

배전자동화 시스템의 복구기능 향상을 위한 Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 시스템

論文

56-4-4

Distributed Restoration System based on Multi-Agent for Improving Restoration in Distribution Automation System

林 星 日* · 林 一 亨** · 崔 勉 松† · 李 承 宰*** · 權 成 鐵§ · 河 福 男 §§

(Seong-Il Lim · Il Hyung Lim · Myeon Song Choi · Seung Jae Lee · Sung Chul Kwon · Bok Nam Ha)

Abstract - In order to improve the efficiency of service restoration function in the current Distribution Automation System (DAS), in this paper it is proposed a more advanced and efficient service restoration approach using Multi-Agent technique based on distributed networks. In the current DAS, communication networks or protocol structures are centralized with communications between the central station and FRTU through 1:1 connection. In order to maintain the current systems and enhance the proposed Multi-Agent based service restoration scheme, a device of communication and intelligence, named MASX, is newly developed to make a FRTU as an agent to cooperate each others. The proposed system applied in a demo system for an distribution automation system and shows 8 times reduction of restoration time in restoration of blackouts.

Key Words : 배전자동화, 배전지능화, distribution network, Multi-Agent, restoration

1. 서 론

전력IT 산업에서 핵심적인 역할을 하고 있는 배전자동화 시스템은 전력계통 운영기술과 IT 기술을 이용하여 원거리에 산재해 있는 배전선로용 자동화개폐기(FRTU : Feeder Remote Terminal Unit)를 배전사령실에서 원격으로 감시 및 제어하고, 고장구간을 자동으로 찾아내며, 전압, 전류, 파형 등의 선로운전 정보를 자동으로 수집하는 시스템으로 배전계통을 효율적으로 운영할 수 있도록 지원하는 종합제어 시스템이다.[1]

배전자동화 시스템은 배전계통 운영에 있어서 설비의 보호로 안전을 확보하고, 고 품질의 서비스를 수용가에 제공할 수 있도록 사고 시 정전시간을 줄일 수 있는 정전복구 시스템을 갖추고 있으며, 경제적인 관점에서 효율을 높일 수 있도록 최적화 운전을 가능케 한다. 배전자동화 시스템의 기능 중 중앙에서 원격으로 감시 및 제어를 통해서 고장발생 시 계전기나 리클로저의 동작으로 인하여 생기는 불필요 정전구역을 최소화시켜주는 복구기능이야말로 수용가 측면에서는 가장 도움이 되는 기술이라 할 수 있다.

현재의 배전자동화 시스템은 배전계통의 특성과 신뢰도, 시작 당시의 기술수준 등의 사유로 중앙집중 형태의 저속의

RS-232C Serial 통신을 이용하고 있다. 중앙의 배전자동화 시스템(DAS : Distribution Automation System)과 수 백개의 FRTU들 사이에는 배전자동화 서버의 통신을 전담 처리하는 FEP가 있으며 이들이 유기적으로 묶여서 배전계통을 감시 제어하고 있다.

이와 같은 중앙집중식 통신망에 연결되어 있는 배전자동화 시스템은 사고발생 시 배전계통으로부터 고장구간 주위의 많은 FRTU에서 수많은 정보가 중앙의 DAS로 전달되고, 이 정보가 처리되어 적절한 제어명령이 각각의 FRTU로 전달되어야 하기 때문에 정전복구과정에 있어 많은 시간이 소요된다.

현재 우리나라 배전자동화 시스템은 복구시간은 약 5분 [2] 정도로 세계적으로 매우 우수한 성능을 보이지만 수용가의 입장에서는 불필요한 정전이 지속되는 이 짧은 시간조차 매우 긴 시간일 수 있다. 따라서 이 중앙집중 통신방식에 의한 배전자동화 시스템의 정전복구방식을 개선할 필요가 있으며, 이를 위하여 본 논문에서는 배전자동화 시스템에 Multi-Agent 기법을 적용할 것을 제안한다.

최근에 통신기술과 지능기술을 융용한 Multi-Agent 기법의 전력시스템 적용 연구가 활발하게 진행되고 있다. 하지만 이러한 연구들은 아직 이론에만 머물러 있으며, 단지 Agent 기법이 전력계통에 적용되었을 경우를 가정하여 알고리즘을 개발하는 단계에 그치고 있다. 예를 들어 feeder를 agent화 시켜서 고장구간을 검출하여 정전복구를 한다던가, OCR이나 Recloser를 agent화 시켜서 고장구간을 검출하여 정전복구를 수행한다는 기존 논문에서 보여지는 연구들은 좋은 연구이나, 실제 이러한 알고리즘들을 계통에 적용하여 사용하기에는 상당한 무리가 따를 것이다.[3-9]

예를 들어 feeder와 OCR과 Recloser를 어떻게 agent화 시킬지, 실제 계통에 적용하기 위해서는 agent 기술 적용 후의 계통에서 feeder나 OCR이나 Recloser가 어떠한 구조를

* 正會員：明知大學 工大 電氣工學科 研究教授 · 工博

** 正會員：明知大學 工大 電算工學科 博士課程

† 教授：終身會員：明知大學 工大 電氣工學科 教授 · 工博

E-mail : mschoi@mju.ac.kr

*** 優待會員：明知大學 工大 電氣工學科 教授 · 工博

§ 正會員：韓電 電力研究阮 先任研究員

§§ 正會員：韓電 電力研究阮 首席研究員 · 工博

接受日字：2006年 12月 24日

最終完了：2007年 3月 5日

가져야 하는지에 대한 부분에 대해서는 전혀 고려되고 있지 않다. agent 기술이 이미 계통에 적용된 후의 상황에 대한 알고리즘들을 연구한 좋은 논문들이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 기존의 연구들과는 차별을 두기 위하여 기술의 전력계통 분야에 대한 적용시기를 앞당기기 위한 현재 배전자동화 시스템에 agent 기술을 적용하기 위한 연구를 수행하였다.

