

배전계통에서의 agent기반의 보호 및 고장 구간 분리 알고리즘

진영택*, 박성준**, 조용환**, XIANG LING**, GUAN KANGLE**, 이승재**, 최민송**
 명지대학교

A PROTECTION AND FAULT ISOLATION SECTION ALGORITHM USING COMMUNICATION BASED ON INTELLIGENT FOR DISTRIBUTION SYSTEM

Young-Taek Jin*, Sung-Jun Park**, Yong-Hwan Jo**, Xiang Ling**, Guan Kangle**, Seung-Jae Lee**, Myeon-Song Choi**
 Myongji University*

Abstract - 국가차원의 신재생에너지 활성화 방안에 따라 지자체 등의 분산전원 시설계획이 점차 증가하고 있다. 이에 따라서 기존의 radial 구조가 아닌 closed loop를 운영하기 위해서는 보호협조에 대한 문제가 확실히 해결되지 않으면서 계통을 안정적으로 운영할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 radial 계통 및 계통이 변경되거나 분산전원이 연계 시 closed loop 구조를 가지는 계통의 보호기기 및 자동화 개폐기들을 Agent화 시켜 통신을 이용한 보호 및 고장 구간 분리 알고리즘을 제안하고자 한다.

1. 서 론

최근 급격한 경제 성장은 전력소비를 증가시키고 있고, 이에 따라 새로운 대형 발전설비를 설치 한다는 것은 막대한 비용이 소요된다는 문제와 환경오염의 문제가 심각하게 대두되는 어려운 실정이다. 따라서 대형 발전설비 설치비용 문제와 화석연료에 의한 환경오염 문제를 동시에 해결할 수 있는 태양력, 풍력 등의 분산전원 설비에 대한 관심이 한층 더 고조되고 있다. 그러나 이러한 분산전원의 배전계통 연계는 배전계통의 운전, 보호 및 제어에 있어서는 문제 발생 시 그 파급효과가 분산전원 자체뿐만 아니라 배전계통의 다른 인근 수용가들까지 큰 악영향을 미칠 수 있으므로 이에 대한 적절한 보호협조 연구가 필요하다.

배전계통은 송전시스템과 달리 단 방향 전원에 의해 방사상으로 운전되고 있으며, 보호시스템 또한 단 방향 사고전류를 기준으로 하는 과전류계전 방식을 사용하고 있다. 그러나 배전계통에 분산전원이 연계되면 분산전원의 고장 전류기여로 고장전류가 증가되고 이로 인해 보호기기 설정치 정정 및 보호협조 시스템의 재구성 등과 같은 보호협조 문제점이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 배전계통에서의 보호기기 및 자동화 개폐기들을 Agent화 하여 고장 시 Agent 상호간 통신을 통하여 고장 전류 및 방향에 대한 정보를 인접기기에 전송함으로써 고장 검출 및 차단기 개방, 개폐기 on/off를 통한 고장구간을 최소화 시키고 실 계통에서의 적용을 위해 차단기 및 통신에 이상 발생 시 후비 보호가 가능한 알고리즘을 제안한다.

2. 배전계통에서의 agent 기반으로 하는 보호 및 고장 구간 분리 알고리즘

본 논문에서는 각 보호기기 및 자동화 개폐기들을 agent화하여 일반적인 radial계통이나 분산전원 연계나 계통상황 변경 시 closed loop 계통으로 변경되는 계통의 보호기기들이 감지하는 고장전류 및 고장전류의 방향성을 이용하여 고장 지점을 판별하고 자동화 개폐기와 상호 통신을 하여 고장 구간을 최소화 하는 방안을 제시하고, 차단기 및 통신에 이상 발생 시 후비보호가 가능한 알고리즘을 제안한다.

2.1 지능형 Agent의 정의

알고리즘을 제안하기에 앞서 지능형 Agent의 정의를 알아볼 필요가 있다. 지능형 Agent의 정의는 3가지 특성을 가진 Agent라고 생각하면 쉽다. 그 3가지 특성과 각 특성의 의미는 간략하게 아래 나타내었다.

