

Multi-Agent System and its Applications to the Distribution Automation System

林 一 亨* · 崔 勉 松** · 林 星 日†
(Il-Hyung Lim · Myeon-Song Choi · Seong-Il Lim)

Abstract - This paper presents benefits of multi-agent system approach and its application to the distribution automation system. Special attention is devoted to the description of hardware and communication platform used to upgrade the conventional distribution automation system structure. Service restoration of primary distribution system is selected as an example of the multi-agent system application. Application of the algorithm for multi-agent based service restoration technique is disclosed in detail. Real field test in Gochang test center of KEPCO has been performed to establish the feasibility of proposed technique.

Key Words : Multi-Agent System, Distribution Automation System, Service Restoration

1. 서 론

전력기술과 IT(Information Technology)기술의 융합이 새로운 화두로 떠오르면서 전력시스템 자동화에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 기존의 전력시스템 자동화는 운영자의 판단 및 조작을 돕기 위하여 원격감시제어에 중점을 둔 중앙집중식으로 개발되어 왔다. 인공지능기법이 도입되면서 운영자의 판단을 대신하는 각종 의사결정 프로그램이 개발되면서 에이전트 개념이 구현되어 활용되고 있다. 최근에는 통신기술의 발달함에 따라 단말장치 상호간에 P2P(Peer to Peer) 통신이 가능해 짐으로서 멀티에이전트 기술을 도입하려는 시도가 진행되고 있다. 멀티에이전트란 복잡한 문제를 단순한 문제들로 분산하여 다수의 에이전트에 임무를 부과하고 각 에이전트가 해결하는 단순한 문제를 결과를 조합하여 복잡한 문제를 해결하는 시스템이다. 멀티에이전트 기술을 전력계통에 응용하려는 노력은 발전, 송전, 변전 및 배전에 이르기까지 광범위하게 연구되고 있어 미래에는 없어서는 안 될 기술로 평가되고 있다[1,2].

전력계통의 모든 분야에 걸쳐 자동화 기술에 IT 기술을 융합하려는 연구개발이 진행되고 있지만, 가장 활발하게 진행되어 활용되고 있는 곳은 배전자동화시스템 분야이다. 방사상 다중연계방식 배전선로의 정전복구는 개폐기 상태 조합을 해 공간으로 하는 대표적인 조합최적화 문제로서 다양한 연구가 진행되어 왔다. 초기에는 경험적 탐색법[3]이나 전문가시스템[4]이 이용되었으며, 최근에는 G-net[5],

Petri-net[6], 퍼지로직[7] 등을 적용하는 방법이 연구되었다. 이러한 방법들은 모두 중앙제어장치가 단말장치로부터 데이터를 취득하고 판단하는 전형적인 중앙집중식 제어방식을 채택하고 있다. 본 논문에서 제시하는 방법은 멀티에이전트 기술을 기반으로 단말 에이전트들이 스스로 상호협력하면서 자율적으로 정전을 복구하는 방법으로서 기존의 방법과는 차별화된다.

본 논문에서는 멀티에이전트 기술을 전력계통 자동화에 접목하는 방안과 배전선로 정전복구에의 적용 예를 제시한다. 전력계통 자동화시스템에 멀티에이전트 기술을 적용할 때 고려되어야 할 중요한 개념적 요소들은 반응성, 선행성 및 사회성이다. 이를 구현하기 위해서는 P2P를 지원하는 하드웨어 플랫폼 및 통신방식이 필요한데, 본 논문에서는 배전자동화시스템에서 기존의 하드웨어 및 통신방식을 그대로 활용하면서 멀티에이전트 시스템을 구성할 수 있도록 하는 에이전트 플랫폼이라는 부가 하드웨어를 제시한다. 멀티에이전트 기술구현의 예로는 배전선로 정전복구를 선택하였으며 분산자율형 정전복구 알고리즘을 개발하여 에이전트 플랫폼에 포팅 하였으며, 제시한 하드웨어 및 소프트웨어의 유용성을 검증하기 위하여 고창 전력시험센터에서 실증시험을 실시하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장은 멀티에이전트 기술 적용방안을 설명하고, 3장은 배전자동화용 에이전트 플랫폼 기술하며, 4장은 분산자율형 배전선로 정전복구방법을 제시하고, 5장 실증시험 결과를 수록한다.