본 논문은 현재 배전자동화 시스템을 기반으로 현재의 시스템 구조를 유지하면서 배전자동화 시스템에 적용이 가능한 Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 알고리즘을 개발하였다. 그리고 이 알고리즘의 성능을 입증하기 위하여 현계통에 바로 적용이 가능한 단말 Agent 장치를 만들고 여기에 개발된 알고리즘을 적용하였으며, 이를 이용하여 정전시간을 현재보다 획기적으로 줄일 수 있는 분산형 정전복구 시스템을 개발하였다.

2. 배전자동화 시스템의 정전복구 시스템

2.1 배전자동화 시스템의 구조

그림 1은 배전자동화 시스템의 기본 구성을 보여주고 있다. 배전계통의 각 단위 그룹에는 중앙 제어실 내에 배전자동화시스템 중앙장치가 존재하며, 중앙장치는 지역별 특성에 따라 최대 20km의 범위 내에 있는 대략 100개에서 500개 정도의 FRTU와 연결되어 있다.

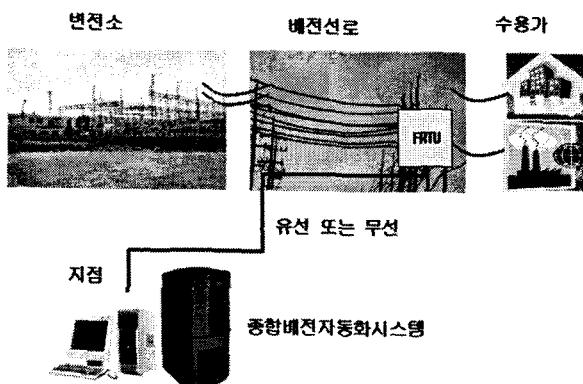


그림 1 배전자동화 시스템의 구조

Fig. 1 General structure of distribution automation system

그림 2는 광케이블을 기반으로 하는 현재 배전자동화 통신망을 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 광선로에 DAS 서버와 FRTU가 광모뎀을 통하여 접속되어 있으며, 통신 프로토콜은 DNP 3.0을 사용하고 있다. 광모뎀은 E1(2Mbps)으로 광선로에 연결되어 있으며, FRTU는 광모뎀에 RS-232 방식의 직렬(serial) 통신 방식으로 접속하고 있다.

이와 같은 현재의 배전자동화 시스템의 중앙집중 방식 통신구조에서는 직접 FRTU간에 필요한 정보교환을 할 수가 없어, 보호나 복구 등에 필요한 지역적인 정보를 서로 교환할 수가 없다.

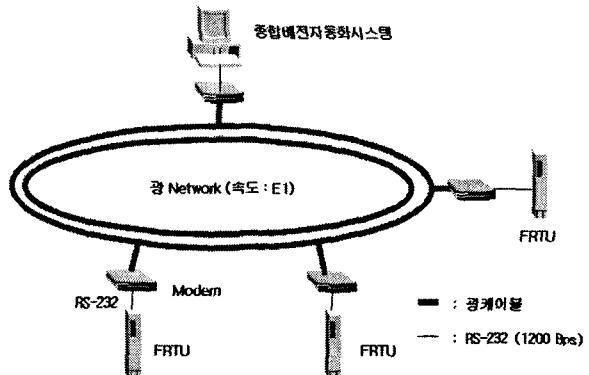


그림 2 국내 광전송로 기반의 배전자동화 통신망 구성

Fig. 2 Communication structure of Korean DAS

2.2 배전자동화 시스템의 정전복구 기능

배전자동화 시스템의 복구기능은 그림 3에서 보는 바와 같은 일련의 과정을 수행한다. 계통에서 사고가 발생하면 계통에 널리 산재해 있는 FRTU들은 실시간으로 계통의 정보를 수집하여 DAS로 전송하며, 특히 고장전류를 감지하게 되면 고장표기시(이하 FI : Fault Indicator) 동작정보를 DAS로 전송한다. 오퍼레이터(Operator)는 전송받은 이 FI 정보를 비교 분석하여 고장구간을 판단하게 된다.

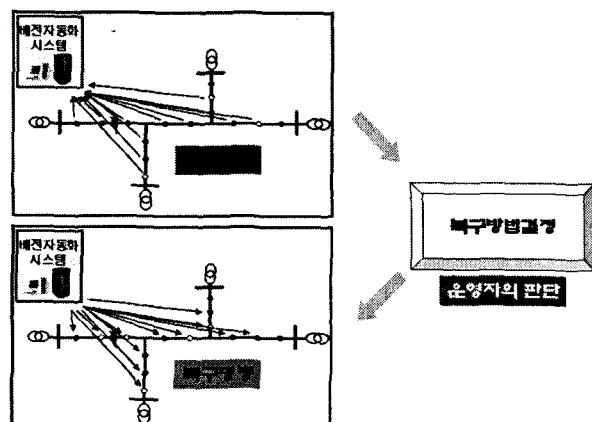


그림 3 배전자동화 시스템의 정전복구 과정

Fig. 3 Service restoration process in DAS

배전계통은 방사상으로 운전되기 때문에 고장이 발생되면 고장구간 부하측의 부하절체가 가능한 건전구간을 이웃한 연계선으로 절체하여 정전을 복구해야 한다. 따라서 중앙의 배전자동화 서버를 감시하고 있는 배전계통 운영자, 즉 오퍼레이터는 자동화폐기기를 조작하여 고장구간을 분리한 후 건전구간의 용량과 연계구간의 여유용량을 계산하여 적절한 스위칭 동작을 통하여 정전구간을 최소로 하는 것이 현재 배전자동화 시스템의 정전복구 기능이다.

이러한 배전자동화 시스템의 중앙집중식 구조는 사고 시 집중적으로 많은 통신량이 수반되어 통신에 많은 시간이 필요하기 때문에 결과적으로 사고처리에 많은 시간이 소요되므로, 이를 줄일 수 있다면 배전자동화 시스템 정전복구 기능의 성능향상에 큰 역할을 하게 될 것이다.

3. Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 시스템

3.1 분산형 정전복구 시스템의 구조

현재의 중앙집중형 배전자동화 시스템 복구 방식은 사고 시에 집중적으로 많은 통신량과 통신시간을 필요로 한다. 그런데 복구라는 차원에서 살펴보면 기본적으로는 모든 정보를 중앙제어장치가 수집하여 판단하는 방식보다는 정전된 지역 내에 있는 설비끼리 통신을 하여 고장구간을 판단하고 처리하는 분산형 복구방식이 이론적으로나 통신시간에 있어 유리할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 현재 배전자동화 시스템의 정전복구 기능을 중앙집중형태의 구조에서 분산형 구조로 개선하는 방법을 제안하였다. 이와 같은 분산형 정전복구 방식은 문제 지역의 각 설비가 서로 협조하여 능동적으로 지역적인 복구 문제를 처리하는 방식에 바탕을 두고 있다. 이를 위하여 자율적인 처리능력을 가진 지능과 협조를 위한 정보교환 능력을 가지면서 통신기능을 갖춘 Agent들의 협동을 통해 문제를 해결해 나갈 수 있는 Multi-Agent 개념을 정전복구 시스템에 적용하였다.

제안하는 Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 시스템은 배전계통에서 복구에 관련된 작업을 수행하는 단말장치가 FRTU이기 때문에 각각의 FRTU를 지능과 통신기능을 갖춘 Agent로 만들고 이 Agent들의 정보교환에 의하여 고장구간을 찾고 Agent들의 협동으로 필요한 복구동작을 수행하여 불필요 정전구간을 복구하는 구조를 가진다.

그러나 이와 같은 Multi-Agent 기반 분산형 복구시스템을 이루기 위해서는 현재 배전자동화 시스템의 많은 부분이 변경되어야 한다. FRTU가 현재 지원하고 있는 통신은 중앙장치와 1:1의 시리얼 방식의 통신이므로 FRTU 끼리의 통신이 불가능하다. Agent 기능을 갖게 하려면 Agent 끼리 다:다 통신이 가능한 통신방식으로 바꿔야 하며 각각의 FRTU가 Agent 기능을 할 수 있도록 자율적인 능력과 지능을 갖도록 해야 한다.

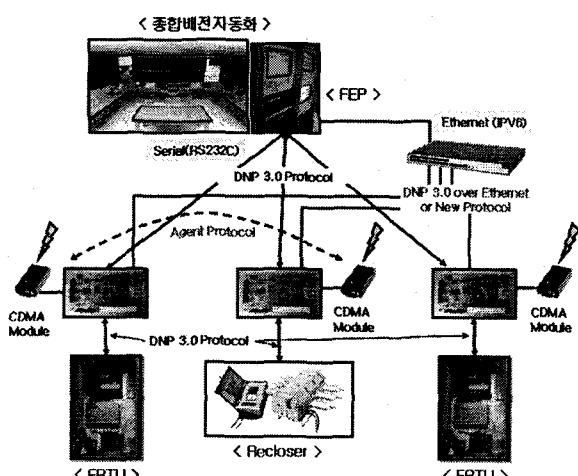


그림 4 분산형 정전복구 시스템의 구조

Fig. 4 Structure of distributed service restoration system

현재 우리나라의 배전계통에 설치되어 있는 FRTU의 개수는 약 3만대이다. 그러므로 현재의 FRTU를 모두 교체하여 Agent 기능을 갖게 하는 것은 경제적인 관점에서 현실적으로 실현이 어려우므로 현재의 FRTU에 Agent 기능을 갖는 장치를 추가하여 FRTU가 Agent로 동작하게 하고 이들을 이용하여 Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 시스템을 구현하는 것이다. 그 구성을 그림 4와 같다.

현재 배전자동화 시스템은 FEP에서 FRTU로 연결되는 통신망 사이에 중계통신망이 존재하고 그 사이는 모뎀으로 연결되어 있다. FRTU가 Agent 기능을 갖도록 추가하는 장치인 MASX는 DAS 서버와 FRTU 사이의 통신망 중간에 들어가서 FRTU를 Agent화 시키는 구조이다.

그림 4에서 MASX는 Agent 간 다:다 정보교환을 위하여 CDMA 통신장치를 갖고 있으며, FRTU와 중앙장치 간에는 DNP3.0 프로토콜을 이용하여, 자율적으로 필요한 명령을 FRTU로 하달한다.

3.2 중앙 Agent의 역할

중앙 Agent는 단말 Agent들이 배전계통에 자율적으로 적응할 수 있도록 도와주는 역할을 한다. 그러기 위하여 크게 두 가지 동작을 수행한다.

첫 번째는 단말 Agent들이 계통에 자율 적응 할 수 있고 독립적으로 복구가 수행될 수 있도록 기본적인 정보들을 전송해준다. 계통에 설치된 단말 Agent들의 Address, 즉 CDMA 통신의 경우 상단과 하단의 연락처 정보를 전송해주고, 오퍼레이터가 결정한 복구해를 전송하는 역할을 한다. 중앙 Agent는 현재의 DAS Server의 Database에 있는 복구해를 읽어와 단말 Agent가 정상적으로 정보를 수신할 수 있도록 변형하여 정보를 전송해준다.

이러한 일련의 동작들은 배전자동화 시스템에서의 중부화 상태에서 Load Transfer가 요구되는 상황에 대해서 고려를 하기 위한 것으로, 연계 feeder의 여유용량 부족으로 한 개의 연계 feeder에서 모든 정전부하를 담당하지 못할 경우 또는 여유용량의 적절한 분배를 위하여 적절한 스위칭 동작을 해야 한다. 현재의 시스템을 변경하지 않는 범위에서 현재 배전자동화 시스템에 적용이 가능하도록 고안된 것이기 때문에 이미 이러한 것들을 고려하여 만들어진 배전자동화 시스템의 복구해를 이용하여 중앙 Agent는 단말 Agent들에게 이 정보는 사전에 전송하여 고장이 발생하면 복구해에 따른 정전복구 동작을 수행하게 되는 것이다.

