EMTP-MODELS를 이용한 Multi-Agent System 기반의 자동 재폐로 계전 알고리즘 구현

論 文
57-1-2

Implementation of Auto-reclosing Relay Algorithm based on Multi-Agent System using EMTP-MODELS

李秉炫*·成魯珪†·呂相敏**·李瑜珍***·金喆煥§
(Byung-Hyun Lee · No-Kyu Sung · Sang-Min Yeo · You-Jin Lee · Chul-Hwan Kim)

Abstract - This paper presents auto-reclosing algorithms with reference to power system stability based on MAS(Multi-Agent System). And this paper shows auto-reclosing algorithms considering power system stability. It includes the variable dead time, optimal reclosing, sequential reclosing, emergency extended equal-area criterion (EEEAC) algorithm, and modified EEEAC algorithm. This paper divides Auto-reclosing algorithms into respectively agents according to their tasks. A separated agent is merely a software entity that is situated in some environment and is able to autonomously react to changes in the environment. And all the simulations in this parer were tested by EMTP MODELS.

Key Words : Multi-Agent System, Agent, Auto-reclosing Relay, EMTP

1. 서 론

전력계통의 안정도와 신뢰도를 높이는 방법은 매우 다양하다. 그 중 특히 재폐로 계전기의 도입은 현 전력계통의 안정도를 향상시키는데 크게 기여하였다.

자동 재폐로란 선로의 고장 검출에 의해 선로가 차단된 후 일정한 시간이 지나고 정해진 조건이 만족할 때 차단기를 재투입하는 방법으로, 송전 선로가 차단된 무전압 시간동안 선로의 고장이 제거되었다면 재폐로가 성공하지만, 고장이 제거되기에는 무전압 시간이 부족하거나 영구고장일 때는 재폐로 투입 즉시 계전기에 의해 차단기가 다시 트립하게 되고 재폐로는 실패하게 된다. 하지만, 송전 선로에 발생하는 대부분의 고장은 아크고장이며 아크고장은 일정 시간 동안 무전압으로 두면 자연 소거되는 고장으로, 이 경우 자동 재폐로를 도입함으로써 계통의 신뢰성을 향상시킬 수 있다 [1].

본 논문에서는 가변 무전압 시간 알고리즘, 최적 재폐로 알고리즘, 과도안정도 평가 알고리즘을 포함하는 기존의 자동 재폐로 계전 알고리즘[2]과 개선된 EEEAC 알고리즘을 포함하는 재폐로 알고리즘을 기능별로 세분화 한 후 각 해당 기능에 따라 에이전트화하여 하나 이상의 에이전트를 도입함으로써 재폐로 계전기의 성능을 향상시켜 전력계통의 안정도를 높였다. 본 논문에서 사용한 에이전트 개념을 간단히 소개하면 다음과 같다.

에이전트는 하나의 컴퓨터 시스템이고 사용자나 소유자를 대신해서 독립적으로 동작을 취할 수 있는 시스템이다. 다시 말하면 에이전트는 설계된 시스템 내에서 무엇이 필요한지, 무엇을 해야 할지를 판단하는 능력을 갖춘 시스템이다. 멀티에이전트는 하나 이상의 에이전트가 구성되어 이루어진 시스템으로 일반적인 컴퓨터 네트워크를 통해 각각의 에이전트끼리 서로 통신하며 협력하고 메시지를 교환할 수 있다. 에이전트 간에 상호동작하기 위해 지능적으로 협력, 협조, 협상이라는 기능을 갖추어야 한다. 따라서 에이전트의 설계, 나아가 에이전트를 이루는 멀티에이전트를 설계하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 실제 멀티에이전트 시스템을 도입하여 재폐로 알고리즘을 구현함으로써 한층 더 지능을 갖춘 재폐로 계전기를 제안하고자 한다. 이것은 에이전트 간의 통신을 통하여 다양한 시스템 상의 고장 발생에도 정상 동작하는 계전기를 개발한 것으로 이로 인해 기존의 재폐로 계전기가 도입된 경우보다 안정된 전력계통을 구축할 수 있다는데 그 의의가 있다.

또한 본 논문에서 수행한 모의 실험은 전자기 과도현상 해석 프로그램인 EMTP를 사용하였고, EMTP-MODELS를 이용하여 에이전트간 통신을 가능케 하였으며, 재폐로 계전기의 동작을 검증하기 위해 실계통을 선정하여 모의하였다.

2. 멀티 에이전트 시스템의 설계

참고문헌[2]에서 제시된 방식에 따라 우선 외부 환경으로부터 얻어지는 입력 값을 고려한다. 기존의 알고리즘에서 고려하는 입력 값들은 전압신호, 발전기 위상각이다.