- ① Pro-activity : 목적 달성을 위해서 직접적인 행동을 하는 특성
- ② Social ability : 목적 달성을 위해서 상호작용을 하는 특성 단순한 데이터 교환이 아닌 그 이상의 소프트웨어나 하드웨어의 수준에서 상호 협력하는 특성

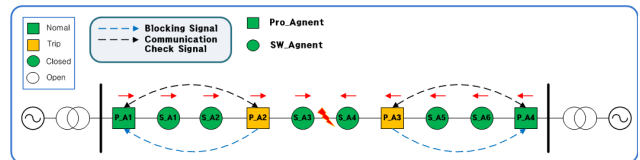
고장전류 차단 대상으로 간단하게 예를 들어보면, 배전계통에 사고가 발생하면 단말 기기들 간의 상호협력력을 통해 필요한 정보를 주고 받고, 정보에 따라 환경변화를 인지하여 능동적으로 고장전류를 검출하고 고장전류를 차단하고, 고장 구간을 분리하여 적절한 보호가 이루어지도록 한다는 것이라고 할 수 있다.

2.2 Closed loop 계통에서의 보호 및 차단 실패 시 보호방안

2.2.1 Closed loop 계통에서의 보호방안

평상시 Radial 구조 운전하다 고장 발생 시 고장구간 분리하는 과정에서 계통이 변경되는데 이 때 변전소가 다른 개소에서 전원이 공급되어 closed loop 형태로 운전 할 수 있고, Radial 구조에 분산전원 연계 시에도 closed loop 형태의 운전을 할 수 있다.

Closed loop 계통에서 사고 발생 시 양방향으로부터 고장전류가 유입이 된다. 또한 양방향에 유입이 되는 고장전류를 검출하여 고장전류를 차단한다.



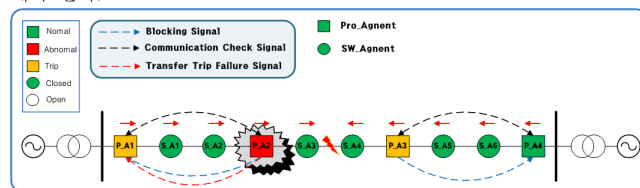
<그림 1> Closed loop 계통의 보호방안

그림 1과 같이 앞 방향 고장을 본 보호기기 P_A2는 전위 보호기기인 P_A3에서 Blocking 신호를 수신하지 못하여 고장전류 차단동작에 들어가고, P_A2와 같은 방향의 고장을 본 P_A1은 P_A2로부터 Blocking 신호를 수신 받아 차단동작을 하지 않는다. 뒷 방향 고장을 본 보호기기 P_A3, P_A4 중 P_A3은 전위 보호기기인 P_A2에서 Blocking 신호를 수신하지 못하여 고장전류 차단동작에 들어가고, P_A4는 P_A3으로부터 Blocking 신호를 수신하여 차단동작을 하지 않는다.

보호기기 P_A1과 P_A2는 고장검출을 하였으나 Blocking 신호로 인하여 차단동작을 하지 않는다.

2.2.2 Closed loop 계통에서의 차단 실패 시 보호방안

Radial 계통에서 고장 발생 시 고장전류를 검출하고 전위 보호기기로부터 Blocking 신호를 받지 못한 보호기기는 차단 동작을 해야 한다. 하지만 기기가상으로 고장전류를 차단 못할 시 후비 Agent가 차단동작을 해야 한다.



<그림 2> Closed loop 계통에서의 차단 실패 시 보호방안

그림 2는 Closed loop 계통의 차단 실패 시 보호방안의 대해서 나타내고 있다. 보호기기 P_A2는 고장전류를 검출 하고 Trip신호를 차단기로 송신하였으나, Trip신호 송신한 시간부터 일정시간 이상 과전류가 흐를 시 Breaker Failure이라 판단하여 후비보호 기기인 P_A1에 TT(Transfer Trip)를 송신하고 후비보호기기 P_A1이 강제 차단하여 고장전류를 차단한다.

2.3 Closed loop 계통에서의 고장 구간 분리 방안

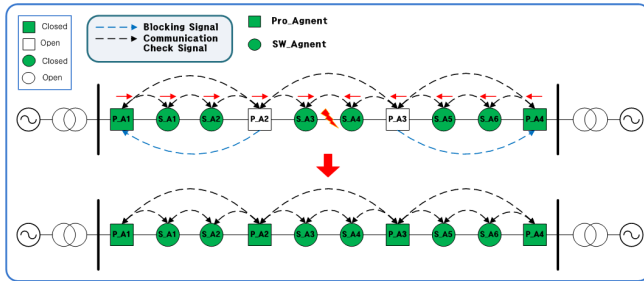
2.3.1 Agent기반의 고장 구간 분리 방안

고장 구간 분리는 순시 고장과 영구 고장을 판단하여 고장구간을 분리해야 한다. 선로에서 발생하는 고장의 90% 이상이 1선 지락 고장이다. 그리고 이러한 고장의 대부분이 순시고장이기 때문에 불필요한 전력

공급의 중단을 막기 위한 고장 구간 분리는 중요하다. 따라서 순시 고장과 영구 고장의 따른 고장 구간 분리 방안을 제시한다.