2. 멀티에이전트 시스템 기술 적용방안

2.1 전력계통 전반

멀티에이전트 기술은 실험실에서 시제품이 제작되는 단계를 넘어서 상용화 제품이 출시되는 단계에 이르렀다. 그럼

* 正 會 員 : 明知大學校 電氣工學科 博士課程
 ** 終身會員 : 明知大學校 電氣工學科 教授 · 工博
 † 交通著者, 正會員 : 慶南大學校 電氣工學科 教授 · 工博
 E-mail : slim@kyungnam.ac.kr
 接受日字 : 2008年 11月 12日
 最終完了 : 2008年 12月 22日

에도 불구하고 멀티에이전트 시스템 자체를 정의함에 있어서는 아직도 다양한 견해들이 존재하고 있으며, 멀티에이전트 시스템과 기존 분산처리 시스템간의 구별조차 명확하지 않은 실정이다. 일반적으로 받아들여지는 에이전트의 정의는 “환경에 적응하고 환경변화에 자율적으로 대응하는 소프트웨어 혹은 하드웨어”이다. IEEE PES 인공지능 위원회는 워킹그룹을 발족하여 그 활동의 결과로서 멀티에이전트 시스템의 장점과 극복해야할 문제점을 도출하고 가이드라인을 제시하였다. 워킹그룹에 따르면 에이전트와 기존 시스템을 구별하기 위한 특징으로서 반응성, 선행성 및 사회성을 들고 있다.

2.1.1 반응성(Reactivity)

에이전트는 주변 환경의 변화에 대하여 즉각적으로 반응할 수 있어야 하며, 주어진 임무를 지속적으로 수행할 수 있도록 적절한 대응조치를 취할 수 있어야 한다.

2.1.2 선행성(Pro-activeness)

에이전트는 목표 지향적이어야 한다. 목표 지향적이라는 용어는 에이전트가 정해진 행위만을 하는 것이 아니라 목표 달성을 위하여 행위 자체를 변경할 수 있는 능력을 가지고 있어야 한다는 의미이다. 예를 들어, 어떤 에이전트에 통신 실패가 발생하였는데 그 에이전트가 가진 서비스가 전체의 목적을 달성하기 위해 꼭 필요하다면, 같은 서비스를 제공하는 다른 에이전트를 찾아서라도 목표를 달성할 수 있어야 한다.

2.1.3 사회성(Social ability)

에이전트는 다른 지능형 에이전트와 상호 협력할 수 있어야 한다. 사회성이란 기존의 많은 시스템에서 하는바와 같은 소프트웨어나 하드웨어간의 단순한 데이터전달을 의미하지는 않는다. 사회성이 의미하는 바는 서로 협력하기 위하여 협상하고 상호작용하는 것을 의미한다.

에이전트가 이러한 능력을 가지기 위해서는 단순히 데이터를 전달이 아니라 의사소통이 필요하기 때문에 에이전트 통신언어(ACL: Agent Communication Language)가 필수적이다[8].

2.2 배전자동화 시스템

개폐기, 모선, 선로, 부하 등 배전계통의 모든 구성요소를 에이전트화 하려는 시도는 새롭고 효율적이기는 하지만 아직은 기술적으로 해결해야 할 문제들이 남아있고 경제성도 떨어져서 당장 실계통에 적용하기는 어렵다. 개폐기만을 에이전트로 하여 배전계통 제어를 구현한 시스템이 상용 제품으로 출시되기도 하였으나, 각각의 에이전트가 자율성과 독립성을 가지고 역할을 수행하는 것이 아니라 중앙에서 모든 것들을 판단하고 일괄제어 하는 중앙집중식 지능형 시스템이어서 진정한 의미의 멀티에이전트 시스템이라고 보기는 어렵다. 배전계통에 멀티에이전트 시스템을 적용하기 위해서는 각각의 에이전트가 유연성 및 자율성을 바탕으로 반응성, 선행성, 사회성의 특징을 가져야 하며 상호 협력하여 멀

티에이전트 시스템을 구성하여야 한다.

