

## 멀티에이전트 기반의 적응적 자동재폐로에 대한 SVC 영향 분석에 관한 연구

이유진, 여상민, 김철환  
성균관대학교

### A Study on the Effect Analysis of SVC with reference to Adaptive Auto-Reclosure based on Multi-Agent System

You-Jin Lee, Sang-Min Yeo, Chul-Hwan Kim  
Sungkyunkwan University

**Abstract** - 전력계통에서 발생하는 고장의 70-95%는 1선지락 고장이고, 1선지락 고장의 70-90%는 아크고장이다. 아크고장이 발생하였을 경우, 아크고장과 같은 일시고장을 제거하고 투입하는 방법으로 자동재폐로가 사용되며 적절한 자동재폐로는 계통의 신뢰도 향상과 안정도 유지의 역할을 수행한다. 또한 송전용량 증대 및 무효전력 제어를 위한 FACTS(Flexible AC Transmission System, 유연송전시스템)기기의 사용이 증가함에 따라 FACTS가 적용된 계통에서 자동재폐로 영향을 분석해야 할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 다양한 계통 상황을 보기 위해 기존의 멀티에이전트 기반의 자동재폐로가 적용된 계통에 FACTS를 적용하여 자동재폐로시의 영향을 분석하였다. EMTP와 JADE(Java Agent DEvelopment framework)를 이용하여 자동재폐로 계통 및 멀티에이전트 시스템을 모의하였으며, SVC(Static VAR Compensator)에 의한 영향을 분석하였다.

#### 1. 서 론

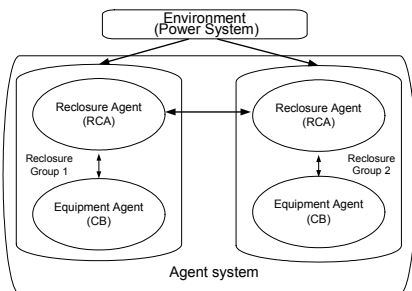
산업의 발달에 따라 전력 소비는 증가하고 있으며, 그에 따라 발전용량의 증대를 위한 발전소 및 여러 전력계통 설비가 증가하고 있다. 또한 송전용량 증대 및 계통에 불필요한 무효전력 제어를 위해 FACTS 기기의 연결이 증가하는 추세에 따라 송전선로를 통해 공급되는 전력의 크기가 증가하고 계통 비대에 따른 과도 불안정 현상이 발생할 가능성이 증가하게 되었다. 따라서 FACTS가 적용된 계통내의 과도 불안정에 의한 계통 불안정 현상을 방지하기 위하여 전력계통의 안정도를 유지시키며 계통 신뢰도를 향상 시킬 수 있도록 사용하는 자동재폐로 동작시 영향을 분석할 필요가 있다. 이와 함께 통신 기술 및 컴퓨터 제어 기술 발달에 따라 전력설비에 통신과 지능을 접목한 멀티에이전트 기술이 대두되고 있으므로, 이 기술을 적용하여 기존의 자동재폐로에 통신을 통한 에이전트간 의사결정 과정을 도입하여 FACTS가 접목된 전력계통에서의 적응적 자동재폐로 과정을 진행하고자 했다.

본 논문에서는 멀티에이전트 기반의 적응적 자동재폐로 계통을 전자계 과도현상 프로그램인 EMTP를 사용하여 모의하였으며, FACTS 기기의 하나인 SVC를 연결하여 적응적 자동재폐로 현상을 연구하였다.

#### 2. 멀티에이전트 기반의 적응적 자동재폐로

##### 2.1 멀티에이전트 시스템 구조

멀티에이전트를 이루고 있는 에이전트(Agent)는 어떠한 환경 내에 위치하면서 그들의 설계 목적에 맞도록 자신이 위치한 환경 내에서 자율적으로 동작 할 수 있는 능력을 가진 컴퓨터 시스템으로 정의된다[1]. 이러한 멀티에이전트 시스템을 자동재폐로에 맞도록 구성한 것이 다음 그림 1에서 나타난 멀티에이전트 시스템 구조이다.