다음으로 기존의 알고리즘의 업무(Task)를 분해한다. 기존의 알고리즘에서 수행되는 업무를 열거하면 다음과 같다.

* 學生會員 : 成均館大學校 情報通信工學部 工碩
† 교신저자, 學生會員 : 成均館大學校 情報通信工學部 碩士課程
E-mail : nokyu82@naver.com
** 正 會 員 : 成均館大學校 情報通信工學部 博士課程
*** 學生會員 : 成均館大學校 情報通信工學部 碩士課程
§ 終身會員 : 成均館大學校 情報通信工學部 教授 · 工博
接受日字 : 2007年 10月 16日
最終完了 : 2007年 11月 13日

- 고장 이후 시간 측정(재폐로 타이머)
- 발전기 위상각의 시간에 대한 1차 미분 값(Angle velocity) 및 2차 미분 값(Angle Acceleration)의 계산(최적 재폐로, EEEAC)
- 전압 실효치(Live & Dead 판정) 및 변화율(가변 무전압 시간 알고리즘)의 계산
- 가속 전력 계산(EEEAC)
- Least Square Fitting(EEEAC)

마지막으로, 차단기에 의해 실제로 수행되는 계통 제어 업무는, 3상 동시재폐로, 단상 및 2상재폐로로 구분한다. 멀티에이전트를 구성하는 에이전트는 다음과 같이 정의하였다.

① 장비 에이전트(EA: Equipment Agent): 실제 계통 데이터의 취득, 혹은 차단기의 동작업무를 담당
② 과도안정도 판정 에이전트(TSAA: Transient Stability Assessment Agent): 과도안정도 평가업무를 담당
③ 재폐로 에이전트(RA: Reclosure Agent): 가변 무전압 시간 알고리즘을 추가한 실제 제폐로 계전기의 업무를 담당

멀티에이전트 시스템은 다음 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 각각의 에이전트에 필요한 입력값을 그림 1에 표시하였다. 화살표의 방향은 에이전트 간에 통신 방향을 나타낸다.

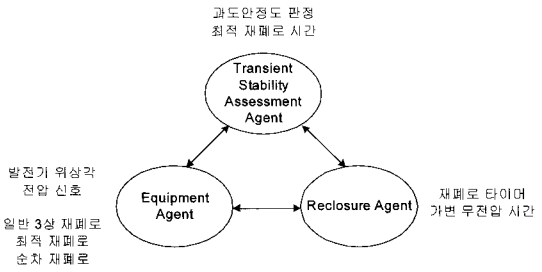


그림 1 멀티에이전트 재폐로 시스템의 통신 흐름도

Fig. 1 Communication diagram of autoreclosure system based on multi-agent system

3. TSAA와 RA의 협조에 의한 Modified EEEAC

참고문헌[2]에서의 EEEAC의 적용 방법은 다음과 같다. 고장 발생 전부터 발전기 위상각을 측정하여 기억장치에 저장한다. 고장이 검출되어 차단기에 의해 선로가 트립되면 타이머를 동작시킨다. 그리고 타이머에 따라 미리 설정된 시간만큼 경과하면, 저장된 발전기 위상각과 발전기 관성 상수를 이용하여 가속 전력(P_A)-발전기 위상각(δ) 곡선을 예측함으로써, 과도 안정도 평가를 위한 가속 영역과 감속 영역의 면적을 계산하여 안정도를 평가한다.

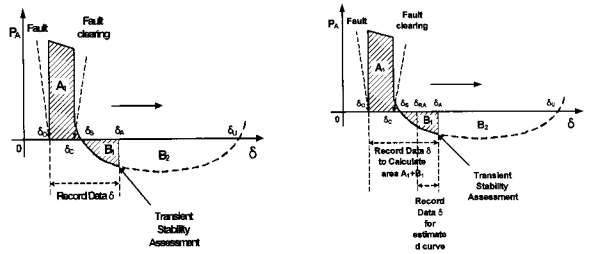
본 논문에서는 기존의 고정된 타이머를 이용한 빠른 안정도 판정 방법을 제안하고자 한다. 먼저 고장 발생 전부터 발전기 위상각을 측정하여 기억장치에 저장한다. 이후, 고장이 검출되어 차단기가 트립 되면 타이머1을 동작시킨다.

그 후 타이머1에 의해 미리 설정된 무전압 시간이 경과하거나 가변 무전압 시간 판정 기법에 의하여 2차 아크의 소호 시간이 경과하였음을 RA가 TSAA에게 알리게 되면, TSAA는 타이머1의 동작을 종료하고, 그 이후에서부터 타이머2를 동작시킨다.