본 논문에서 제안하는 배전계통에서의 멀티에이전트 시스템은 현재의 기술적 수준과 경제적인 측면을 고려하여 두 가지 적용 방법을 제안한다. 첫째는 중앙제어장치가 모든 권한과 결정권을 가지고 독립적인 시스템을 운영하는 중앙 시스템에 에이전트 개념을 도입한 배전계통 운영 시스템이다. 현재까지 대부분의 연구가 이 범주에 속한다. 그런데, 중앙에서만 독립적으로 판단하는 시스템은 모든 상황을 중앙을 거쳐야 하며 중앙에 매우 의존적인 시스템이기 때문에, 동시다발적인 문제가 발생하였을 경우의 대처능력은 현저히 떨어진다. 특히 중앙제어장치에 고장이 발생하면 계통 운영 자체가 마비될 수도 있다는 치명적인 약점을 안고 있다. 둘째는 단말장치를 에이전트로 하여 상호작용을 통하여 목표를 달성하는 멀티에이전트 시스템을 도입하는 방법이다. 이 방법의 문제점은 모든 단말장치를 에이전트화 하여야 하므로 새로운 하드웨어 플랫폼이 개발되어야 하고, P2P 통신이 가능해야 하므로 새로운 통신방식이 도입되어야 하고, 분산형 처리를 위한 소프트웨어가 개발되어야 하므로 막대한 자금과 시간이 소요된다는 점이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 기존에 구축되어 있는 배전자동화시스템의 하드웨어, 소프트웨어 및 통신장치를 활용하면서 최소한의 시스템 변경으로 멀티에이전트 시스템을 구현할 수 있어야 한다. 본 논문의 3장과 4장에서는 이를 해결하기 위한 구체적인 하드웨어 및 소프트웨어 연구결과를 제시한다.

2.3 배전선로 정전복구

본 논문에서는 기존의 배전자동화 시스템 장치들을 최대한 활용하면서 멀티에이전트 기법을 구현하는 방안을 제시한다. 기존의 장비들도 DSP 기반의 하드웨어, 통신기능, 데이터 계측 및 개폐기 제어 기능을 갖추고 있으므로 멀티에이전트 기능을 구현하기에 일부 활용될 수 있는 여지가 충분히 있다. 따라서 이러한 조건들을 만족시키는 기존의 단말장치에 에이전트의 개념을 구현하는 부가 장치를 추가함으로써 멀티에이전트 시스템이 가능하게 한다.

본 논문에서 제안하는 멀티에이전트 기반의 정전복구 시스템은 중앙제어장치가 모든 데이터를 취득하고 판단하고 제어하는 중앙 집중적인 시스템이 아니라 단말장치가 정보를 교환하고 협력하여 자율적으로 판단하고 복구동작을 수행하는 시스템이다. 단말장치를 기반으로 하는 멀티에이전트 시스템을 배전계통 정전복구에 적용하게 되면 정전복구에 소요되는 시간이 현저히 감소될 것은 확실하지만 복구해의 신뢰성은 낮아질 수 있다. 본 논문에서는 기존 중앙제어장치의 기능 중에서 복구해를 생성하는 기능을 분리하여 토폴로지 에이전트에 부가함으로써 복구해의 신뢰도를 향상시키는 방법을 채택하였다. 토폴로지 에이전트는 단말 에이전트들이 계통에 설치되면 환경에 적응하는 것을 돕도록 고안되었다. 복구해를 단말에이전트에서 독립적으로 결정하면 신뢰도가 떨어지고 통신량이 증가되므로 계통의 토폴로지를 관리하는 토폴로지 에이전트가 복구해를 결정하고 운영자의 승인을 얻어 신뢰성 높은 복구해를 단말에이전트에 학습시킴으로서 분산형 정전복구 시스템이 운영된다.

본 논문에서 제시하는 멀티에이전트 기반 정전복구 시스

템은 배전선로에 고장이 발생하였을 때 신속한 전력공급 재개를 위한 긴급 부하절체를 대상으로 설계되었다. 작업정전에 필요한 부하절체의 경우는 정상적으로 전력이 공급되는 상태에서 계획 하에 진행되는 것이기 때문에 신속성 보다는 신뢰성이 더욱 중요하므로 멀티에이전트 방법 보다는 중앙 집중적인 기존의 방법이 유용하다고 판단된다.