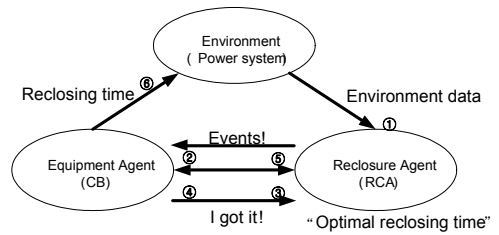
〈그림 1〉 자동재폐로를 위한 멀티에이전트 시스템 구조

적용된 적응적 자동재폐로 알고리즘은 3가지로 구성되어 있으며 각각

은 가변 무전압시간 제어 알고리즘, 2차아크 소호 판단 알고리즘, 최적재폐로 알고리즘으로 계통 내의 데이터를 받아들이며 최적재폐로 시간을 도출하도록 구현되어 있다[2]. 적응적 자동재폐로를 위한 멀티에이전트 구조는 위의 그림 1과 같이 크게 2개의 그룹으로 이루어져 있다. 하나는 선행단 계전 에이전트 그룹으로 발전기 쪽에 가까운 쪽에 위치하며, 다른 하나는 후행단 계전 에이전트 그룹으로 부하 쪽에 가까운 쪽에 위치해 있다. 각 부분의 에이전트 내 자동재폐로 알고리즘을 수행하는 에이전트들은 선행단과 후행단에서 계통 데이터를 받고 에이전트 동작을 수행하게 된다.

##### 2.2 멀티에이전트 시스템 통신[3]

전력계통 환경 내에서 에이전트에게 전달되는 데이터는 EMTP에서 계산된 고장 선로의 전압 및 전류가 되고, JADE로 구현된 에이전트들은 자동재폐로와 최적재폐로라는 목적 수행을 위해 전달된 환경 데이터를 가지고 알고리즘을 수행하게 된다. 수행 후 결과인 최적재폐로 시간은 에이전트가 환경을 반영하여 도출한 결과로 외부의 간섭 없이 환경을 자율적으로 고려한 결과이다. 이에 따라 최적재폐로가 이루어진 선로는 성공적으로 재폐로를 수행하게 된다. 에이전트 내에서 이루어지는 통신 과정은 다음 그림 2와 같다.



〈그림 2〉 고장 발생시 에이전트 통신 다이어그램

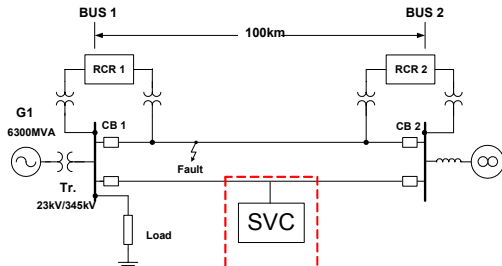
위에서 언급한 에이전트 행동을 위한 각각의 메시지는 쌍(pair)으로 이루어져 있어서 조건을 만족할 시에만 다음 단계의 동작이 수행된다. 따라서 알림 ↔ 확인, 요청 ↔ 수락과 같이 일련의 행동은 멀티에이전트의 의사 결정을 위한 필요충분조건으로 작용한다. 각각의 메시지 전달 순서는 다음과 같다.

