

광역정전 방지를 위한 적응형 거리계전 기법

배재광*, 임성일*
경남대학교*

Adaptive Distance Relaying Scheme to Prevent Large Blackout

Jae-Kwang Bae*, Seong-Il Lim*
Kyungnam University*

Abstract - The zone 3 elements of distance relays play an important role during the propagation of cascaded events. The most challenging problem to mitigate catastrophic failures is to distinguish between actual faults with line flow transfer from other disconnected lines. This paper presents an adaptive protective relaying scheme based on Line Outage Distribution Factor(LODF) and Generation Shift Factor(GSF) to prevent zone 3 tripping during the cascaded events. Internet based secure peer to peer communication is recommended as a communication method of proposed scheme. Several communication issues such as reliability, speed and cyber security are discussed. In order to establish the feasibility of the proposed scheme, computer simulations for a six bus system has been performed.

로가 차단되면 고장회선의 조류는 임피던스 분포에 따라 인근 건전선으로 흐르게 되고 건전선으로 과부하가 발생된다. 이때 Zone3요소는 과부하 선로를 차단하게 되고 다시 고장선로의 조류가 인근 건전선으로 집중하는 캐스케이딩 현상이 발생한다. Zone3요소의 동작은 정상적인 보호스킴에 따라 작동한 것이기 때문에 오동작이라 할 수 없다. 그러나 결과적으로 캐스케이딩 현상의 원인이 되고 광역정전을 발생시켰으므로 계통운영관점에서 나쁜 영향을 끼쳤다고 볼 수 있다. 따라서 고장구역 내에서 실제고장인지 고장선로부터 유입된 조류에 의한 과부하인지를 판단하여 Zone3요소의 동작을 지연 시킬 필요성이 있다. 만약 인근 선로 차단에 의한 조류집중이 확실하다면 선로가 열적손상을 입기 전까지는 Zone3요소 동작을 억제하는 것이 광역정전방지에 유리하다는 것은 분명하다.

1. 서 론

전력 계통은 전기 사업의 핵심을 이루고 있으며 현대사회에 있어 가장 필수적인 기반설비 중에 하나이다. 또한 전력 계통은 전기산업의 발전과 더불어 그 규모를 확대하고 지역 간 연계를 고려하여 더욱더 거대화 되어가고 있다. 그 결과 전력 계통의 광역정전에 대한 위험도지수는 과거에 비해 현저히 상승하였다.

전력계통은 발전설비, 수송설비 및 수용설비 등의 구성요소 일부분 고장이 광역정전으로 이어지는 것을 막기 위해 N-1 또는 일부 N-2 상정 사고에 대해 견딜 수 있을 만큼의 안전도를 유지하고 있다. 하지만 여러 가지 원인에 의하여 단일 상정사고가 N-3 또는 N-4 상정사고로 진행되어 정전의 영향이 더욱더 확대되고 결국 광역정전으로 진행될 수도 있다. 그러나 전력 계통의 기본 구성이 가장 경제적인 운용을 기반으로 한다는 점에 비쳐 볼 때 가능한 모든 상정사고에 대한 사전대책을 준비한다는 것은 경제적인 관점에서 볼 때 실용적이지 않다[1]. 과거 광역정전에 대한 사후 분석결과는 적절한 시점에 정량의 부하를 탈락시켰더라면 광역정전을 예방 할 수 있었다는 것이 일반적인 견해이다. 전력 계통을 광역정전의 위협으로부터 보호하기 위해 의사결정에 도움을 주는 광역디펜스시스템에 대한 연구가 다방면에서 진행되어 왔다. 광역디펜스시스템을 구현함에 있어 가장 어려운 문제점은 실시간 정보 수집, 의사결정 및 계통조작 등의 일들이 매우 빠른 시간에 이루어 져야한다는 것이다. 왜냐하면 캐스케이딩현상의 원인이 되는 Zone3의 동작시간이 매우 짧아 광역정전으로 진행되는 과정이 매우 빠르기 때문이다[2].

본 논문은 거리계전기 Zone3요소가 동작하려고 할 때 Zone3요소의 선로 차단동작을 미리 억제함으로써 광역정전이 진행되는 동안 광역디펜스 시스템의 복구제어에 필요한 시간을 확보하기 위한 방법을 제시한다.

2. 본 론

2.1 Zone3 요소 동작지연 방법

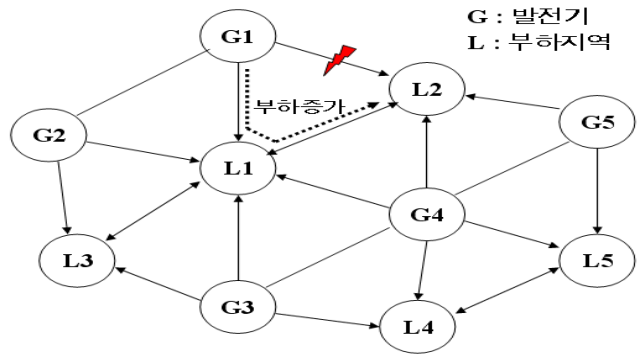
이 단원에서는 광역정전 발생 전 단계인 캐스케이딩 현상 진행과정에서 Zone3역할에 대해 먼저 기술하고 Zone3요소의 동작 지연방법인 ADRS(Adaptive Distance Relay Scheme)시스템과 Zone3동작 차단여부를 결정하는 판단 알고리즘에 관하여 설명한다.