3. 멀티에이전트 구현을 하드웨어 변경

배전자동화 시스템에 멀티에이전트 기술을 적용하기 위하여서는 단말장치인 FRTU(Feeder Remote Terminal Unit)의 기능을 변경하여야 한다. 기존 배전자동화 시스템의 구성은 그대로 유지되면서 멀티에이전트 기반의 분산형 정전복구 시스템을 구축하기 위하여 본 장에서는 추가 하드웨어인 에이전트 플랫폼을 제시한다.

3.1 에이전트 플랫폼

배전자동화 시스템의 단말장치를 새롭게 제작하여 에이전트 기능을 추가하는 것은 현실적으로 매우 어렵다. 따라서 본 논문에서는 기존의 단말장치에 그림 1에 보이는 것과 같은 에이전트 플랫폼을 추가함으로써 멀티에이전트 기능의 구현이 가능하게 하는 방법을 연구하였다. 에이전트 플랫폼은 3개의 시리얼포트를 가지고 있다. 기존의 단말장치가 FRTU와 통신 모뎀 사이에 시리얼 통신으로 이용하기 때문에 통신내용을 인터럽트하여 에이전트 기능을 부가하기 위하여 사용된다.

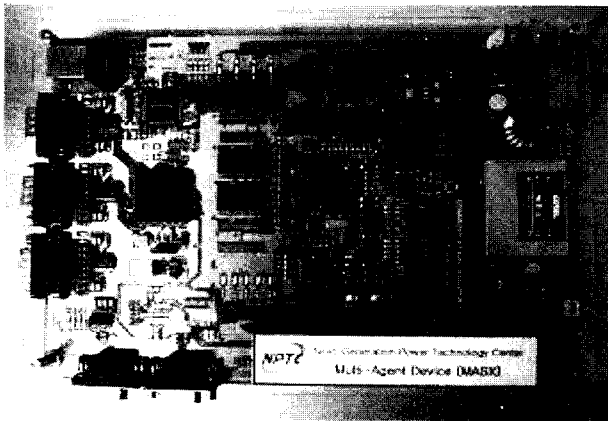


그림 1 에이전트 플랫폼의 하드웨어
Fig. 1 Hardware of Agent Platform

에이전트 플랫폼은 그림 2와 같은 물리적인 구조를 통해서 배전자동화 시스템에 부가되어 단말장치를 단말 에이전트로 만든다. FRTU와 모뎀 사이의 시리얼 통신부분에 설치됨으로서 단말장치가 중앙 서버로 전송하는 정보를 공유할 수 있게 된다. 멀티에이전트 개념이 도입되기 위해서는 단말 에이전트 장치들 간의 상호 통신망이 필요한데, 배전자동화 시스템의 기본적인 통신방식인 중앙제어장치와 단말장치 간의 일대일 통신을 단말장치 상호간의 P2P통신이 가능하도록 해주는 구조로 변경한다.

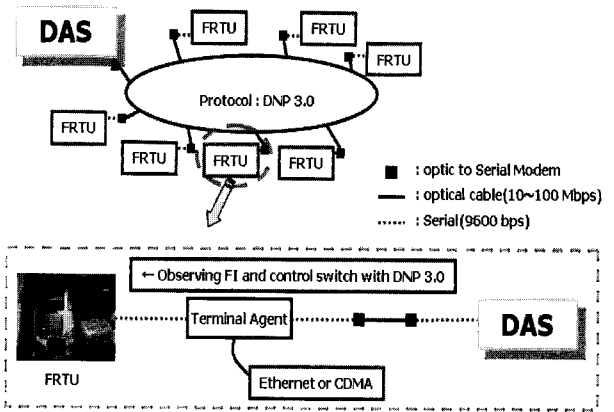


그림 2 에이전트 플랫폼의 설치위치
Fig. 2 Location of Agent Platform

3.2 멀티에이전트 구현방법

단말장치 상호간에 P2P통신이 가능하기 위해서는 이더넷 기반의 통신 구조를 가지는 것이 바람직하다. 그러나 이더넷 통신이 불가능한 상황에 대응하기 위하여 휴대폰 통신방식은 CDMA 통신을 병행하는 구조로 그림 3과 같이 에이전트 플랫폼의 프로토콜을 구성하였다. 이중적인 통신 구조를 가지고 있을 수 있지만 이더넷이 제공되지 않는 환경에서 CDMA 방식을 사용할 때만 국한되는 것이고 이더넷 방식에서는 단일 통신망으로도 모든 처리가 가능하다. 이러한 에이전트 장치를 이용하면 통신 변환 기능까지 가지고 있어 현재 장비에 변경 없이 단말장치를 이더넷에 연결할 수 있다는 장점도 가지고 있다.