마지막으로 타이머2 동작 후 일정 시간이 경과하면, 타이머1에 의해 경과된 시간 동안의 발전기 위상각 데이터와 관성 상수를 이용하고, 타이머2에 의해 경과된 시간 동안의 발전기 위상각 데이터를 이용하여 가속 전력-발전기 위상각 곡선을 추정함으로써, 가속 영역(다음 그림 2의 A1 부분)과 감속 영역(그림 2의 B1+B2 부분)의 면적을 계산하여 안정도를 평가한다.

그림 2에서는 기존의 방식과 본 논문에서 제안하는 Modified EEEAC를 가속 전력-발전기 위상각 곡선을 이용하여 비교하였다.

그림 2와 같이 A1과 B1의 면적을 계산하기 위하여 위상각 데이터를 저장하는 것은 기존의 방식과 동일하다. 그러나 기존의 방식은 B2의 면적을 계산하기 위하여, δ_0(정상상태에서의 발전기 위상각)에서 δ_A(과도안정도 판정이 이루어지는 시점의 발전기 위상각)까지의 발전기 위상각 데이터를 모두 사용하여 가속 전력-발전기 위상각 곡선을 추정하는 데 비해서, 제안된 방식은 δ_{RA}(RA에 의해 무전압 시간 경과가 알려지기 시작한 시점의 발전기 위상각)에서 δ_A(과도안정도 판정이 이루어지는 시점의 발전기 위상각)까지의 발전기 위상각 데이터를 사용한다는 차이점이 있다. 즉, 제안된 방법과 기존의 방법사이의 차이점은 과도안정도 판정 시간이 가변 무전압 시간 예측 시점에 따라서 변화할 수 있다는 점이다. 그 결과, 기존에 사용된 타이머의 설정 시간보다 타이머1+타이머2의 설정 시간을 단축하는 것이 가능하고, 상대적으로 적은 데이터를 이용하여 가속 전력-발전기 위상각 곡선을 예측함으로써, Least Square Fitting을 수행할 때 계산량이 단축되며, 계통의 2차 아크 소호 이후에 적응적으로 과도안정도를 판정함으로써 보다 나은 결과를 가져올 수 있다.



(a) 기존 방식 (b) 제안된 방식

그림 2 기존의 방식과 제안된 방식에서 사용된 EEEAC의 비교

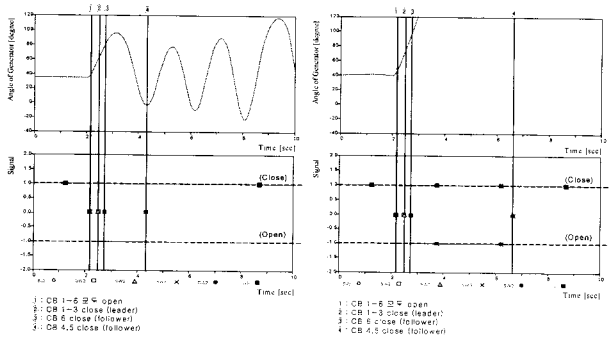
Fig. 2 Comparison of EEEAC used in conventional algorithm and proposed algorithm

첫 번째와 두 번째 장점이 가능한 이유는, δ_{RA} 시점에서 선행단의 재폐로가 수행됨으로써 계통의 연결 상태가 재폐로 수행 이전과 달라지고, 재폐로 수행 이전 시점과 비교하여 가속 전력-발전기 위상각 곡선이 변화하기 때문이다. 따라서 변화한 가속 전력-발전기 위상각 곡선은 재폐로 수행 이후의 발전기 위상각 데이터 만으로도 신뢰성 있는 곡선 추정이 가능하다. 그리고 적은 데이터를 사용하여도 기존의 방법에서 추정된 곡선과 비슷한 추정 곡선을 얻을 수 있으며, 계통이 FSU(First Swing Unstable) 상태로 판정되는 시

점을 기존의 방법보다 빠르게 할 수 있으므로, 순차 재폐로 실행 시간이 기존의 알고리즘에 비하여 빠르다.

4. 순차재폐로 이후의 동기탈조 발생 현상

순차 재폐로는 발전기 축의 비틀림 토크를 감소하는데 있어 효과적인 방법으로 재폐로 시간에 따라 최대 비틀림 토크는 달라지게 된다[3]. 순차 재폐로는 상술된 알고리즘 상에서 FSU가 판정된 이후에 동작한다. 기존 연구를 통해 순차 재폐로는 FSU 상태에서 효과적으로 안정도를 향상시킬 수 있음을 알 수 있다. 다음 그림 3(a)은 참고문헌[2]에서 모의된 계통의 초기 상차각을 35도로 하였을 경우 발전기 상차각과 재폐로 동작을 나타낸다. CB 1~3은 선행단의 3상 차단기를 나타내고, CB 4~6은 후행단의 3상 차단기를 의미한다.



