과에 따르면 800[MW] 이상의 대형 정전사고는 매우 높은 빈도로 발생되고 있는 것으로 나타나고 있다.[3] 이를 방지하기 위해서는 여러 개의 설비가 동시에 고장 나더라도 견딜 수 있도록 충분한 여유를 두어야 하는데 이는 막대한 시설비가 소요되므로 경제적인 관점에서 현실적인 대안이 되지 못한다. 한편으로 보호시스템의 잠재고장(Hidden Failure)이 광역정전에 미치는 영향에 관한 연구도 진행되었으며 잠재고장은 정상시에는 나타나지 않다가 단일 비상사태(Single Contingency)가 발생한 경우에 나타나서 추가적인 선로 차단으로 다중 비상사태(Multi Contingency)를 일으키므로 계통 안전도(Power System Security)에 미치는 위협성이 매우 크다.[4]

기존 광역정전사태의 원인을 분석해보면 계통의 고장 혹은 외란시 선로가 탈락되고 이로 인하여 과부하가 발생하고 이로 인하여 보호계전기가 동작하여 광역정전으로 발전한 경우가 대부분이었으며 계전기의 동작이 정상적인 동작이라 할지라도 그로 인하여 선로에 더욱 큰 과부하가 걸리게 되고 이로 인하여 또 다른 선로의 차단을 야기하게 되어 광역정전으로 발전한 경우가 대부분이며 한 연구결과에 따르면 보호계전기에 의한 영향이 전체 광역정전 사례 중 75%에 달한다고 한다. 따라서 광역정전을 방지하기 위해서는 선로의 과부하 발생시 보호계전기의 오동작을 방지하는 것이 매우 중요하다.

본 연구에서는 계전기의 위험정도를 정량화하여 제시함으로써 계전기의 위험정도를 평가하고 그 수치를 이용하였으며 이를 이용하여 계전기의 잠재고장(오·부동작 및 오정정)에 의한 피해를 미연에 방지할 수 있다.

본문의 구성은 계전기 잠재고장시의 영향에 대하여 분석하고 이를 바탕으로 취약도 지수에서 각 수치의 의미 및 계산방법을 설명하고 제한한 수치가 취약도를 나타내는데 타당함을 보였다.

2. 본 론

2.1 보호시스템의 구성

전력계통의 보호시스템은 주보호와 후비보호로 이루어져 주보호 계전기의 고장 혹은 다른 이유로 동작하지 못할 경우 후비보호가 동작하여 고장을 제거하도록 구성되어 있으며 보호설비는 송전선로, 모선, 차단설비, 변압기가 있다.

154[kV] 계통 보호계전방식은 송전선로의 단락 및 지락보호의 주보호에는 방향비교 트립 저지 방식 또는 PCM 전류 차동 방식이 적용되고 있으며 후비 보호로는 3단계 한시거리계전방식이 이용되고 있다. 모선보호에는 2중 모선인 경우 위상비교 전류 차동 방식이 적용이 되고 있으며, 단모선인 경우 전압 차동 방식을

사용한다. 또한 고장발생시 차단기가 동작하지 못할 경우 인접차단기를 트립시켜 고장을 제거한다. 변압기의 단락 및 지락고장 주보호로는 전류 비율 차동 계전기가 적용되고 후비보호로는 단락고장보호에 과전류 계전방식이 쓰이고 있으며 지락고장 후비보호로 지락 과전류 계전방식이 쓰이고 있다.

2.2 오·부동작 및 오정정시 계통영향

보호기기가 오·부동작 혹은 오정정으로 인하여 계전기가 정동작하지 않으면 건전구간이 탈락하게 된다.

오정정시에는 고장의 위치 혹은 오정정에 따라 다르며 예를 들어 거리계전기의 Zone1 리액턴스요소가 크게 정정되어 있는 경우를 살펴보면 다음과 같다.