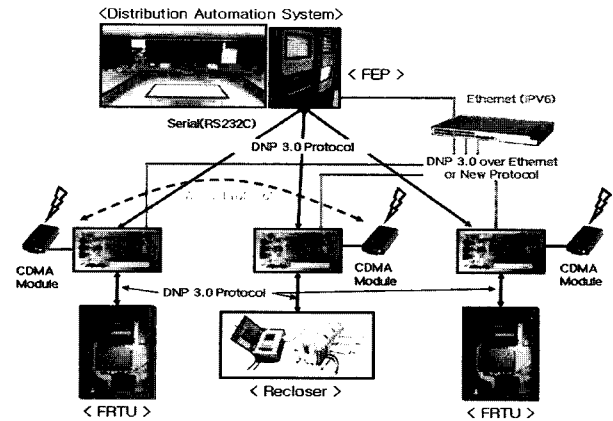


그림 3 에이전트 플랫폼의 프로토콜
Fig. 3 Protocol of Agent Platform

에이전트 플랫폼은 배전자동화시스템 중앙제어장치와 단말장치 사이에 전송되는 정보인 해당 지점의 계측데이터 및 상태정보를 감시한다. 이를 위해서는 에이전트장치는 배전자동화시스템의 중앙제어장치와 단말장치의 프로토콜인 DNP를 분석하고 패킷을 생성할 수 있어야 한다. 본 논문에서 제안하는 멀티에이전트 시스템의 구조에서는 기존 배전자동화시스템에서 중앙제어장치가 단말장치로 전송하는 요

청 패킷은 중요도가 상대적으로 낮다고 볼 수 있다. 기존의 배전자동화시스템 구조에서는 배전선로에 고장이 발생하였을 때 단말장치 내부 알고리즘인 고장표시기가 고장전류를 감지하고 단말장치에서 먼저 중앙제어장치로 이벤트를 발생한다. 따라서 단말장치는 DNP의 슬레이브 기능만을 가지고 있기 때문에 에이전트장치에는 그림 4에 나타난 바와 같이 이를 해석할 수 있는 마스터 기능만을 구현하였다.

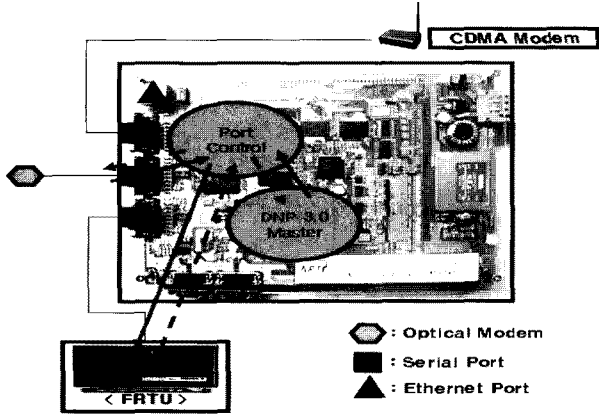


그림 4 에이전트 플랫폼의 프로토콜
Fig. 4 Protocol of Agent Platform

4. 멀티에이전트 적용 예 : 배전선로 정전복구

전술한 바와 같이 기존 배전자동화시스템의 하드웨어 구조를 변경하면 단말장치 상호간의 통신이 가능해지므로 배전자동화용 어플리케이션에 멀티에이전트 기술의 적용이 가능해진다. 본 장에서는 배전자동화시스템에서 가장 중요한 기능인 배전선로 정전복구 어플리케이션에 멀티에이전트 기술을 적용하는 방안에 대하여 설명한다. 멀티에이전트 기반의 분산형 정전복구 알고리즘은 모두 3단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서는 에이전트인 배전자동화 단말장치들이 배전선로의 구성변경을 인지하여 정전복구라는 목표를 수행할 수 있도록 동작방법을 변경하여 환경에 적응한다. 두 번째 단계에서는 고장의 발생을 자율적으로 인지하고 단말장치 상호간의 정보공유를 통하여 고장구간을 판정한다. 세 번째 단계에서는 단말 에이전트들이 상호 협력하여 멀티에이전트 시스템의 목표인 정전구간의 복구를 수행한다.