(a) 35도 (b) 40도

그림 3 순차재폐로

Fig. 3 Sequential autoreclosure

그림 3(a)과 같이, 초기 아크 고장 발생 이후, 선행단과 후행단의 각 상의 차단기를 모두 개방하여, 고장을 제거하고 선행단은 상술된 조건에 따라 재폐로 된다. 이후, FSU로 판정되면서 동시에 후행단의 한 상의 차단기(6번)가 재폐로 된다. 그 후 나머지 두 상의 차단기가 최적 재폐로를 수행함으로써, 계통의 안정도를 향상시키고 동기탈조 상태를 막는 것이 가능해진다.

그러나 무한모선 계통에서 초기 발전기 상차각이 클수록(상술된 시뮬레이션 계통에서는 상차각 37도 이상에서 발생한다) 고장 시 계통의 안정도가 빠르게 악화되기 때문에 순차 재폐로 이후에도 계통에는 동기탈조 발생의 가능성이 존재한다. 다음 그림 3(b)는 상술된 시뮬레이션에서 초기 상차각을 40도로 하였을 경우에서의 발전기 상차각과 재폐로 동작을 나타낸다.

위의 그림 3(b)와 같이 초기 아크 고장 발생 이후, 선행단과 후행단의 각 상의 차단기가 모두 개방되면서, 고장을 제거한다. 선행단이 상술된 조건에 따라 재폐로 된다. 이후, FSU로 판정되면서 동시에 후행단의 한 상의 차단기(6번)가 재폐로 된다. 그러나 차단기 6번의 재폐로 이후에도 계속해서 발전기 위상각이 증가하면서 동기탈조 상태가 되었음을 알 수 있다. 따라서 이후 나머지 두 상의 차단기가 최적 재폐로를 수행하여도 동기탈조 상태를 막는 것은 불가능해진다. 따라서 순차 재폐로 중이나 혹은 재폐로 실행 이후에 발전기가 동기탈조 상태가 일어나면, 빠르게 동기탈조 상태를 판단하여 재폐로를 중지하고 발전기를 계통에서 분리할 필요가 있다.

5. 멀티에이전트 시스템 기반의 재폐로 알고리즘

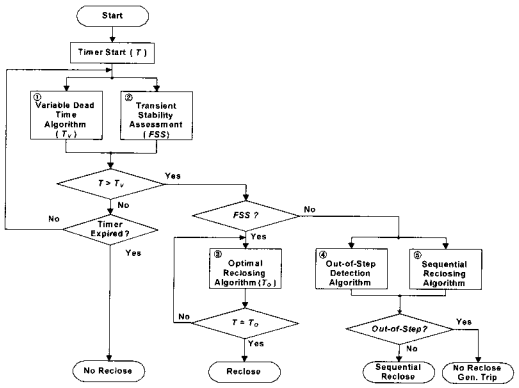


그림 4 멀티에이전트 재폐로 시스템의 순서도

Fig. 4 Diagram of autoreclosure based on multi-agent system

위의 그림 4는 후행단 동작의 순서도를 나타낸다. 선행단 동작은 간단한 형태를 취하고 있어 표시를 생략하였다. 멀티에이전트 재폐로 시스템은 기존의 재폐로 시스템과 동일하게 고장 제거 이후 동작을 시작한다. EA는 TSAA에 발전기 위상각을, RA에 전압 신호를 전송함으로써, 두 에이전트의 판단을 위한 데이터를 제공한다. TSAA는 발전기 위상각을 이용하여 과도안정도를 판정하고(EEAC) 최적 재폐로 시점을 결정한다. 단, 과도안정도 판정 시점은 RA로부터 재폐로 타이머 혹은 가변 무전압 시간을 만족한 것을 통보받은 이후에 결정한다. 그리고 RA는 전압 신호를 이용하여 실효치를 계산하고 실효치의 변화율을 이용하여 가변 무전압 시간을 결정하며 모선과 선로의 Live/Dead를 판정한다.

선행단의 RA의 경우, TSAA와 아무런 통신 없이 재폐로를 수행한다. 반면에 후행단의 RA는 TSAA와의 통신 이후 재폐로를 수행한다. 후행단의 RA가 먼저 TSAA로 타이머 측정 시간이나 가변 무전압 시간 알고리즘 조건 충족을 알리면, TSAA는 과도안정도를 판정하고, 판정 결과에 따라서 재폐로를 어떻게 수행할지를 결정하여 RA에게 수행을 요청한다.

