

## Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 시스템

임일형, 최연승 이승재,  
 <영지대학교 차세대전력기술연구센터>

하복남, 권성철  
 <한전 전력연구원>

### Distributed Restoration System based on Multi-Agent

Il-hyung Lim, Myeon-Song Choi, Seung jae Lee,  
 Myongii-University Next-generation Power Technology Center

Bok Nam Ha, Sung Chul Kwon  
 KEPRI

**Abstract** - 현재 국내 배전자동화 시스템의 고장구간을 최소한으로 하는 불필요 정전구간 복구시스템은 고장발생 시 중앙에서 고장구간을 판단하고 Fuzzy Rule을 이용한 복구해결을 통하여 계통의 Device들을 운영자가 직접 제어하는 방식이다. 이러한 방식은 원격으로 제어가 가능하며 운영자가 직접 상황에 따라 적절한 판단을 하여 신뢰성이 크다는 장점이 있지만, 운영자의 실수에 의해서 계통에 문제가 발생할 가능성도 있고, 정전복구시간 면에서 불 때 오퍼레이터의 실수에 의해 생기는 복구지연시간은 소비자들에게는 경제적 손실 및 불편을 초래할 수 있다. 따라서 이러한 운영자의 실수를 미연에 방지하고 정전복구 시간 또한 가급적 줄일 수 있는 방안을 마련하는 것이 필요하다. 본 연구에서 제안하는 Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 시스템은 중앙의 제어를 통하지 않고 계통 내의 Device들이 Agent 개념의 지능을 가지고 상호 정보교환을 통하여 고장구간을 판단하고 정전을 복구하는 시스템으로 현재 배전자동화 시스템의 복구시간을 1분 이내로 단축시킬 수 있는 시스템을 제안하였다. 간단한 배전계통을 구성하고 전력계통의 현재 통신망 유/무선의 대표적인 LAN 및 CDMA 통신을 이용한 사례연구를 통해 제안한 시스템에서의 정전구간 1분 이내의 복구시간을 입증하였다.

## 1. 서 론

현재의 배전자동화 시스템은 과거 사람이 일일이 작업하며 계산을 통한 추정값을 가진 신뢰도가 떨어지는 계통을 운전하던 시대에 큰 변혁을 불러 일으켰다. 계통의 측정 정보도 실시간으로 중앙에서 수집할 수 있게 되었다. 또한 계통의 사고발생 시 불과 몇 초 만에 사고지점을 파악하여 빠른 처리를 가능하게 하여 손실 및 피해를 줄일 수 있게 되었고, 최소의 고장구간만을 분리한 채 불필요 정전구간을 복구하는 일도 가능하게 되었다. 이러한 시스템을 통하여 현재 국내 연간 평균 정전시간을 좀 더 줄이는 것이 가능하게 되었던 것이다. 특히 배전자동화 시스템에서의 정전복구 시스템은 중전의 불필요 정전구간의 복구시간을 고장발생 시점부터 복구하는데 걸리는 시간을 약 72분에서 6분으로 줄인 큰 역할을 한 시스템이다.[1] 이러한 복구방식은 중앙과의 Serial 통신을 이용하여 DNP 3.0 프로토콜을 사용하여 정보취득 및 제어를 하는 방식으로 계통을 운영하는데 있어 사고발생 시 오퍼레이터의 판단에 의해 제어를 하므로 오퍼레이터의 의도에 따라 제어한다는 장점이 있지만, 실수 및 판단미숙에 대한 시간소비가 고려해야 하는 시스템이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 중앙제어방식의 정전복구시스템이 아닌 계통의 각 단말 Agent들이 사고발생 시 상호통신을 통하여 고장구간을 찾아내고 이를 복구해내는 알고리즘을 소개하고 그 성능을 입증하였다.