4.1 환경변화에 적응

단말 에이전트들이 배전선로에 설치되어 독립적인 역할을 수행하려면 우선 계통 환경에 적응해야 한다. 배전자동화용 에이전트는 주변 에이전트들과 상호 통신을 해야 하므로 자신의 위치와 상하단에 위치한 에이전트에 대한 정보를 가지고 있어야 한다. 이를 위해서 필요한 것은 초기에 각 에이전트에 설정된 통신 주소이다. 그리고 복구동작의 신뢰도를 높이기 위해서 중앙에서 결정된 복구 해를 단말에게 학습을 시켜야 한다. 이러한 역할은 토폴로지 에이전트가 담당하고 있다. 그림 5는 토폴로지 에이전트가 단말 에이전트들에게 토폴로지 변화를 인지시키고 복구동작을 학습 시키는 일련

의 과정을 나타내고 있다. 배전자동화용 에이전트에게 있어 환경변화란 개폐기의 상태변경에 따른 계통구성의 변화이다. 이를 제일 먼저 인지하는 것은 개폐기의 상태를 감시하고 있는 단말 에이전트이다. 단말 에이전트가 개폐기 상태변화를 인지하여 토폴로지 에이전트에게 전송하면 토폴로지 에이전트는 계통구성 변경의 영향을 분석하여 고장 시나리오에 대한 각 단말 에이전트의 동작계획을 수립하고 단말 에이전트로 다운로드 한다. 이때 수립되는 복구방안은 최대 정전 부하량과 최소 연계선로 공급여유용량 조건에서도 실행 가능해야 하므로 시간에 따라 변동되는 구간별 부하량 중에서 최대부하를 기준으로 계산한다. 배전선로 구성의 변경에서부터 관련된 단말 에이전트가 변화에 대응하여 재구성될 때까지의 모든 과정은 운영자의 개입 없이 에이전트들에 의해 자율적으로 진행된다.

토폴로지 에이전트는 배전선로의 모든 구간에 대하여 고장을 상정하고 복구방안을 수립함으로써 각 고장 시나리오에 따른 단말 에이전트의 동작계획을 수립한다. 방사상 다중연계방식의 배전선로에서 임의의 구간 고장에 대하여 복구방안을 수립방법은 많은 연구가 진행되어 왔으며 다양한 알고리즘이 제시되어 있다. 토폴로지 에이전트에 의한 복구방안 수립방법으로는 어느 알고리즘을 사용해도 무방하지만, 본 논문에서는 참고문헌[9]에 제시된 퍼지로지 기반의 정전 복구방안 수립방안을 적용하였다. 이 방법에서는 먼저 기본적인 복구스킴을 적용하여 전압강하 및 선로허용전류 제약 조건을 만족하는 실행 가능한 복구방안 후보를 탐색하고, 개폐기조작횟수, 부하균등화, 건전부하질제, 비상대비도 등의 고려사항을 퍼지로지식을 기반으로 종합적으로 판단하여 최적의 복구방안을 수립한다.