두 번째 기능은 단말 Agent의 상태감시이다. MASX가 실제 계통에 연결되려면 MASX의 고장이 자칫 또 다른 문제점을 발생시킬 수 있다. 따라서 MASX의 자기진단과 상단과 하단의 상태진단을 통해 중앙 Agent로 그 결과를 주기적으로 보고하여 문제점을 바로 해결할 수 있도록 하는 것이 중앙 Agent의 또 다른 역할이다.

3.3 단말 Agent의 역할

본 논문의 핵심이 되는 단말 Agent 장치(MASX)는 FRTU를 Agent화시키는 역할을 한다. 그림 5가 바로 FRTU를 Agent화 시키기 위한 자율적인 동작을 하는

MASX의 동작 흐름도이다. CDMA 기반으로 만들어진 이 Flow-chart는 통신대기 중에 있다가 통신을 통해 입력이 들어오거나 해당 FRTU로부터 FI 정보를 수신하였을 때 동작을 시작한다.

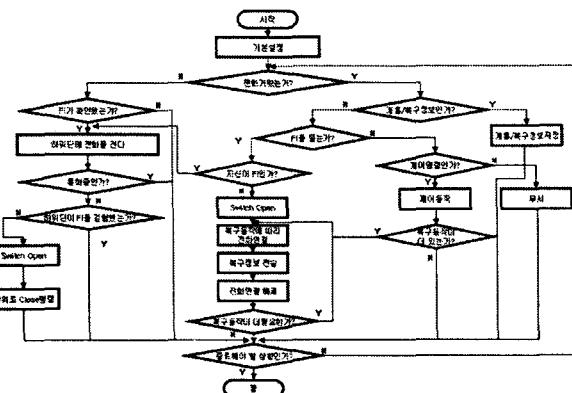


그림 5 단말 Agent의 동작 flow chart

Fig. 5 Flow chart of agent based service restoration

통신을 통해 입력이 들어오는 경우 주변의 Agent간에 FI 정보의 발생여부를 묻게 되며, 이 경우 자신의 FI 정보에 따라 동작여부를 결정하게 된다. 또는 FRTU로부터 FI 정보 발생을 확인한 경우 하위단 Agent에게 FI 여부를 물어 FI 가 발생하지 않은 Agent와 자신과의 사이가 고장구간임을 인지하게 된다. 이 후에는 정해진 복구 해에 따라 자신이 복구의 중심일 때, 혹은 다른 MASX로부터 복구명령을 전송받았을 때에 따라 각기 다른 동작들을 수행하게 된다.

이러한 동작을 통한 단말 Agent의 주된 기능은

1. FRTU로부터 해당구간의 FI 정보발생 확인
 2. MASX간의 정보교환을 통한 고장구간 검출
 3. MASX간의 정보교환 및 명령을 통해 정전복구

이러한 세 가지 주된 기능을 통하여 고장구간 최소화 및 절전구간 복구를 수행하는 핵심 역할을 한다.

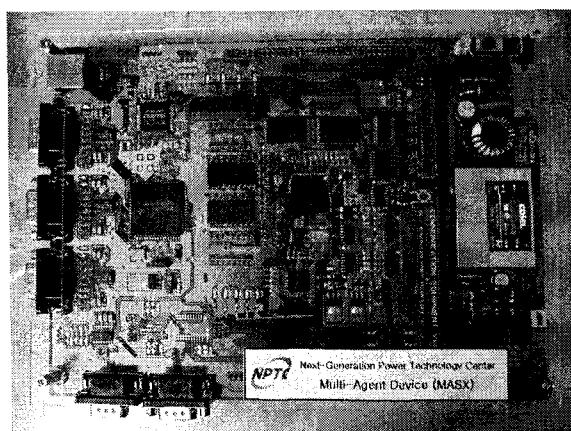


그림 6 단말 Agent 장치

Fig. 6 Prototype of DAS agent

그림 6은 실제 제작한 단말 Agent장치로 Serial 포트가 총 5개로 구성되어있고 Debug 포트, CDMA 전담포트, 배전 자동화 연결 포트, FRTU 연결 포트, 예비 포트 등이다. 또한 Ethernet 포트가 1개 존재하며 본 논문에서는 MASX의 상태감시에 사용되지만 향후에는 MASX의 내부 알고리즘 변경을 통하여 배전계통의 새로운 통신망 적용에 이용할 수 있도록 제작하였다.

3.4 정전복구 알고리즘

앞서 설명한 중앙 Agent와 단말 Agent를 계통에 적용하여 FRTU를 하나의 Agent화 시켜 Multi-Agent기반의 분산형 정전복구를 수행하는 알고리즘은 3단계로 구성된다. 여기에는 단말 Agent가 계통에 적용할 수 있도록 필요한 정보를 중앙에서 전송해주는 정보전송단계, FRTU로부터 FI 발생 정보를 확인하여 단말 Agent들의 상호간의 통신을 통하여 고장구간을 찾아내는 고장구간 탐색단계, 고장구간을 최소로 하기 위하여 불필요한 정전구간을 복구하는 정전복구 단계이다.

3.4.1 정보전송단계

첫 번째는 단말 Agent들이 계통에 적응하여 자율 판단 동작을 할 수 있도록 도와주는 정보전송단계이다. 현재 Agent는 우리나라 배전계통이 Radial 형태인 것을 감안하여 상단과 하단이 존재하며, 그 정보를 고장검출 및 상단복구에 이용되도록 설정해주는 단계이다. 그럼 7과 같이 중앙 Agent는 상단과 하단의 통신정보를 전송해주고, 현장경험을 반영하기 위하여 오퍼레이터의 최종 확인을 거친 복구해 정보도 단말 Agent로 전송한다. 이 정보로부터 단말 Agent들은 자기가 계통의 어느 위치에 존재하며 주위의 누구와통신하여야 하며, 누구로부터 통신을 해야 할지 알 수 있다.