이 알고리즘은 현재 모든 전력계통 통신망이 LAN 통신방식과 같은 빠른 속도의 기존 통신방법과는 다른 방법으로 변화하려고 하고 있다. 중전의 Serial Port만 지원하는 FRTU도 향후 LAN 통신방식으로 변경된다면 배전자동화 시스템에서의 정전복구 시간의 차이가 불과 수초에 불과하기 때문에 이것을 따진다는 것은 의미가 없다. 하지만 본 연구에서의 방법은 분명 오퍼레이터가 판단미숙과 고장을 확인하고 불필요 정전구간의 복구에 대한 판단을 하는 시간만큼은 분명 절약할 수 있을 것이다.

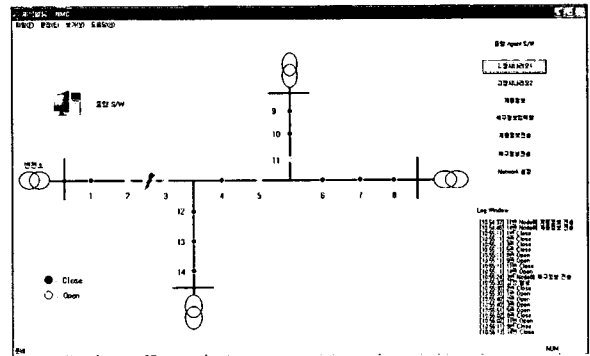
## 2. 본 론

### 2.1 Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 시스템 구성

본 연구에 대한 Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 시스템의 구성은 크게 중앙 Agent와 단말 Agent로 구성된다. 중앙 Agent는 현재 운영되고 있는 배전자동화 S/W에 영향을 주지 않는 것으로 단말 Agent들을 운영하는데 있어 사용되는 것이다. 그리고 단말 Agent는 이 알고리즘의 타당성을 확인하는데 중요한 부분으로, 배전자동화 S/W와 FRTU의 통신라인 사이에 연결되어 FRTU로부터 필요한 정보를 취득하고 판단하여 FRTU에 필요한 정보 및 제어명령 등을 내리는 단말장치이다. 이 시스템은 이 두 가지 Agent들로 구성되어 Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 시스템을 완성한다.

### 2.1.1 중앙 Agent

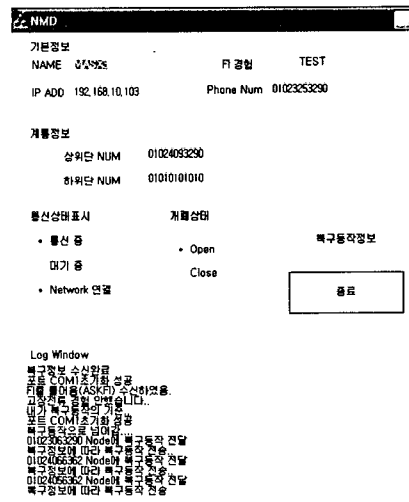
배전계통에서의 사고발생 시 단말 Agent들의 즉각적인 조치를 위해 필요한 정보들을 생성하고 전송해주는 기능을 한다. 현재 배전자동화 S/W의 정전복구 시스템은 복구해결을 평상시 여유용량이 많은 인근 Feeder로 연계하지만 그것이 불가능할 경우 Fuzzy를 이용한 알고리즘을 통해서 오퍼레이터의 조작에 따라 정전을 복구하고 있다. 이 중앙 Agent는 이러한 오퍼레이터의 조작을 자동으로 생성하여 복구정보를 저장하고 있으며, 이를 오퍼레이터가 사고발생 전에 검토를 통하여 수정을 하도록 하게하여 사고발생 시 실제 최적화된 복구해와 오퍼레이터의 실무경험을 바탕으로 정한 복구해결을 저장 및 각 단말 Agent에 전송하는 기능을 하고 있다. 또한 계통의 변경, 추가, 삭제시 필요한 정보 및 고장구간을 찾기 위한 계통의 정보 등을 단말 Agent에 전송하는 기능을 한다.