① 순시 고장 발생에 따른 분리 방안

순시 고장 발생 시 보호기기 agent와 자동화 개폐기 agent들은 다음과 같이 동작 한다.

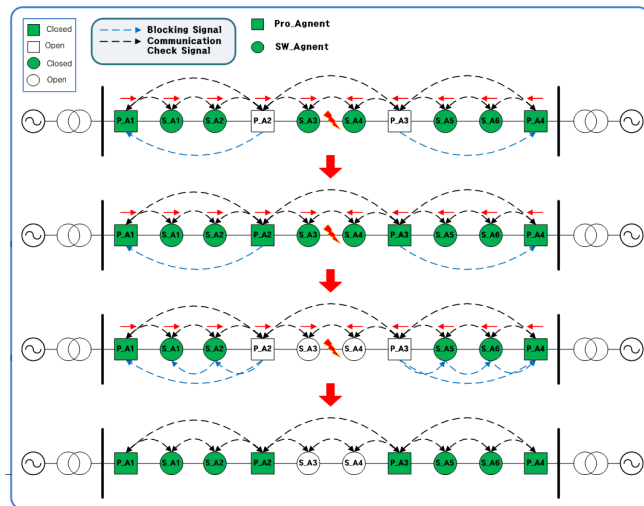


〈그림 3〉 순시 고장 발생에 따른 분리 방안

고장 발생 시 각각의 보호기기 agent들은 고장전류 감지 및 방향을 판단하여 P_A2와 P_A3는 blocking 신호를 수신하지 못하여 trip 신호가 송신되고 차단기들은 재폐로 동작에 들어간다. 1회 재폐로 후 고장전류가 제거 되었음을 확인 후 정상 운전을 계속 한다.

② 영구고장 발생에 따른 분리 방안

영구 고장 발생 시 보호기기 agent와 자동화 개폐기 agent들은 다음과 같이 동작 한다.



〈그림 4〉 영구 고장 발생에 따른 분리 방안

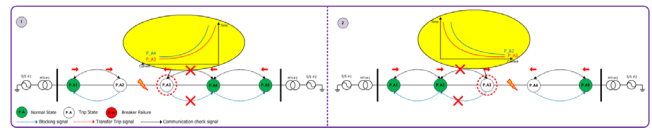
고장 발생 시 각각의 보호기기 agent들은 고장전류 감지 및 방향을 판단하여 P_A2와 P_A3는 blocking 신호를 수신하지 못하여 trip 신호가 송신되고 차단기들은 재폐로 동작을 하고, 자동화 개폐기들은 차단기의 재폐로 동작을 카운트하여 실제 2회 재폐로 시 Open 동작에 한다.

차단기 1회 재폐로 후 고장전류가 제거 되지 않았음을 확인 후 2회 재폐로 동작을 한다. 차단기가 2회 재폐로 동작을 하는 동시에 자동화 개폐기들은 카운트에 맞게 Open 동작을 하여 고장구간을 분리한다. 차단기가 다시 closed 상태가 되면 보호기기 agent들은 고장전류가 제거 되었음을 확인 후 정상 운전을 계속 한다.

2.4 통신 실패 시 보호 방안

배전계통에 분산전원 연계 시 agent 기반의 보호 및 구간 분리 알고리즘을 현장에 적용하기 위해서는 차단기에 이상이 있는 경우 외 통신에 문제가 있는 경우도 고려되어야 한다. 제안한 알고리즘은 기본적으로 상호 통신이 정상적으로 이루어진다는 것을 가정하는 것이다. 통신을 통해 블로킹 신호 및 차단 실패 신호를 인접 기기에 전송함으로써 고장발생 상황에 대한 적절한 보호를 이룬다. 하지만 현장에서는 외부요인에 의해 통신선의 단선 등의 문제가 발생 할 수 있다.