TSAA는 과도안정도 판정 결과에 따라 3상 재폐로를 요청하거나(최적 재폐로) 단상 재폐로 이후 2상 재폐로를 요청할 수 있다(순차 재폐로). RA가 TSAA에게 3상 재폐로를 요청받고 EA에게 3상 재폐로가 수행되었음을 확인한 뒤에는 더 이상 재폐로를 수행할 필요가 없으므로 TSAA에게 3상 재폐로가 수행되었음을 알릴 필요가 없다. 반면에 단상 재폐로를 요청받고 EA에게 단상 재폐로가 수행되었음을 확인하면 TSAA에게 단상 재폐로가 성공적으로 수행되었음을 알린다. 그 뒤에 TSAA가 최적 재폐로 조건에 따라서 2상 재폐로를 요청하고, RA가 EA에게 수행을 요청하게 된다. 즉, TSAA는 단상 재폐로 수행이 확인되지 않으면, RA에게 나머지 2상 재폐로를 요청하지 않는다.

그리고 4장에서 제기된 문제 해결을 위하여, 동기탈조 판정 에이전트(ODA: Out-of-step Detection Agent)를 멀티에이전트 재폐로 시스템에 추가하였다.

ODA의 동작은 TSAA에게 FSU 판정 결과를 입력 받는 것에서 시작한다. FSU라는 것을 알게 되면, ODA는 동기탈조 여부를 판정하기 위해 위상각 데이터를 이용하여 위상각의 시간에 대한 1계 미분값과 2계 미분값을 계산하기 시작한다. ODA가 동기탈조를 검출하지 못했을 경우에는 더 이상 다른 에이전트와 통신하지 않으나, 동기탈조를 검출하면 TSAA에게 재폐로 동작 중지를 알리고, EA에게 발전기 계통 분리를 요청한다.

6. 멀티에이전트 시스템의 EMTP 시뮬레이션

시뮬레이션에 사용된 345[kV] 모델 계통은 다음 그림 5와 같다. BUS1에 울진 N/P를 모델링한 EMTP 동기기 모델과 변압기 모델을 연결하여 1기 무한모선 계통을 구성하였다. 동기 발전기 G1은 EMTP Type-59 동기기 모델과 TACS를 사용한 조속기, 여자기 모델을 사용하여 22[kV] 전압과 6300[MVA] 용량의 울진 N/P를 모델링 하였으며, 폴(pole) 수는 4이고 발전기의 관성 모멘트는 1.969×106[kg · m^2]이다. BUS1에 연결된 부하의 임피던스는 역률 80[%]의 0.2+j0.15 [p.u]이다. 제안된 멀티에이전트 재폐로 계전 알고리즘은 EMTP MODELS를 이용하여 구현하였으며, 1차 아크 모델[1]과 2차 아크 모델[6]을 사용하여 선로 상의 고장을 모의하였다. RCR 1은 후행단 재폐로 에이전트(RA1)에 해당하며, RCR2는 선행단 재폐로 에이전트(RA2)에 해당한다. TSAA는 각 재폐로 에이전트와 통신이 가능하며, 발전기 위상각 데이터를 취득하기 위한 통신 선로가 존재한다고 가정하였다.

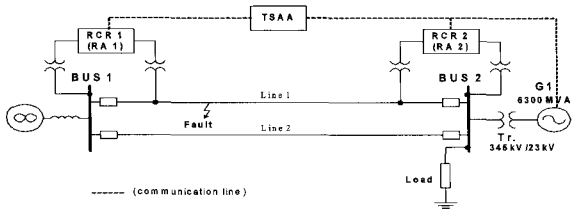


그림 5 모델 계통

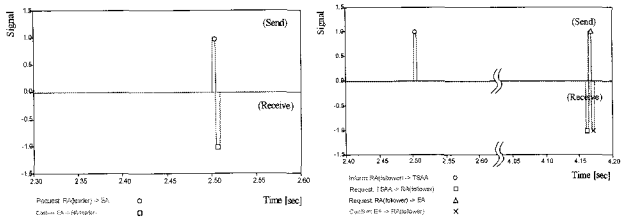
Fig. 5 Model system

시뮬레이션 시작 후 2초일 때 Line 1 상에 BUS 1로부터 5[km] 떨어진 지점에서 2선 아크 지락 고장이 발생하고 10주기 후 3상 선로의 차단기가 트립 되었을 때, 재폐로 방법에 따른 발전기 각의 변화를 모의하였다. 시뮬레이션 조건은 동기 발전기의 초기 발전기 위상각을 30도, 35도, 40도로 조정하였다.

6.1 발전기 위상각 30도인 경우 : 최적 재폐로 수행

다음 그림 6(a)는 선행단 RA의 통신을 나타내었다. 그림 6(a)에서와 같이, 선행단 RA는 전압 신호를 EA로부터 입력받아서, 약 2.5초에 재폐로가 가능함을 판단하여 EA에게 선행단 차단기의 재폐로를 수행하도록 요청 한다(신호: ○). EA는 RA의 요청을 받아들이고 재폐로를 수행하며, 수행하였음을 다시 RA에게 알린다(신호: □).