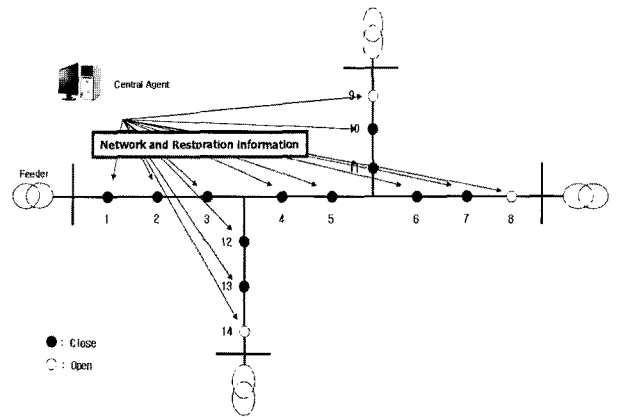


그림 5 계통 구성 변경에 적응
Fig. 5 Adaptation to Feeder Configuration

4.2 능동적 고장구간 판단

기존의 배전자동화시스템에서는 단말장치의 계측정보를 통신망을 통해 중앙제어장치가 취득하고 이를 기반으로 계통을 운영한다. 여러 가지 정보 중에서 고장의 발생에 따른 정전복구에 있어 가장 중요한 정보는 고장표시기 정보이다. 이 고장표시기 정보는 고장전류의 경험 유무에 관한 것으로 고장 점으로부터 전원 측에만 표시가 된다. 기존의 배전자

동화시스템에서 고장표시기 정보는 중앙제어장치에 의한 폴링에 의하여 취득되지 않고 단말장치가 먼저 이벤트를 발생하여 중앙으로 데이터를 전송한다. 중앙제어장치는 고장표시기가 동작한 개폐기와 고장표시기가 동작하지 않는 개폐기로 둘러싸인 구간에서 고장이 발생하였다고 판단한다. 따라서 고장구간을 판단하기 위하여 계통전체의 데이터가 필요한 것이 아니고 주변 단말장치의 정보만을 조합하여도 고장구간을 판단할 수 있다. 멀티에이전트가 적용된 배전자동화시스템에서는 하나의 단말장치가 고장표시기의 동작을 경험했을 때 데이터를 중앙으로 전송하지 않고 선로구성 관계에서 하위에 위치한 단말장치들과 고장표시기의 동작정보를 교환하여 모든 하단 단말장치가 고장전류를 경험하지 않았을 때 고장구간을 판단한다.

기존의 배전자동화 시스템에서는 고장구간을 판단하기 위해서는 중앙제어장치가 고장이 발생한 선로의 모든 단말장치의 고장표시기 동작유무에 관한 정보를 순차적으로 취득해야 하므로 통신에 소요되는 시간이 길다. 또한 고장구간을 판단한 후에 고장구간을 분리하기 위하여 고장구간을 둘러싸고 있는 개폐기들과 순차적으로 통신하여야 하므로 고장구간을 건전한 구간으로부터 분리하는데도 많은 시간이 소요된다. 그러나 멀티에이전트 기반 고장구간 판단방식에서는 그림 6에서 보는바와 같이 각각의 단말 에이전트가 직접 연결되어 있는 하위 단말 에이전트의 정보만 수집하므로 통신 소요시간이 획기적으로 감소된다. 또한 고장구간이 판단되었을 때 자신에게 연결된 개폐기만 제어하면 되므로 개폐기 제어를 위한 별도의 통신이 필요하지 않으므로 신속히 고장구간을 분리할 수 있다. 이것은 배전자동화시스템에 멀티에이전트 기술을 도입함으로써 얻게 되는 하나의 중요한 장점이다.

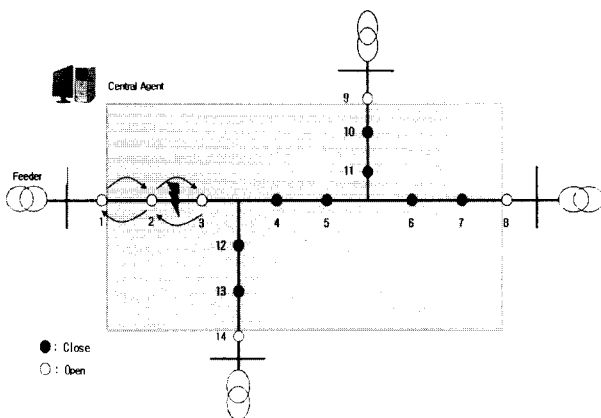


그림 6 고장구간 판단
Fig. 6 Faulted Section Identification

4.3 상호협력에 의한 부하절체

고장구간이 분리된 후에 정전구간에 대한 전력공급을 재개하는 고장구간 상단의 인접 단말 에이전트가 고장구간 전 원측 복구의 시작점이 되고, 고장구간 하단의 인접 단말 에이전트가 고장구간 부하측 정전복구의 시작점이 된다. 멀티에이전트 기반의 배전자동화시스템에서는 단말 에이전트 상호