<그림 1> 중앙 Agent Software Interface

### 2.1.2 단말 Agent

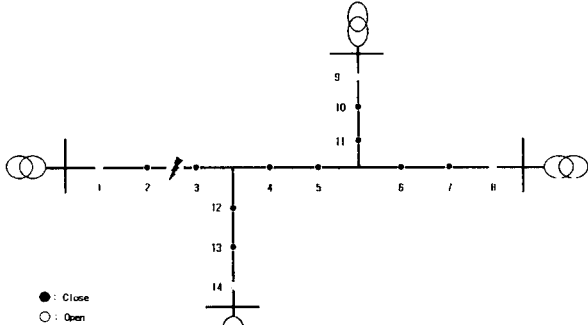
계통에 FRTU마다 한 대씩 달려 Agent를 설치해 시키는 장치이다. 현재의 FRTU의 기능을 변경하는 것이 불가능하여 배전자동화 중앙 서버와 FRTU 사이의 통신경로에 끼어들어 설치된다. 이 장치는 본 시스템에서의 가장 중요한 장치로 이들 하나하나에 Agent 모듈이 들어가 각각 독립적인 동작을 수행하는 장치이다. 이들의 상호간 정해진 통신망을 통하여 정보를 주고받게 되고, 그 정보를 가지고 고장구간을 찾고, 사전에 중앙 Agent로부터 내려받은 복구정보에 따라 각 Node의 FRTU를 제어하여 CB를 Open/Close하여 불필요 정전구간을 복구하는데 실질적인 동작을 하는 단말 Agent 장치이다.



<그림 2> 3번 Node의 단말 Agent Interface

## 2.2 고장구간 탐색

현재 배전자동화 시스템에서의 고장구간 탐색 방법은 <그림 3>의 예제 계통을 예로 들어보면, 2번과 3번 Node사이에서 고장이 나면 고장전류가 1번과 2번 Node에만 흐르게 되므로 FI가 뜨는 것을 보고 오퍼레이터가 판단하여 고장구간을 찾아내게 되어있다. 현재의 배전계통에는 계전기와 수많은 자동화 스위치들이 달려있다. 여기서 각 Node에 있는 FRTU는 고장전류가 흐르면 FI 신호를 중앙으로 정보를 올려준다.



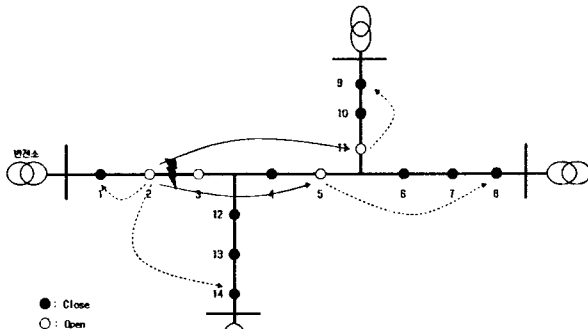
<그림 3> 2번과 3번 Node 구간에서 고장이 발생한 예제계통

위의 <그림3>과 같은 사고발생 시 정전구간은 1-8-9-14번 Node에 이은 큰 규모의 정전구간이 생긴다. 이 때 1번과 2번 Node에만 FI가 확인이 된다. 단말 Agent가 자기 구간의 FRTU가 FI라면 전원단을 기준으로 하위 Agent에게 통신을 통하여 FI 확인여부를 물어보게 된다. 이 때 1번 Node는 2번 Node에게 FI 경험여부를 묻고 만약 2번 Node가 FI를 경험하였다면 두 Node 사이의 구간은 고장이 아님을 알 수 있고, 2번 Node는 3번 Node에게 FI 경험여부를 묻고 3번 Node는 2번 Node에게 자신은 FI를 경험하지 않았다는 것을 알림으로써 두 Node 사이 구간이 고장임을 알 수 있게 된다.

이러한 방식으로 Multi-Agent 기반의 단말장치는 상호간의 통신을 통하여 서로의 정보를 물어보고 그 정보를 토대로 중앙의 의존하지 않고 신속하게 고장구간을 찾아 분리함으로써 신속한 복구동작을 하기위한 준비를 해준다.