그림 6(b)는 후행단 RA의 통신을 나타내었다. 후행단 RA는 먼저, 가변 무전압 시간 알고리즘 혹은 타이머를 이용하여 재폐로 가능 여부를 TSAA에게 알린다(신호: ○). 이후, TSAA에게서 3상 재폐로(최적 재폐로)를 요청 받으면(신호: □), 장비 에이전트에게 재폐로를 요청하고(신호: △), 확인 받는다(신호: ×).



(a) 선행단 (b) 후행단

그림 6 RA의 멀티에이전트 통신

Fig. 6 Multi-agent communication of RA

다음 그림 7은 기존의 재폐로 알고리즘과 제안된 알고리즘 수행 시의 발전기 위상각을 나타낸 그래프이다. ①2초에 아크 고장이 발생한 후, ②2.167초에 고장 선로 양단이 개방되었으며, ③약 2.5초에 선행단에서 재폐로가 수행이후, ④약 4.17초에 후행단에서 최적 재폐로 수행(3상 재폐로)이 이루어졌다. 그림 7에서 보인 바와 같이 기존의 재폐로 알고리즘과 비교하여 거의 차이가 없음을 확인할 수 있다.

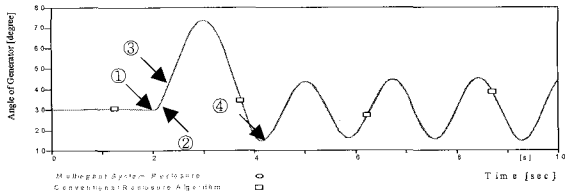
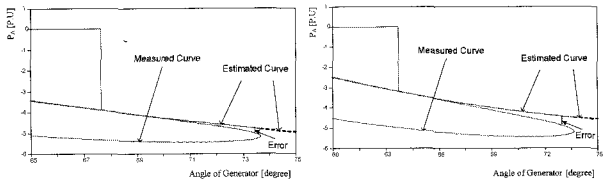


그림 7 발전기 위상각

Fig. 7 Angle of generator

다음 그림 8은 기존의 방식과 제안된 방식에 의해서 추정된 가속 전력 곡선과 실제 가속 전력 곡선과 발전기 위상각을 나타낸 그래프이다. 기준 전력값을 100[MW] 일 때 그 추정값의 차이는 크지 않음을 확인 할 수 있다.



(a) 기존 방식 (b) 제안된 방식

그림 8 측정된 전력-상차각 곡선과 추정된 전력-상차각 곡선

Fig. 8 Estimated power-phase angle curve and Measured power-phase angle curve

6.2 발전기 위상각이 35도인 경우 : 순차 재폐로 수행

다음 그림 9는 후행단 RA의 통신을 나타내었다. 선행단 RA의 통신은 6.1절의 내용과 동일하므로 생략하였다.

후행단 RA는 먼저 가변 무전압 시간 알고리즘 혹은 타이머를 이용하여 재폐로 가능 여부를 TSAA에게 알린다(신호: ○). 그러면 TSAA는 EEEAC를 통해 과도안정도를 판정하고, FSU로 판정되면 ODA에 FSU를 알리고,RA에RA에게 단상 재폐로를 요청 한다(신호: □). TSAA에게서 단상 재

폐로(순차 재폐로의 시작)를 요청 받으면, 장비 에이전트에게 재폐로를 요청하고(신호: △), 확인 받는다(신호: ×). 그리고 다시 TSAA에게 단상 재폐로가 성공적으로 수행되었음을 알린다(신호: ●). 그 뒤에 TSAA에게 다시 2상 재폐로를 요청 받으면(신호: ■), 장비 에이전트에게 재폐로를 요청하고(신호: ▲), 확인 신호를 받는다(신호: ⊠).

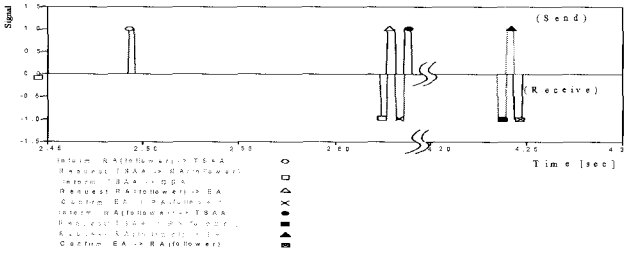
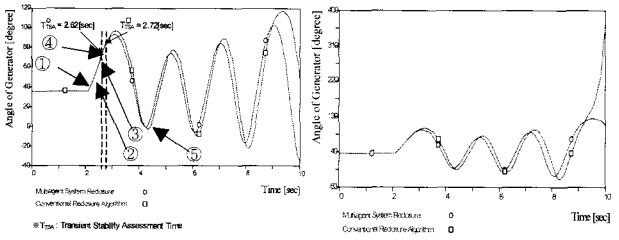