- ① 환경 정보에 대하여 알림 (전압, 전류 등)
- ② 사고 발생 알림 (고장 발생)
- ③ 사고 발생 확인 (고장 발생 직후)
- ④ 자동 재폐로 수행 요청 (알고리즘 수행 중)
- ⑤ 자동 재폐로 수행 요청 수락 (알고리즘 수행 중)
- ⑥ 자동 재폐로 시간 알림 (고장 발생 후)

#### 3. 시뮬레이션 및 결과

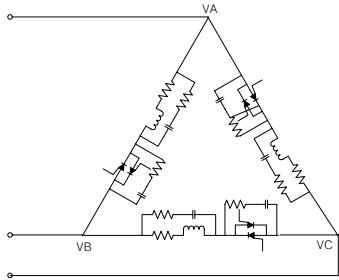
##### 3.1 시뮬레이션 구성

다음 그림 3은 본 논문의 2절에서 언급한 적응적 자동재폐로 계통에 SVC가 연결된 모델계통이다. 시뮬레이션에 사용된 345[kV] 모델 계통은 BUS1에 울진 N/P를 모델링한 EMTP 동기기 모델과 변압기를 연결하여 1기 무한모선 계통을 구성하였다. 모델 계통에 연결된 SVC는 TCR(Thyristor Controlled Reactor)과 FC(Fixed Capacitor) 및 R-C 스너버회로로 구성된 형태이며 점호각 제어를 통해 투입되는 무효전력량을 제어하는 것이 가능하다.



〈그림 3〉 시뮬레이션 모델 계통

구성된 SVC는 100[MVar]용량의  $\Delta$ -결선으로 2회선 중 아크고장이 발생하지 않는 선로 중간에 연결되어 무효전력을 보상하는 역할을 한다 [4]. EMTTP로 모델링한 SVC 모델은 다음 그림 4와 같다[5].



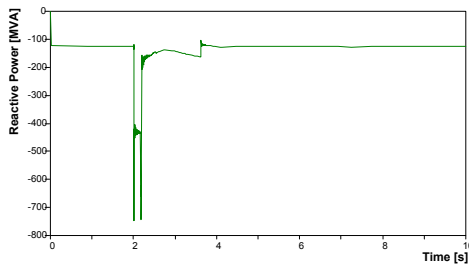
〈그림 4〉 SVC 모델

### 3.2 시뮬레이션 결과

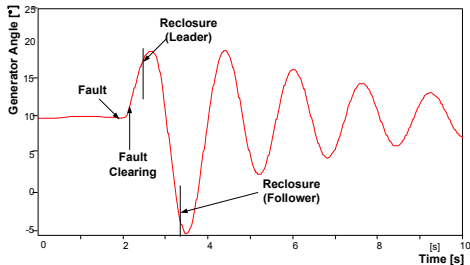
앞서 언급한 바와 같이 본 논문에서는 기존의 멀티에이전트가 적용된 적응적 자동재폐로 계통에 대하여 SVC가 연결된 경우와 연결되지 않은 경우에 대하여 자동재폐로 동작시 영향을 분석하였다. 고장은 2선 아크 지락고장이며 2초에 고장이 발생한 후 10주기 후 3상 선로의 차단기가 트립되고 발전기 초기각이 10도일 때를 모의하였다.

#### 3.2.1 SVC를 연결하지 않은 경우

다음 그림 5는 SVC가 연결되지 않은 경우의 적응적 자동재폐로시 무효전력 그래프를 나타낸다. 무효전력은 2회선 중 고장이 일어나지 않은 선로 BUS2에서 측정하였으며 SVC가 연결되지 않았을 경우 측정된 무효전력량은 다음 그림 5와 같이 -100[MVar]를 나타내는 것을 알 수 있다.



〈그림 5〉 BUS2에서의 무효전력량

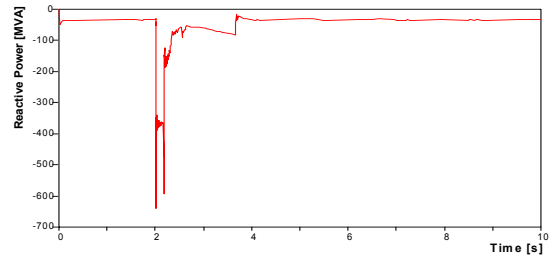


〈그림 6〉 재폐로 동작시의 발전기 위상각 (초기각 10°)