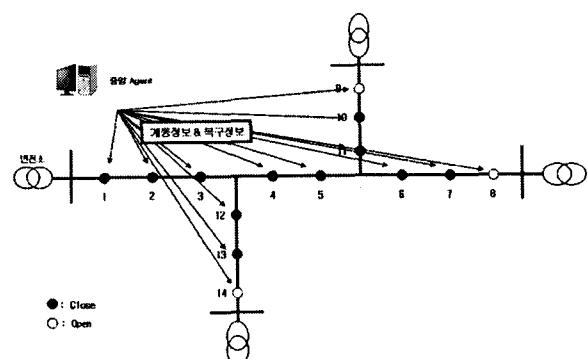


그림 7 중앙 Agent의 단말 Agent로의 정보전송 단계

Fig. 7 Downloading of restoration strategy

3.4.2 고장구간 탐색단계

두 번째는 고장구간 탐색 단계이다. 그림 8에서 각 번호는 단말 Agent들이다. 1번은 계전기가 설치되어 있어 고장 전류를 차단할 수 있고, 2번과 3번은 부하전류만 차단할 수 있는 자동화 스위치가 설치되어 있는 Agent라고 가정한다.

만약 고장이 2번과 3번 사이 구간에서 발생하게 되면 고장 전류를 1번이 차단하여 하단 전체가 정전이 된다. 이때 1번과 2번은 FRTU에서 FI정보가 발생하여 DAS 중앙장치로 전송한다. FRTU와 중앙과의 통신을 감시하던 Agent가 자신이 관할하는 FRTU에서 FI 정보가 발생한 것을 확인하면 하단의 단말 Agent에게 FI 정보 발생 여부를 물어본다.

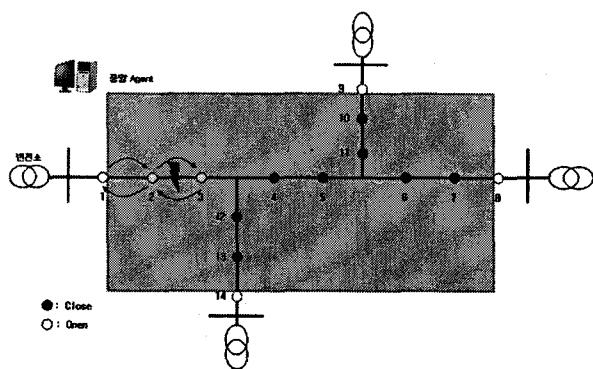


그림 8 고장구간 탐색단계

Fig 8 Identification of faulted section

이 때 두 가지 대답이 나올 수 있는데, 하나는 하단 Agent에서 FI가 확인이 되었으면 두 구간사이는 고장이 아니며, 다른 하나는 만약 하단 Agent가 FI 정보 발생을 검출하지 않았으면 해당구간에서 고장이 발생하였음을 알게 된다. 자신이 고장구간에 인접하였음을 인지한 고장구간 상단과 하단의 Agent는 해당 FRTU에 스위치를 open하도록 명령하여 고장구간을 분리한다.

3.4.3 Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 단계

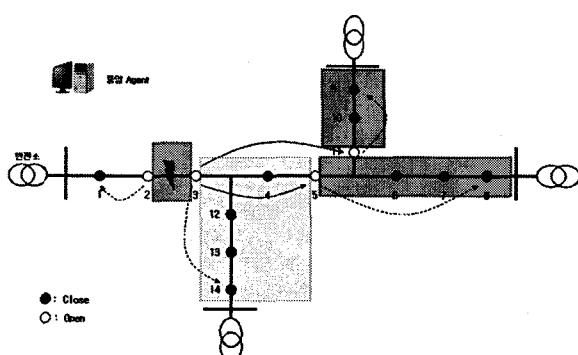


그림 9 Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 단계

Fig 9 Multi-agent based service restoration

세 번째는 정전복구동작 단계이며 그림 9는 이러한 복구 동작의 일련의 과정을 나타내주는 그림이다. 2번과 3번 사이의 고장임이 확인되면 3번이 복구동작의 중심이 되어 미리 중앙의 오퍼레이터의 전달받은 시나리오대로 해당 Agent 5번과 11번에 open 명령을 내리고, 이 명령의 수행이 확인되면 14번에 close 명령을 내린다. 그리고 2번, 5번, 11번 Agent는 해당Agent 1번, 8번, 9번에 close 명령을 내려 정전구간을 복구한다. 이렇게 분산형 정전복구는 이미 정해

진 복구해를 바탕으로 Agent 상호간의 필요한 최소한의 통신만을 통하여 빠르게, 분산적으로 정전복구를 수행한다.

이러한 분산형 정전복구방법의 핵심역할을 하는 FRTU에 설치된 단말 Agent(MASX)는 FRTU와 DAS중앙장치와의 통신을 감시하여, MASX 상호간의 필요한 통신을 통해 제어명령과 복구명령을 주고받으며, 제어명령을 분석하여 자신의 해당 FRTU에게 DNP 3.0 프로토콜을 이용하여 차단기 제어명령을 하달하여 복구 동작의 일부를 수행한다.

4. 정전복구 시스템의 실계통 적용을 위한 방안

4.1 단말 Agent의 실계통 적용을 위한 방안

본 논문에서 제시한 Agent 기반의 복구 시스템을 실제 계통에 적용시키기 위하여 통신, 프로토콜, 계통적용 구조 부분에서 적용방안을 제시하였다.

4.1.1 단말 Agent의 통신구조

그림 4에서 본 논문에서 제안한 Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 시스템의 통신구조를 알 수 있다. 단말 Agent는 Serial 통신방식, CDMA 통신방식, Ethernet 통신방식 등 총 세 가지 통신방식을 사용하고 있다.

단말 Agent 장치의 Serial 포트 2개는 배전자동화 시스템에서 FRTU 또는 Recloser로 전송되는 DNP 3.0 프로토콜 패킷은 그대로 통과시키고, 평상시에는 DNP 3.0 프로토콜로 FRTU 또는 Recloser와 통신을 하여 계통의 정보를 취득하여 계통 상태를 파악한다.

또 하나의 Serial 포트는 CDMA modem을 사용하는데 이용된다. CDMA 통신방식을 이용하여 각 단말 Agent들 간의 상호통신을 하게 되며 그 때의 프로토콜은 DNP 3.0이 아닌 자체적으로 정한 표 1과 같은 Agent 간 프로토콜을 사용한다.