그림 9 후행단 RA의 멀티에이전트 통신

Fig. 9 Multi-agent communication of RA at follower station

다음 그림 10(a)은 기존의 재폐로 알고리즘과 제안된 알고리즘 수행 시의 발전기 위상각을 나타낸 그래프이다. ①2초에 아크 고장이 발생하였고, ②2.167초에 고장 선로 양단이 개방되었으며, ③2.491초에 선행단에서 재폐로가 수행되었고, ④2.631초에 후행단에서 단상 재폐로가 수행되었다. 마지막으로 약 ⑤4.243초에 2상이 재폐로 됨으로써 순차 재폐로가 완료되었다. 그림 10과 같이 기존의 방식과 비교하여 빠른 과도안정도 평가에 의한 빠른 순차 재폐로 수행으로 인하여 계통의 과도안정도가 향상되었음을 볼 수 있다.



(a) 초기 35도 (b) 초기 35.5도

그림 10 발전기 위상각

Fig. 10 Angle of generator

6.3 발전기 위상각이 40도인 경우 : 발전기 분리 수행

다음 그림 11은 ODA의 통신을 나타낸다.

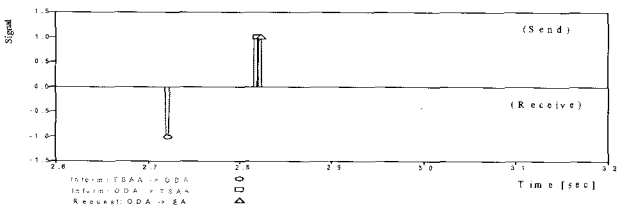


그림 11 동기탈조 검출에이전트의 멀티에이전트 통신

Fig. 11 Multi-agent system of out of step detection agent

ODA는 먼저 TSAA에게 FSU가 판정되었음을 통보 받으면서(신호: ○) 동작하기 시작한다. 그 뒤에 동기탈조가 검출되면, TSAA에게 먼저 알림으로써(신호: □) TSAA가 RA에게 순차 재폐로 동작을 요청하지 않도록 하고, 그 뒤에 EA에게 발전기 트립을 요청하게 된다(신호: △).

ODA가 약 2.8초에 TSAA에게 동기탈조가 검출되었음을 알리고, 발전기를 트립 시킴으로써 RA는 FSU 판정에 따른 단상 재폐로 수행 이후에는 동작하지 않는다. 따라서 ODA를 멀티에이전트 기반의 재폐로 계전 시스템에 추가함으로써 동기탈조 시의 불필요한 재폐로를 막을 수 있음을 알 수 있다. 다음 그림 12는 발전단과 수전단 전압의 위상차를 나타낸 그래프이다.

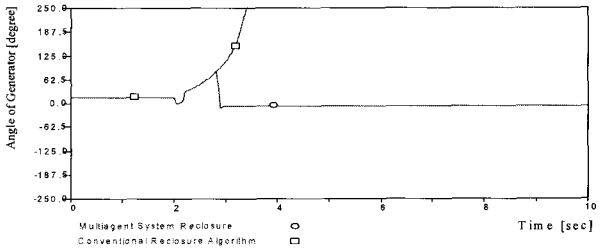


그림 12 발전단과 수전단 전압의 위상차

Fig. 12 Voltage angle difference between generator station and receiving station

그림 12와 같이 기존의 안정도를 고려한 재폐로는 순차 재폐로 동작 이후에 동기탈조 상태가 발생한 발전기가 계통에 계속 연결되어 발전단과 수전단 전압의 위상차가 계속적으로 증가하는 불안정한 양상을 보인다. 반면에 ODA를 결합한 멀티에이전트 재폐로 시스템은 ODA에 의해 동기탈조를 검출한 뒤에, EA와의 통신을 통해 동기탈조 발전기를 분리함으로써, 발전단과 수전단 전압의 위상차가 안정됨으로써 계통이 안정한 상태로 돌아갔음을 알 수 있다.

7. 결 론

본 논문에서는 가변 무전압 시간 알고리즘, 최적 재폐로 알고리즘, 과도안정도 평가 알고리즘을 포함하는 기존의 자동 재폐로 계전 알고리즘에 개선된 EEEAC 알고리즘을 포함하는 새로운 재폐로 알고리즘을 제안하고 기능별로 세분화 한 후 각 해당 기능에 따라 에이전트화하여 하나 이상의 에이전트를 도입함으로써 재폐로 계전기의 성능을 향상시켜 전력시스템의 안정도를 높였다.