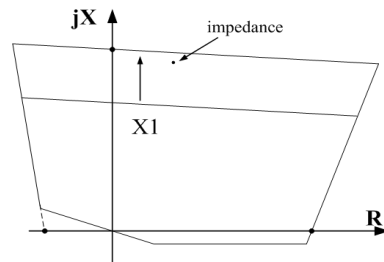


그림 1. Zone1 임피던스 다이어그램

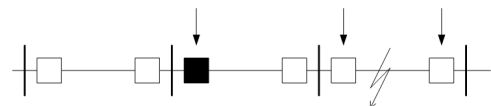


그림 2. 선로 고장 및 동작 계전기

그림 2에서 검정색 위치의 거리계전기 Zone1 리액턴스 요소가 그림 1과 같이 크게 오정정되어 있고 다음구간에 고장이 발생하고 앞구간의 PCM 주보호계전기가 동작하지 못할 경우 앞구간의 거리계전기 Zone1이 동작하여 고장을 제거하게 되고 오정정된 거리계전기가 계산하는 임피던스는 그림1의 impedance와 같이 되어 거리계전기의 Zone1요소가 동작하여 그림 2와 같이 2구간이 계통에서 탈락하게 된다.

Zone1요소가 작게 정정된 경우를 살펴보면 다음과 같다.

거리계전기 Zone1 리액턴스 요소가 작게 오정정되어 있고 구간에 고장이 발생하고 PCM 주보호계전기가 동작하지 못한 경우 오정정된 거리계전기가 계산하는 임피던스는 동작구간에 들어오지 못하여 거리계전기 Zone1이 동작하지 못하게 되고 거리계전기의 Zone2요소가 동작하여 뒷단의 Zone2와 함께 동작하게 되어 오정정 계전기가 뒤쪽 모선에 연결된 모든 선로가 계통에서 탈락하게 된다.

계전기의 오류(오·부동작 및 오정정)시 그 오류에 따라 탈락 선로가 다르게 나타난다. 위의 정정요소 오류시 탈락구간을 분석해보면 오정정으로 인한 탈락선로가 동일한 유형으로 나타나는 오정정요소를 발견할 수 있으며 이를 바탕으로 발생하는 탈락선로의 유형으로 구분하여 이를 분석하면 많은 수의 정정요소를 일일이 분석하지 않고 오류시 어떤 유형에 해당하는지에 대한 정보만으로 몇 가지 탈락선로 유형만을 분석함으로써 계전요소의 취약도를 계산할 수 있다.

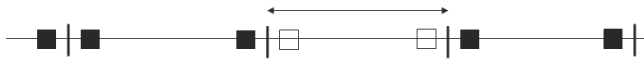


그림 3. 탈락구간 유형 1

위의 그림 3은 계전기 오·부동작시 발생가능한 유형중 1번유형을 나타낸 것이며 각 유형별 원인은 다음 표 1에 정리하였다.

표 1. 각 유형별 계전기 오부동작 원인

유형	오·부동작 원인
유형 1	PCM : I_{min} 값이 작을 경우 거리계전기 : 블라인더 요소(지락, 단락요소)가 크게 정정된 경우 계전기 오동작
유형 2	PCM : K 값이 클 경우(CT포화 발생) 거리계전기 : Zone1 리액턴스 값이 클 경우 Zone2 리액턴스 값이 클 경우 Zone2 한시정정 값이 작을 경우 Zone3 한시정정 값이 작을 경우 블라인더 요소(지락, 단락요소)가 작게 정정된 경우 영상전류 보상요소(지락요소)가 크게 정정된 경우 계전기 오동작
유형 3	거리계전기 : Zone1 리액턴스 값이 작을 경우 Zone1 한시정정 값이 클 경우 Zone2 리액턴스 값이 작을 경우 Zone2 한시정정 값이 클 경우 영상전류 보상요소(지락요소)가 작게 정정된 경우 계전기 부동작

표 1은 각 탈락유형별 원인을 정리한 것으로 유형별 VI를 계산 후 해당원인을 확인함으로써 계전기 오·부동작에 의한 2차적인 피해를 예방할 수 있다.

2.4 취약도 지수

계전기 혹은 계전요소로 잠재고장이 발생하여 탈락구간이 발생한 경우 계통에 미치는 영향을 계산하고 정량화 하기 위해서는 이를 판단할 수 있는 지수가 필요로 하며 이러한 지수들을 통합하여 하나의 수치로 나타내어야 하며 이를 나타낼 수 있는 지수는 전류, 전압, 전력등 많은 수치들이 존재한다.