Ethernet 통신포트는 향후 배전계통에 Ethernet 통신방식이 적용될 때를 대비하여 별도의 추가장치 없이 통신이 가능하도록 설치하였다. 즉 향후에 Ethernet 방식으로 통신구조가 바뀌더라도 기존에 설치된 FRTU들은 MASX의 통신 소프트웨어만 변경하면 MASX에 설치된 이 통신 포트를 이용하여 Ethernet 통신이 가능하다. 현재는 본 논문에서 제안한 분산형 복구방식의 알고리즘이 제대로 수행되는지 실시간으로 계통을 감시하는데 사용하고 있다.

표 1 단말 Agent 간의 프로토콜(자체정의)

Table 1 Protocol definition for agent communication

명령어	내용
UCC	계속해서 상위로 Close 명령을 전송
CTRCL	Close 명령
CTROP	Open 명령
YFI	자신이 FI를 확인하였음을 응답
DONTFI	자신이 FI를 확인하지 않았음을 응답
QSKFI	FI가 확인됐는가?
RF-복구정보	- 이하는 복구정보
NI 복구정보	- 이하는 계통정보

4.1.2 단말 Agent의 DNP 3.0의 구조

단말 Agent MASX는 FRTU와 DAS 중앙장치와 중간에 위치하여 상호간의 통신을 감시하다가 필요한 복구동작을 수행한다. 현재 FRTU와 DAS 중앙장치간의 통신은 DNP 3.0 통신프로토콜을 사용하므로 이것을 감시하기 위한 MASX는 특수한 구조를 가져야 한다.

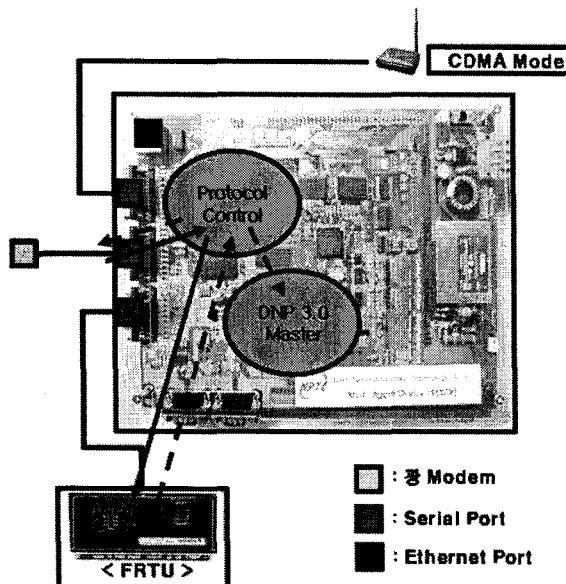


그림 10 MASX의 DNP 3.0 구조

Fig. 10 DNP 3.0 structure for MASX

그림 10은 MASX 내부의 제안한 DNP 3.0의 특수한 구조를 나타내주는 그림이다. 단말 Agent 장치인 MASX는 현재 운영되고 있는 배전자동화 시스템에 적용되었을 때 배전자동화 시스템의 특별한 수정 및 설정이 없어야 한다. 때문에 배전자동화 서버와 FRTU의 DNP 3.0을 이용한 통신을 그대로 유지하면서 MASX는 필요한 정보를 얻을 수 있어야 한다. 따라서 MASX 내부에는 DNP 3.0의 Slave와 Master 두 구성요소 중에 Master만 가지고 있게 된다.

배전자동화 서버와 FRTU와의 통신 중에 MASX가 얻어올 수 있는 정보는 FRTU로부터이다. 따라서 배전자동화 시스템의 DNP 3.0 구성요소를 볼 때 배전자동화 서버는 DNP 3.0의 Master 구조를 가지면서 필요한 정보를 요청하고 제어를 하고 있고, FRTU는 Slave 구성요소를 가지면서 요청에 따른 응답 및 동작 또는 고장표시기(FI:Fault Indicator)의 생성 시 비요청응답 기능을 수행한다.

따라서 MASX는 FRTU가 보내는 패킷으로부터만 정보를 얻을 수 있기 때문에 Slave의 패킷을 해석할 수 있고 Slave에게 요청 및 제어가 가능한 Master 구성요소만 필요한 것이다. 이러한 동작에 대한 전반적인 제어는 Protocol Control이라는 쓰래드를 두어 이러한 일련의 기능실현이 가능하다.

또한 일정시간동안 중앙의 서버로부터 FRTU에게 전송되는 패킷이 없다면 그것을 Protocol Control 쓰래드가 감시하고 있다가 중앙과의 통신이 끊어진 것으로 간주하여, 배전자동화 서버의 Address를 자신의 Address로 하여 통신이

재개될 때 까지 FRTU에게 정보를 요청하고 응답을 받아 언제 일어날지 모르는 정전복구 상황에 대비할 수 있는 장점을 가지고 있다.

즉, 배전자동화 시스템과 FRTU간의 통신구조상 FEP가 역할을 못한다던지 어떤 특정한 이유로 인하여 중앙의 배전자동화 시스템이 동작을 못할 경우에도 정전복구 기능만큼은 활성화 되어있는 상태로 FRTU로부터 얻은 정보를 토대로 동작하기 때문에 정전복구는 언제든지 가능하다.

4.1.3 단말 Agent의 계통적용 구조

앞서 설명한 바와 같이 단말 Agent 장치는 그림 11과 같이 배전자동화 시스템의 특성상 FRTU와 FEP를 연결하는 중계통신망 Modem과 FRTU사이에 설치가 된다.

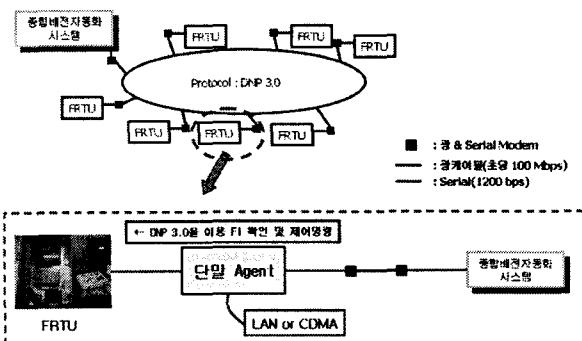


그림 11 단말 Agent의 계통적용 구조

Fig. 11 Structure for applying distribution network of agent device

그림 11은 중계 통신망을 광통신으로 사용하고 있는 경우를 나타낸다. 이러한 경우는 광-Serial Modem과 FRTU 사이에 단말 Agent가 연결되는 구조가 된다.