## 2.3 복구동작

현재의 배전자동화 시스템에서의 복구동작을 위한 복구는 인근연계선로의 여유용량이 큰 경우 한곳으로 전부 부하를 넘기고, 그렇지 않을 경우 사고발생 시 Fuzzy Rule을 사용한 복구를 구함으로써, 그 복구를 가지고 중앙에서 오퍼레이터가 제어를 하여 전력공급용량이 부족하지 않도록 제어를 하고 있다. 이러한 방식은 중앙에서 확인해 의해 제어가 진행된다는 장점이 있지만, 오퍼레이터가 사고를 감지하고 FI를 확인하고 여유용량까지 확인하여 복구해에 따라 정전을 복구하는 여러 가지 절차를 거치게 된다.



<그림 4> 복구해에 따라 각 Agent들이 복구를 위한 제어명령 전송

본 연구에서의 복구동작은 사고발생 전에 전전구간 운전 시 사전에 미리 각 구간별 사고에 대해 복구를 구해놓는다. 구한 복구는 중앙 Agent S/W를 통하여 각 단말 Agent에 전송이 된다. 각 구간의 복구는 구간의 상위단에 있는 Node가 가지고 있으며 상위단의 Node가 복구의 기준이 되는 역할을 한다. <그림 4>에서 보면 2번과 3번 Node사이의 고장에서 2번이 복구의 기준 Node로 상위 1번에게 Close 명령을 전송하고 5, 11, 14번 Node에게 복구정보에 따른 제어명령과 나머지 복구명령을 전송한다. 복구명령을 전송받은 각 단말 Agent들은 자신에게 내려진 명령이 있나 있으면 해당 동작을 수행하고 없으면 그대로 대기상태로 유지한다.

이렇듯 사전에 복구알고리즘 및 오퍼레이터의 수정에 의해 정의해놓은 복구정보에 따라 각 단말 Agent들이 사고가 발생하는 순간부터 상호간의 통신을 통하여 고장구간을 찾고 사전 정의된 복구동작을 수행하므로, 오퍼레이터가 사고를 인지하기도 전에 복구까지 완료가 가능할 수 있는 시스템의 복구동작이다.

## 3. 사례 연구

본 시스템의 사례연구는 PC를 통하여 해당 시스템을 구축하였고, 통신방법은 미래를 대비하여 유선망인 LAN 통신과 현재 시스템에 적용이 가장 무난한 통신망 중 무선망인 CDMA를 통하여 해당 시스템을 Test 하였다.

시나리오 1은 고장구간을 2번과 3번 Node 사이에 고장이 난 것으로 가정하였고, 1번 Node는 Relay이며 2번과 3번 Node에는 자동화스위치가 달려있는 것으로 가정하여 그 시간을 측정하였다. 시나리오 2는 고장구간을 5, 6, 11번 Node의 사이로 가정하였으며, 5번이 Relay이고 6, 11번 Node는 자동화스위치로 가정하였다. 시간의 단위는 초(sec)이며 CB의 Open/Close 동작지연시간은 고려하지 않았으며 시간의 소수점은 버림으로 하였다.

<표 1> 유/무선 통신별 복구동작 시간

구분	1차	2차	3차
시나리오 1	유선	1	1
	무선	43	42
시나리오 2	유선	1	1
	무선	46	46

## 4. 결론

현재 전력IT 분야에서의 Agent란 막연히 미래에 이루어 질 것이라는 생각만 가지고 있다. 배전자동화 시스템이 활용 된지도 그리 오래되지 않았고, 배전자동화 시스템과 같은 중앙집중형 제어방식의 시스템을 뒷받침 해주는 IED들도 많은 연구를 통해 여러 장비가 개발되어 왔지만, 계속해서 개발해야 할 분야가 많은 상황이다. 이러한 현실에서 Agent라는 개념을 도입하기란 무리라고 생각될지 모른다. 하지만 전력IT의 현재 기술수준에서 Agent 개념의 도입은 충분히 가능하며 이러한 연구 및 기술개발이 시작되어야 한다.