본 논문에서는 보호시스템에 잠재고장 존재시 발생하는 악영향을 정량화하기 위하여 과부하율을 제안하였으며 이는 선로에 흐르는 전류를 이용하여 수치화 한 것으로 보호 시스템의 오류시 탈락구간이 발생하고 그 결과로 선로에 흐르는 조류가 변화하게 되어 발생하는 과조류의 위험정도를 측정하는 수치로 이용하였다.

$$VI = \sum_{n=1}^k (OL_{nm})(n \neq m) \quad (1)$$

$$OL = \begin{cases} 0 & : \text{Load} < \text{Load}_{max} \\ \text{Load} / \text{Load}_{max} & : \text{Load} > \text{Load}_{max} \end{cases}$$

수식1에서 계전요소의 잠재고장시 과부하율을 합하여 취약도를 계산하고 각 타입별 취약도중 가장 큰 값이 계전기의 취약도가 되며 이는 임의의 한 위치의 보호계전 시스템에서의 취약도 지수를 나타낼 수 있다.

보호계전기에는 여러 계전요소가 존재하며 이 계전요소중 잠재고장이 어디에 존재할지는 모른다. 따라서 잠재고장을 가정하고 이때 선로 탈락이 발생하면 이때 과부하율을 계산하고 이중 가장 큰 값이 계전기의 취약도가 되며 이 취약도를 바탕으로 계전기 잠재고장의 위험정도를 예상하고 이에 따른 피해가 발생하지 않도록 방지하게 된다.

2.5 사례연구

사례연구는 IEEE 39 모선 시스템에서 수행하였으며 그 계통도는 다음과 같고 4, 7, 8, 21번 모선에 연결된 계전기를 대상으로 취약도를 계산해 보았다.

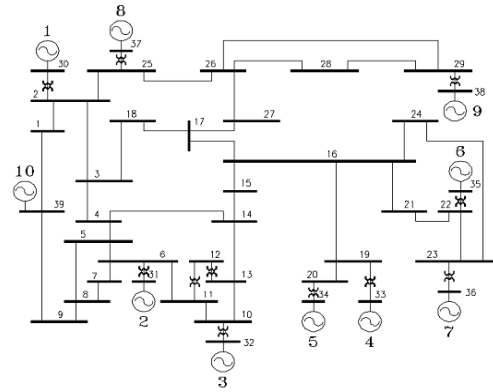


그림 6. IEEE 39 모선 시스템

$Load_{max}$ 은 570[MW]로 계산하였으며 이는 선로의 최대 부하전류를 기준으로 산출되었으며 이를 바탕으로 계산한 결과는 다음과 같다.

표 2. 사례연구 결과

Relay	VI	Relay	VI
4-3	VI(T1) : 5.9077	8-5	VI(T1) : 7.1644
	VI(T2) : 6.9082		VI(T2) : 7.2260
	VI(T3) : 8.0632		VI(T3) : 5.9077
4-14	VI(T1) : 7.0249	21-16	VI(T1) : 6.0481
	VI(T2) : 9.4111		VI(T2) : 7.0605
	VI(T3) : 8.0632		VI(T3) : 8.7740
7-6	VI(T1) : 8.7065		
	VI(T2) : 16.2426		
	VI(T3) : 7.0674		

계전기 4-3은 4번 모선에 설치되어 4-3 선로를 보호하는 계전기이며 VI(T1)은 유형1의 취약도를 뜻한다. 사례연구 결과 7-6 계전기의 유형2가 가장 위험하게 나왔으며 2의 원인은 표1에서 확인할 수 있고 예방하지 않을 경우 광역정전이 발생할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 송전 보호계전 시스템의 잠재고장이 미치는 악영향을 정량화하는 방안에 대하여 제시하고 있으며 이는 잠재고장시 그 영향에 대하여 분석하고 계통에 미치는 악영향을 정량화 하였으며 이를 이용하여 계전기의 재정정 혹은 계전기의 상태확인을 통하여 광역정전의 발생을 미연에 방지할 수 있다.

[감사의 글]

본 연구는 과학기술부 및 한국과학재단의 ERC 프로그램을 통한 지원으로 이루어졌으며 이에 감사사를 드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] "NIGHT OF TERROR", TIME, pp. 24-26, July 25, 1977.
- [2] J. Chen, J. S. Thorp and M. Parashar. "Analysis of Electric Power System Disturbance Data", Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Science, 2001.
- [3] Gregory S. Vassell, Fellow, IEEE, "Northeast Blackout of 1965", IEEE Power Engineering Review, pp. 4-8, January 1991.
- [4] A. G. Phadke and J. S. Thorp, "Expose hidden failures to prevent cascading outages", IEEE Computer Applications in Power, vol. 9, no. 3, pp. 20-23, July 1996.