2.1.1 광역정전 진행과정에서 Zone3의 역할

거리계전기는 변전소로부터 취득한 전압, 전류만을 이용하여 임피던스를 계산한다. 계산된 임피던스에는 다양한 원인에 의하여 오차가 포함될 수 있기 때문에 3단계 거리계전방식이 일반적으로 사용된다. 이 거리계전방식에서 Zone3요소의 주된 목적은 전위보호요소인 Zone1과 Zone2가 고장을 차단하지 못했을 때 후비보호로 동작하여 선로를 차단할 목적으로 사용된다. 따라서 Zone3요소의 정정치는 매우 높은 임피던스에 설정되며 경우에 따라 과부하에 의해 동작한다. 다양한 원인에 의해 선

2.1.2 제안하는 시스템 구조

ADRS의 구성은 하나의 CCU(Central Control Unit)와 여러개의 RCU(Regional Control Unit)으로 구성된다. CCU는 중앙컨트롤 센터에 설치되며 주요기능은 LODF(Line Outage Distribution Factor)와 전력계통에 대한 GSF(Generation Shift Factor)[3]의 초기값을 계산하여 그 결과를 주요 변전소 및 발전소에 설치된 RCU들에게 전송한다. 또한 에너지관리시스템과 몇몇 RCU들로부터 계통 토폴로지에 대한 정보를 수집한다. RCU는 실제고장과 조류 집중에 의한 과부하를 구분하고 거리계전기의 트립액션을 제한한다. 그리고 RCU는 타지역에 설치된 RCU 상호간의 통신을 통해 정보를 교환한다.



〈그림 1〉 ADRS 시스템 구성

그림1에서 각각의 발전소와 부하에는 모선이 포함되어 있으며 각 모선에는 RCU가 설치되어 있다. 만약 G1과 L2사이에 고장이 발생했다면 고장선로의 조류는 G1과 L1사이의 인근 건전선으로 집중하게 된다. 이때 G1과 L2에 설치된 RCU는 고장구역 개방을 감지하고 다른 모선에 설치된 각각의 RCU들에게 위상변화를 브로드캐스팅으로 전파한다. G1과 L2에 설치된 RCU를 제외한 나머지 RCU들은 위상변화를 받은 후 각각의 RCU에 할당된 선로조류를 측정하게 되며 이 때 L1에 설치된 RCU는 자기선로에 조류가 집중함을 감지하게 된다. 또한 L1에 설치된 RCU는 LODF를 이용하여 고장선로 개방 후 자기선로의 조류량을 추정한다. L1에 설치된 RCU에 의해 측정된 조류량과 추정된 조류량이 비슷하다면 자기선로의 조류증가 원인이 인근선로의 탈락에 의한 것이라 정확하게 판단 할 수 있다. 따라서 RCU는 Zone3요소의 동작을 차단할 수 있고 여타 디펜스시스템의 적절한 과부하 해소조치가 취해진다면 캐스케이딩 현상에 의한 광역정전을 막을 수 있다.

2.1.3 캐스케이딩 현상 판정 알고리즘

전력계통 모델은 DC 조류계산에서 선형이기 때문에 유효전력 변화에 대한 전압위상각 변화는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta\theta = [X]\Delta P \quad (1)$$

LODF(Line Outage Distribution Factor)는 계통 내에 한 선로가 차단 되었을 때 다른 선로들의 조류증가율로 정의한다. 참고문헌 [3]에서, 선로 k 가 탈락되었을 때 선로 l 에 미치는 영향을 나타내는 $d_{l,k}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$d_{l,k} = \frac{\frac{x_k}{x_l}(X_{in} - X_{jn} - X_{im} + X_{jm})}{x_k - (X_{nn} + X_{mm} - 2X_{nm})} \quad (2)$$

여기서, x_k : k 번째 선로의 리액턴스

X_{ab} : (1)식에 있는 행렬의 a 행 b 열의 요소

i, j : 선로 l 양단의 모선 ID

m, n : 선로 k 양단의 모선 ID

GSF(Generation Shift Factor)는 발전량 변화에 대한 선로조류의 변화율을 나타내며 다음과 같이 정의된다[3].