5. 사례연구

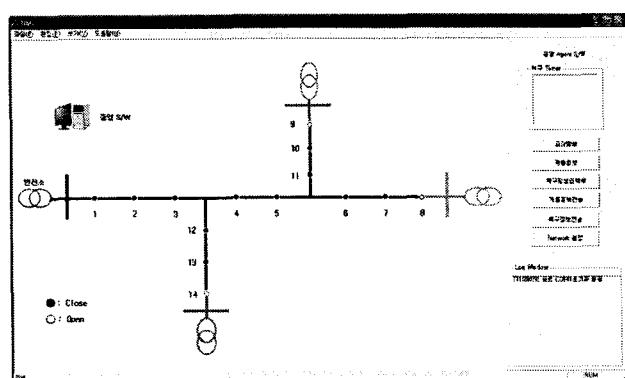


그림 12 분산형 정전복구 시스템 예제 계통

Fig. 12 Four feeders example distribution system

그림 12는 중앙 Agent의 HMI로 본 논문에서 제시한 Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 알고리즘과 실제 적용방안을 테스트하기 위한 예제계통이다. 본 논문의 사례

연구에서 예제계통의 1번은 계전기가 설치되어 있어 고장전류를 차단할 수 있고, 2번과 3번은 부하전류만 차단할 수 있는 자동화 스위치가 설치되어 있는 Agent라고 가정하였고, 고장구간을 2번과 3번 사이로 하여 시나리오를 구성하였다.

FRTU tester기로 고장전류를 FRTU에 인가하면 FI가 발생하고 MASX가 고장구간을 검출하고 정전복구 동작을 수행한다. 정전복구를 위한 MASX의 통신횟수를 중앙에서 일괄적으로 처리할 때와 Multi-Agent 기반의 분산형으로 할 때의 결과를 표 2에서 나타내었다. 분산형 정전복구 소요시간 또한 5회에 걸쳐 측정하여 표 3에 나타내었다.

표 2 중앙집중형과 분산형의 통신소요 횟수 비교

Fig. 2 Comparison of communication number

구분	중앙집중형	분산형
스위칭 동작개수	8개 (Close : 1, 8, 9, 14 Open : 2, 3, 5, 11)	8개 (Close : 1, 8, 9, 14 Open : 2, 3, 5, 11)
통신 전송 횟수	1 D-2 : Open	2-3 : 고장구간 탐색
	2 D-3 : Open	2-1 : Close, 3-5: Open
	3 D-1 : Close	3-11 : Open, 5-8 : Close
	4 D-5 : Open	3-14 : Close, 11-14 : Close
	5 D-11 : Open	
	6 D-8 : Close	
	7 D-9 : Close	
	8 D-14 : Close	

표 3 Multi-Agent 기반 분산형 정전복구 소요시간 (sec)
Table 3 Restoration time using Multi-Agent based DAS

횟수	소요시간
1	45
2	44
3	46
4	47
5	44

문서화 되어있지는 않지만 한전 사업소와 전력연구원의 설명과 자료를 볼 때 국내 배전자동화 시스템 정전복구 소요시간은 약 2~5분 사이이며 평균 2분대라고 알려져 있다. 이는 배전자동화 시스템의 feeder의 권장 구성인 6분 할 3연계 계통임을 감안해 볼 때 본 사례연구에서 사용한 다분할 3연계 계통에서의 사례연구 결과는 평균 2분대의 소요시간과 비교하였다.

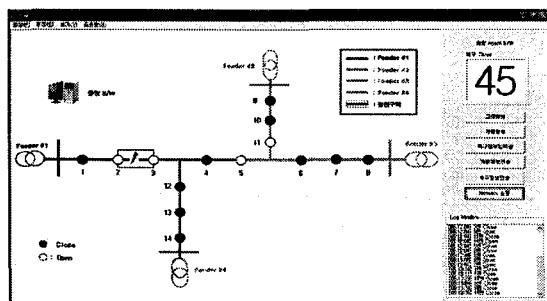


그림 13 정전복구 완료

Fig. 13 Final configuration after service restoration

표 2와 3에서와 같이 Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 시스템이 중앙집중형태의 정전복구 시스템보다 사고발생시 오퍼레이터의 판단 시간도 줄여주고, 통신도 분산형으로 병렬적으로 수행되기 때문에 정전복구 소요시간이 약 40초대 중반으로 소요되는 것을 통해 그 성능과 효율이 개선되는 것을 입증하였다.

6. 결 론

본 논문에서는 현재 배전자동화 시스템에 적용될 수 있는 Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 시스템을 개발하였다. 그리고 MASX라는 지능과 통신기능을 갖는 단말 Agent 장치를 개발하고, 이를 기존의 FRTU에 추가하여 FRTU가 Agent 기능을 갖게 하였다. 또한 배전자동화 모의 시스템을 구현하고 개발한 분산형 정전복구 시스템을 적용하여 Agent 간의 협동 작업으로 Multi-Agent 기반의 정전복구 알고리즘이 능동적으로 수행됨을 보였다. 기존의 중앙집중형 배전자동화 시스템이 5분대의 복구시간을 보이던 것을, 개발한 분산형 복구시스템을 이용하여 1분 이내로 줄일 수 있다는 것을 확인하였다.