본 연구에서는 현재 대부분의 전력계통과 관련된 자동화제어 시스템의 중앙집중형 제어방식이 아닌 Multi-Agent의 개념을 도입시킨 분산형 정전 복구 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 중앙 Agent와 단말 Agent 장치로 구성된다. 중앙 Agent는 현재 배전자동화시스템의 DB를 감시하고 계통변경이 되는 것을 자동으로 확인하여 단말 Agent들에게 필요한 계통정보 및 복구정보 등을 전송하여 주는 역할을 한다. 그리고 단말 Agent 장치는 배전자동화 시스템 Software와 FRTU사이의 통신라인 중간에 설치되어 필요에 따라 둘 사이의 통신을 감시할 수도 있고 단말 Agent 자체가 FRTU에 게 요청하여 정보를 가진다. 여기서 얻은 정보를 가지고 상호간에 통신을 통하여 필요한 정보를 더 모은 후에 사전에 정의된 복구정보에 따라 상호간에 통신을 통하여 필요한 제어명령을 각 단말 Agent에게 전달한다. 제어가 필요한 단말 Agent는 DNP 3.0 프로토콜을 이용 FRTU에게 제어명령을 전달하여 CB의 Open/Close를 제어함으로써 복구동작을 수행하도록 하는 장치이다. 이러한 두 가지 종류의 Agent들을 가지고 Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 시스템을 만들어 복구동작을 측정해본 결과 무선망의 Peer-to-Peer일 경우 전화의 호 설정 시간으로 인하여 최대 47초정도 걸리고 계통의 분기점이 많을 경우에도 1분 이내에 모든 동작이 완료되는 것을 확인하여 현재 배전자동화시스템의 불필요 정전구간의 복구보다 빠름을 입증하였다.

현재 배전자동화 시스템뿐만 아니라 전력계통시스템의 통신망은 유/무선 통신으로 광통신, KT망, CDMA등 여러 방식을 사용하고 있다. 아직까지는 보안에 의견이나 연구가 진행된 것이 적다. 하지만 우리나라와 같이 특히 인터넷 강국에서 Cyber 테러가 극성을 부리는 시기에 전력계통만은 해커의 공격을 받지 않을 것이라고 절대 단정 지을 수 없다. 요즘같이 1분만 정전이 되어도 심하면 수천만원의 손실이 생길 수 있는 시대에 보안에 대한 자각이 부족한 것은 매우 위험한 일이다. 따라서 본 연구에서는 이 시스템의 통신망에 암호화 알고리즘을 적용하여 Cyber 테러에 대비할 수 있는 시스템을 만들 것이다.

또한 본 연구를 통해 구현한 이 시스템은 PC로만 구현하였다. 하지만 이것을 시작으로 하여 실제 이 장치들을 만들 것이며, 그 장치들을 가지고 실증시험도 해볼 것이다. 이러한 과정들은 앞으로 Agent와 관련된 많은 연구들을 창출해낼 것이다.

## [감사의 글]

본 연구는 산업자원부 전력산업연구개발사업(과제번호:R-2005-1-394)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## [참고 문헌]

- [1] 한국전력공사 보도자료, "韓電, 停電復舊시간 획기적 단축", 2003.03
- [2] 전력연구원, "배전자동화 기반의 배전계통 최적운전 기법 개발", 2005.04
- [3] Kwang-Ho Jung\*, Myeon-Song Choi, Seung-Jae Lee, Seong-II Lim\*\*, "A Service Restoration Algorithm for Power Distribution Networks Applying Multi-Agent System", KIEE International Transactions on Power Engineering, 5-A(2), 125-131, 2005.06
- [4] Nagata, T.; Sasaki, H., "A multi-agent approach to power system restoration", Power Systems, IEEE Transactions on, Volume 17, 457 - 462 2002.03