$$a_{l,g} = \frac{1}{x_l}(X_{ng} - X_{mg}) \quad (3)$$

여기서, l : 감시하는 선로 ID

g : 조류가 유입된 모선 ID

x_l : 선로 l 의 리액턴스

X_{ab} : (1)식에 있는 행렬의 a 행 b 열 요소

m, n : 선로 l 양단의 모선 ID

선로 k 의 개방과 모선 g 의 발전량 트립에 따른 선로 l 의 전력은 다음과 같이 계산된다.

$$\widehat{P}_l = P_l + a_{l,g}P_g + d_{l,k}P_k \quad (4)$$

\widehat{P}_l : 선로 k 가 개방된 후 선로 l 의 전력

P_l : 선로 k 가 개방되기 전 선로 l 의 전력

P_g : 모선 g 의 발전량

P_k : 선로 k 에 흐르는 전력

Zone3요소의 동작 차단여부를 결정해야 하는 시간적 제약 때문에 DC 조류계산을 사용하고 있다. DC 조류계산이 AC 조류계산에 비하여 상대적으로 부정확하지만 다음과 같은 이유 때문에 본 논문에서 제안하는 ADRS에 적용하기에는 큰 문제가 없다. 첫째, 고장과 과부하를 구별하는 기준으로 사용되는 거리계전기의 블라인더 요소는 저항 값을 기준으로 판단하므로 무효전력의 영향이 유효전력에 비하여 매우 작다. 둘째, 계통구성 변경에 따른 영향을 정량화하려는 목적으로 LODF가 사용된 것이므로 조류계산의 정밀도 자체가 중요하지 않다.

계통구성이 순차적으로 변경될 경우 X 행렬은 식(5)와 같은 일반화된 계산방법에 의해 업데이트 된다[4].

$$X_{kl}^{new} = X_{kl} - (X_{ik} - X_{jk})(X_{il} - X_{jl}) / (X_{ij} + X_{ii} + X_{jj} - 2X_{ij}) \quad (5)$$

선로에 고장이 발생하여 보호계전기에 의해 확실히 차단되었다면 고장선로에 흐르던 조류는 인근선로로 이동하게 된다. 그 인근선로에 과부하가 발생되면 거리계전기의 Zone3요소는 선로를 차단하게 되고 캐스캐이딩 현상으로 진행된다. 중요한 과제는 선로의 과부하 원인이 선로고장에 의한 것인지 고장선로 탈락으로 인한 조류이동 인지를 판단하는 것이다. 이를 결정하기 위하여 과부하 선로에서 측정된 조류와 LODF를 이용해 추정된 조류의 크기를 비교한다. 만약 측정치와 추정치가 허용 오차범위 내에 있다면 과부하의 원인은 전력조류 이동일 가능성이 매우 높고 그렇지 않다면 고장에 의한 것이라고 판단할 수 있을 것이다. 이와 같은 판단기준은 다음과 같이 정식화 될 수 있다.

$$|\widehat{P}_l^M - \widehat{P}_l^E| < \epsilon \quad (6)$$

여기서, \widehat{P}_l^M : 선로차단 후의 측정 조류

\widehat{P}_l^E : 선로차단 후의 추정 조류

ϵ : 허용 오차

허용오차는 측정치와 추정치 사이에 존재하는 오차를 수용하기 위하여 사용된다. 측정오차는 측정과정에서 발생하는 고유한 오차를 포함하며 추정오차는 계산과정에서 발생하는 오차로서 DC조류계산의 여러 가지 가정들에 의한 오차를 포함하고 있다. 만약 측정된 값과 추정된 값의 차가 허용오차 범위 내에 있다면 본 논문이 제시하는 방법에 따라 과부하의 원인이 고장에 의한 것이 아니라 전력조류의 이동에 의한 것이라고 판단할 수 있다.

3. 결 론

고장선로 탈락에 의하여 인근 건전선로에 과부하가 발생했을 때 거리계전기 Zone3요소가 동작하는 것은 캐스캐이딩 현상의 원인이 되어 광역정전을 발생시킨다. 본 논문에서 제시하는 적응형 거리계전 기법은 캐스캐이딩 현상이 일어나는 동안 복구제어를 수행하는데 필요한 시간을 확보하는 방법을 제시한다. 조류이동과 실제고장을 판단하기 위하여 인터넷 기반의 P2P통신과 실시간 조류계산 방법인 LODF매트릭스를 이용한다.

[참 고 문 헌]

- [1] P. Fairley. "The Unruly Power Grid." IEEE Spectrum, pp. 22-27, Aug. 2004.
- [2] S. H. Horowitz and A. G. Phadke, "Third zone revisited," IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 21, Issue 1, pp. 23-29, Jan. 2006.
- [3] A. J. Wood, B. F. Wollenberg, "Power Generation Operation and Control", Second Edition, Wiley Interscience, pp. 410-452, 1996.
- [4] M. Shahidehpour and Y. Wang, Communication and control in electric power system, John Wiley & Sons, pp. 265-305, 2003.