본 논문이 목적한 바는 크게 Multi-Agent 기반 분산형 정전복구 시스템을 통한 정전복구 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 첫째는 Multi-Agent 기반 분산형 정전복구 시스템을 구축하여 현재 수분에 걸친 정전복구 시간을 1분 이내로 줄이는 것이다. 따라서 본 논문의 결과는 기존의 Multi-Agent 기법을 용용한 배전자동화 기술에 대한 논문의 알고리즘의 타당성에 대한 사례연구와는 달리 실질적인 시간을 언급함으로써 가시적인 결과를 보였다. 둘째는 현재 배전자동화 시스템에 agent 기술을 적용하기 위한 적용구조, 통신구조, 프로토콜 구조, 단말 agent 알고리즘 등 실제통 적용을 고려한 연구로써 기존의 현재 배전자동화에 적용하기 위한 방법은 고려되지 않은 연구들과는 달리 현재 배전자동화 시스템에 적용을 하기 위한 노력들을 내포하고 있으며, 이러한 연구를 통하여 향후 agent 기술의 배전자동화 적용 시기를 앞당길 수 있기를 기대하고 있다.

또한 보다 정확한 정전복구 소요시간 비교를 통하여 Multi-Agent 기반 분산형 정전복구 시스템의 정전복구 소요간 측정을 통하여 개선된 성능을 비교하기 위해서는 배전자동화 시스템의 실제 계통을 대상으로 직접 운영하여 보는 것이 좋겠지만 현실적으로 불가능하기 때문에 이를 보안하기 위하여 향후 연구에는 고장 실증시험을 계획하고 있다.

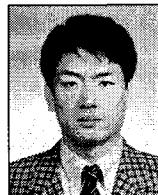
감사의 글

본 연구는 산자부의 전력산업고급인력 해외연수지 원과 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음(차세대전력기술연구센터)

참 고 문 헌

- [1] 임일형, 홍석원, 최면송, 이승재, 하복남, “배전지능화 시스템의 서비스 향상을 위한 P2P 기반의 분산형 통신망 구조”, 대한전기학회 논문집, 56권 3호 pp. 443-450, 2007
- [2] http://cyber.kepco.co.kr/kepco/pr/news/press_view.jsp?sn=1336
- [3] 임일형, 최면송, 이승재, 하복남, 권성철, “Multi-Agent 기반의 분산형 정전복구 시스템”, 대한전기학회 하계학술대회논문집, pp. 52-53, 2006
- [4] Kwang-Ho Jung, Myeon-Song Choi, et, al, “A Service Restoration Algorithm for Power Distribution Networks Applying the Multi-Agent System”, KIEE International Trans. Vol. 5-2, pp. 125-131, 2005
- [5] Murty Yalla, Mark Adamiak, et. al, “Application of Peer-to-Peer Communication for Protective Relaying”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 17, No. 2, 2002
- [6] Yun-Seok Ko, Dae-Seung Hong, et, al, “멀티 에이전트 개념에 기반한 배전계통의 분산 차율적 고장구간 분리 기법”, Vol. 55, pp. 227-235, 2006
- [7] S. Lee, S. Lim, and B. Ahn, “Service restoration of primary distribution systems based on fuzzy evaluation of multi-criteria,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 13, pp. 1156-1163, 1998.
- [8] Nagata, T, Sasaki, H., “A multi-agent approach to power system restoration”, IEEE Trans. Power Syst., vol 17, pp. 457 - 462, May 2002
- [9] H.F. Wang, “Multi-agent co-ordination for the secondary voltage control in power-system contingencies”, Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings, vol 148,, pp. 61 - 66, Jan. 2001
- [10] Phil Whitehead, “communications aspects of distribution network control”, IEE Savoy Place WC2R OBL, 1995
- [11] DNP Users Group, “DNP3 Basic 4 Documentations”, www.dnp.org, 1998
- [12] DNP Users Group, “Transporting DNP V3.00 over Local and Wide Area Networks”, www.dnp.org, 1998
- [13] Sam Halabi, Metro Ethernet, Cisco Press 2003
- [14] K.-H. Mak and B. Holland, “Migrating electrical power network SCADA systems to TCP/IP and Ethernet networking,” Power Engineering Journal, Dec. pp. 305-311, Dec. 2002
- [15] T. Flowers, et al, “Routing SCADA Data through an Enterprise WAN,” IEEE Computer Application in Power, pp. 40-44. 1995

저 자 소 개



임 성 일 (林 星 日)

1967년 7월 생. 1994년 명지대학교 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1996년-2001년 한전 전력연구원 연구원. 2004년-2005년 명지대학교 차세대 전력기술 연구센터 연구 교수. 현재 Iowa State University 방문 연구원.
Tel : 031-330-6815
Fax : 031-330-6816
E-mail : lim7610@mju.ac.kr



임 일 형 (林 一 亨)

1979년 4월 13일 생. 2005년 명지대학교 전기공학과 졸업.(학사) 2007년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정
Tel : 031-336-3290
E-mail : sojoo2jan@mju.ac.kr



최 면 송 (崔 勉 松)

1967년 4월 생. 1989년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 전기공학과 졸업(공박). 1995년 Pennsylvania State Univ. 방문 연구원. 1992년 기초전력공학 공동연구소 전임연구원. 현재 명지대학교 공대 전기공학과 교수.
Tel : 031-336-3290
E-mail : mschoi@mju.ac.kr



이 승 재 (李 承 宰)

1955년 11월 30일 생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 Univ. of Washington 전기공학과 졸업(공박). 1994년 Univ. of Washington 교환 교수. 현재 명지대학교 공대 전기공학과 교수.
Tel : 031-336-6362
E-mail : sjlee@mju.ac.kr



권 성 철 (權 成 鐵)

1972년 9월 24일생. 1996년 경북대학교
전자공학과 졸업. 1997년 포항공과대학교
대학원 전자공학과 졸업(석사). 1997년~
현재 한국전력공사 전력연구원 배전연구
소 선임연구원.

Tel : 042-865-5935

E-mail : sckwon@kepri.re.kr



하 복 남 (河 福 男)

1958년 1월 10일생. 1994년 충남대 대학
원 전기공학과(석사). 2004년 충남대 대
학원 전기공학과(공박), 1978년 한국전력
공사 입사 이후 대전전력관리처, 광주전
력관리처, 전력연구원 근무, 1988년~현
재 한전 전력연구원 배전연구소 배전IT
그룹장.

Tel : 042-865-5930

E-mail : bnha@kepri.re.kr