멀티에이전트 시스템 구축에 따라서, 추가로 TSAA와 RA의 협조에 의하여 EEEAC를 새롭게 고려하였고 EEEAC는 기존의 알고리즘에 비하여 적응적으로 계통의 과도안정도 판정이 가능하며, 빠른 과도안정도 판정을 요구하는 FSU 상태에 대해서 더욱 빠른 대처로서 과도안정도를 향상시키는 것이 가능하다는 장점을 가진다.

순차 재폐로 뒤에 발생할 수 있는 동기탈조의 가능성을 고려하여 동기탈조 검출 에이전트를 멀티에이전트 시스템에 새롭게 추가하였고, 다른 에이전트와의 관계 및 동작을 정의하였다.

제안된 멀티에이전트 재폐로 시스템은 EMTP MODELS를 이용하여 구현되었으며, 시뮬레이션 결과를 통해서 과도안정도 판정 결과에 따라 적합한 재폐로 동작을 취할 수 있

으며, FSU 판정 시 빠른 안정도 판별로 계통의 안정도가 향상된 것을 보였다. 또한 동기탈조가 발생하면 불필요한 재폐로 동작 없이 발전기를 빠르게 계통에서 분리할 수 있는 능력을 갖는다. 즉, 환경의 변화에 따라서 적응적으로 동작할 수 있는 멀티에이전트 시스템 고유의 장점을 갖는다.

또한, 기존의 업무를 각 에이전트의 정의에 맞게 분할함으로써, 각각의 에이전트를 독립적으로 다른 목적을 위해 사용하는 것이 가능하기 때문에, 기존의 재폐로 알고리즘에 비하여 유연성과 확장 가능성을 높일 수 있다. 따라서 제안된 멀티에이전트 재폐로 시스템은 기존의 방법에 비하여 계통의 신뢰성과 안정도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터 육성사업의 지원으로 수행되었음(차세대전력기술연구센터)

참 고 문 헌

[1] S.P. Ahn, C.H. Kim, R.K. Aggarwal, A.T. Johns, "An Alternative Approach to Adaptive Single Pole Auto-Reclosing in High Voltage Transmission Systems Based on Variable Dead Time Control", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 16, No. 4. pp. 667-677, 2001.

[2] 허정용, "전력계통의 안정도를 고려한 자동 재폐로 알고리즘에 관한 연구", 성균관대학교 석사학위 졸업논문, 2003.

[3] A.M. El-Serafi, S.O. Faried, "Effect of Sequential Reclosure of Multi-phase System Faults on Turbine-Generator Shaft Torsional Torques", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 6, No. 4, pp. 1380-1388, Nov. 1991.

[4] Hui Wan, K. K. Li, K. P. Wong, "An Multi-Agent Approach to Protection Relay Coordination with Distributed Generators in Industrial Power Distributed System", IEEE Digital Object Identifier, pp. 830-836, Oct. 2005.

[5] 소광훈, "과도안정도를 고려한 동기탈조 검출 알고리즘에 관한 연구", 석사학위 졸업논문, 성균관대학교, 2003.

[6] S. Goldberg, W.F. Horton, D. Tziouvaras, "A Computer Model of the Secondary Arc in Single Phase Operation of Transmission Lines", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 1, pp. 586-594, Jan. 1989.

저 자 소 개

이 병 현 (李 秉 炫)

1982년 10월 6일생. 2005년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2007년 동 대학원 정보통신공학부 졸업(공석), 차세대전력기술연구센터

Tel : 031-290-7166
Fax : 031-290-7955
E-mail : shsh540@naver.com

성 노 규 (成 魯 珪)

1982년 11월 13일생. 2007년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2007년~현재 동 대학원 정보통신공학부 석사과정

Tel : 031-290-7166
Fax : 031-290-7955
E-mail : nokyu82@naver.com

여 상 민 (呂 相 敏)

1976년 7월 21일생. 1999년 성균관대 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기전자및컴퓨터공학부 졸업(공석). 2001년~현재 동 대학원 정보통신공학부 박사과정

Tel : 031-290-7166
Fax : 031-290-7955
E-mail : harc@chollian.net

이 유 진 (李 瑜 珍)

1983년 4월 25일생. 2007년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2007년~현재 동 대학원 정보통신공학부 석사과정

Tel : 031-290-7166
Fax : 031-290-7955
E-mail : angelico83@naver.com

김 철 환 (金 喆 煥)

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 성균관대 정보통신공학부 교수, 전력IT인력양성센터 센터장

Tel : 031-290-7124
Fax : 031-290-7179
E-mail : hmwkim@daum.net