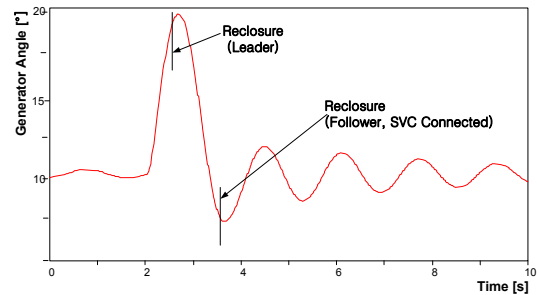
위의 그림 6를 통해 2초에 아크고장이 발생하고 10주기 후 3상이 트립된 후 선행단의 재폐로는 2.53초에 이루어졌으며 후행단의 재폐로는 3.6초에 이루어져 발전기 위상각이 안정으로 수렴하고 성공적으로 재폐로 되었음을 확인할 수 있다.

#### 3.2.2 SVC를 연결한 경우

다음 그림 7는 계통에 100[MVar]의 무효전력 보상이 가능한 SVC를 선로 중간에 연결하고 살펴본 무효전력량 그래프이다. 앞서 살펴본 그림 4와 같은 BUS2에서 측정하였으며 기존에 -100[MVar]였던 무효전력량이 SVC 연결 이후 -20[MVar]까지 줄어들었음을 알 수 있다.



〈그림 7〉 BUS2에서의 무효전력량



〈그림 8〉 재폐로 동작시의 발전기 위상각 (초기각 10°)

위의 그림 8은 SVC 연결 후 재폐로 동작시의 발전기 위상각 그래프이다. 선행단 재폐로는 2.5417초에 일어나 SVC가 연결되지 않았을 경우와 비슷하지만 후행단 재폐로는 3.6765초에 일어나 SVC가 연결되지 않았을 경우 보다 늦게 시작되는 것을 볼 수 있다. 후행단 재폐로가 늦어도 전체적으로 발전기 위상각이 빠르게 안정되는 것으로 보아 SVC가 효과적으로 무효전력을 보상함으로써 적응적 자동재폐로시 과도안정도 향상에 영향을 끼치는 것을 알 수 있다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 멀티에이전트 기반의 적응적 자동재폐로시 SVC 영향을 분석하기 위하여 EMTTP를 사용하여 SVC를 모델링하고, 계통내의 무효전력과 발전기 위상각 분석을 통하여 SVC 영향을 분석하였다. 제시된 시뮬레이션 결과와 같이 SVC가 없는 경우 고장이 일어나지 않은 선로의 무효전력이 존재하지만 재폐로가 이루어지는 반면, SVC가 연결된 경우 SVC가 무효전력 흡수를 통해 선로의 무효전력량을 줄이며 적응적 자동재폐로시 고려되는 과도안정도 향상에 영향을 끼쳐 안정도 향상을 위한 성공적인 자동재폐로로 이어질 수 있음을 보였다. SVC를 통해 안정도가 향상된 계통에서의 적응적 자동재폐로는 발전기 위상각을 빠르게 안정시킬 수 있고 계통 안정도도 향상시킬 수 있다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음(차세대전력기술연구센터)

### [참 고 문 헌]

- [1] Micheal Wooldridge, "An Introduction to Multi-Agent Systems", John Wiley & Sons Ltd, 2002.
- [2] 허정용, "전력계통의 안정도를 고려한 자동 재폐로 알고리즘에 관한 연구", 성균관대학교 석사학위논문, 2002.
- [3] Y. J. Lee, N. K. Sung, C. H. Kim, R. K. Aggarwal, "Development of Auto-reclosing Algorithm using Multi-Agent System", The 9th International Conference on DPSP, 2008.
- [4] N. G. Hingorani, L. Gyugyi, "Under Standing FACTS - Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems", IEEE Press, New York, 2000.
- [5] Eiichi Haginomori, "Applied ATP-EMTP to Highly-sophisticated electric power systems", Funded Research Laboratory(Kyushu Electric Power Co. Inc), Text09, pp. 3-4.