Closed loop계통에서는 양방향 전원이기 때문에 고장전류 또한 양방향으로 흐르게 되며 이는 단방향 고장전류 보다 더 복잡한 보호동작을 요구하게 된다. 따라서 closed loop 계통에서의 보호는 방향성 보호기기를 사용하므로 두 개 동작전류를 가지고 있어야 한다.



〈그림 5〉 통신 실패 시 보호 방안

3. 사례연구

본 논문에서 제안한 배전계통에서의 agent 기반의 보호 및 고장 구간 분리 알고리즘을 검증하기 위하여 Matlab simulink를 이용하여 그림 3을 모델링하였고, 테스트를 하여 사례연구를 진행하였다.

전원은 22.9kV 등가전원을, 선로임피던스와 부하정보는 표 1을 사용하였다. S_A3과 S_A4사이의 구간에서 1선지락 사고(A상)에서 순시 고장 발생과 영구 고장 발생 시 제안한 알고리즘 수행의 적절성을 확인하였다. 또한 실 계통 적용을 고려한 차단기 및 후비보호 알고리즘에 의한 동작도 사례연구를 통해 검증하였다.

〈표 1〉 선로임피던스 및 부하정보

배전선로	영상 임피던스[%km]	11.99 + j29.26
	정상, 역상 임피던스	3.47 + j7.46
부하용량	P[W]	3*10e6
	Q[Var]	10e3

〈표 2〉 상황에 따른 보호기기에서의 전류 크기

상태 \ 기기	P_A1	P_A2	P_A3	P_A4
정상상태 최대부하	239.6	124.2	221.5	336.3
순시고장	239.6	124.2	221.5	336.3
영구고장	202.3	83.3	181.5	293.5
P_A2 이상	0.0175	0.0175	181.5	293.5
P_A1-P_A2 통신 이상	0.0175	0.0175	181.5	293.5

표 2의 시뮬레이션 결과를 통해 논문에서 제안한 알고리즘 적절성을 검증하였다. S_A3과 S_A4 구간 고장 발생 시 이상적인 계통 상황에 있어서는 P2와 P3이 동작하였고, 순시 고장 발생 시에도 1회 재폐로 후 고장전류가 제거 되었음을 확인하고 고장 구간을 분리 하지 않은 것을 확인 하였고, 영구 고장 발생 시에는 자동화 개폐기 P_A3과 P_A4가 open 하여 고장구간을 최소가 되었다는 것을 확인 할 수 있었다. 그리고 P2 이상 시에 P1이 동작하여 고장 구간을 차단하는 것을 확인 할 수 있었고, P_1-P_2사이 통신에 이상이 있는 경우에는 P_1, P_2가 동작하는 것을 볼 수 있었다.

따라서 제안한 알고리즘은 통신에 요구되는 시간이 적절하게 적용된다면 기존의 시지연을 이용한 보호협조 방식보다 더 빠른 시간 내에 보호협조 동작을 하고, 고장 구간을 최소화하여 정전 범위를 줄일 수 있음을 시뮬레이션 결과를 통해 확인 할 수 있다.

4. 결 론

본 논문은 분산전원 도입이나 계통변경 시 복잡한 계통 구성 시 agent 기반의 보호 및 고장구간 분리 알고리즘을 제안하였다. 이상적인 환경에서 뿐만 아니라 현장 적용까지도 고려하고 통신 실패와 같은 보호방안도 알고리즘을 통해 제시하였다.

최근 전력IT분야의 중요한 분야인 IEC 61850에 의한 변전소 자동화 연구가 활발하게 진행되고 있어 제안한 알고리즘이 분산전원이나 복잡한 계통의 대해서 자동화 배전계통의 보호협조 알고리즘으로 유용한 자료가 될 것으로 믿는다.

본 연구는 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다
(No. 2009T100200067)

[참 고 문 헌]

- [1] 서승용, 조용환, 임일형, 최면승, 이승재, "통신을 이용한 closed loop 배전계통의 보호협조 알고리즘", 2010대한전기학회 전력계통연구회 춘계 학술대회 논문집 pp34~36, 2010
- [2] 배전계획서 "배전보호기술서" 2008년
- [3] Mikael M. Nordman, Matti Lehtonen, "An Agent Concept for Managing Electrical Distribution Networks", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 20, 696-703, 2005