간에 P2P통신이 가능하기 때문에 기존 배전자동화시스템의 중앙제어장치가 하던 바와 같이 하나의 장치가 각 단말장치의 동작을 순차적으로 지휘할 필요는 없다. 정전복구 시작을 담당한 단말 에이전트가 미리 준비된 복구 시나리오에 따라 복구동작을 시작하면 각각의 단말 에이전트들이 상호협력에 의하여 자율적인 개폐기 조작에 의하여 배전계통을 재구성하고 정전구간에 전력공급을 재개한다. 그림 7은 멀티에이전트 기반의 정전복구 과정을 나타내고 있다. 고장구간 분리에서와 마찬가지로 정전복구를 위한 배전계통 재구성 단계도 기존의 방식과 같이 중앙제어장치에 의하여 순차적으로 진행되는 것이 아니라 단말 에이전트들에 의하여 상호협력 기반에서 자율적 병렬적으로 진행되므로 정전복구에 소요되는 시간을 대한 매우 큰 폭의 단축할 수 있다. 또한 계통구성이 변경될 때만 환경변화를 인지하여 변경된 계통구성에 적합한 복구방안을 학습시키기 때문에 기존의 중앙 집중식방법과 유사한 수준의 복구방안 품질을 유지할 수 있다.

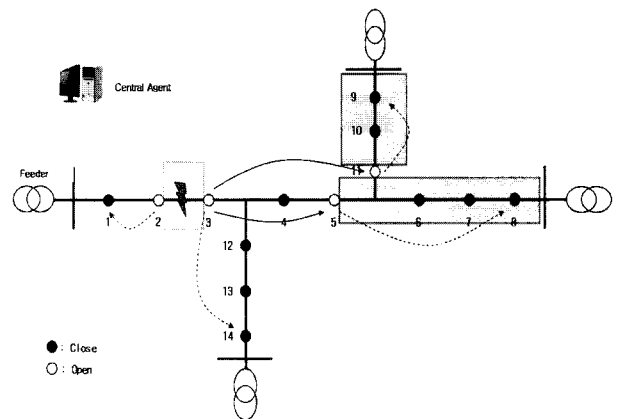


그림 7 정전구간 복구
Fig. 7 Service Restoration of Outage Load

5. 실증 시험

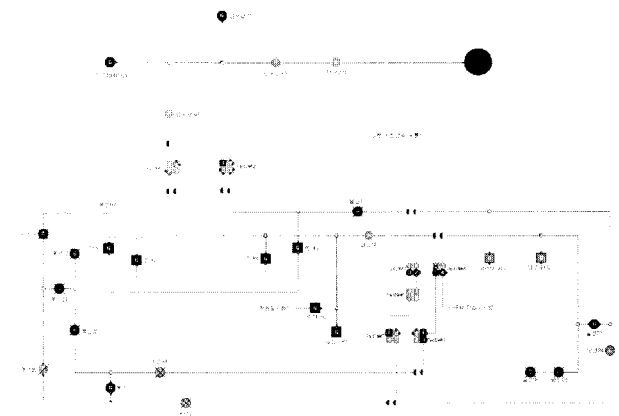


그림 8 시험선로 구성도
Fig. 8 Test Feeder Configuration

본 논문에서는 기존의 배전자동화시스템에 추가하는 에이전트 플랫폼의 하드웨어, 소프트웨어 및 통신방식을 포함하는 시제품을 제작하였다. 시제품의 성능검증을 위하여 전라북도 고창군에 소재한 한국전력공사 전력시험센터에서 실증시험을 수행하였다. 그림 8는 전력시험센터의 배전선로 구성을 나타내고 있다.

그림 9는 실증시험에 사용된 배전선로의 회선별 단선도를 시제품 MMI 에이전트가 표시하는 화면이다. 그림에서 R은 리클로우저, G는 가공개폐기를 나타내는데 각각에는 FRTU 이라고 부르는 통신 및 제어 단말장치가 설치되어 있다. 선로고장은 인공지락 시험장치를 이용하여 개폐기 2번과 3번 사이의 인가하였다. 시험장 환경이 이더넷을 지원하지 않아 단말장치들간의 통신방식은 휴대폰에 사용되는 CDMA를 이용하였다.

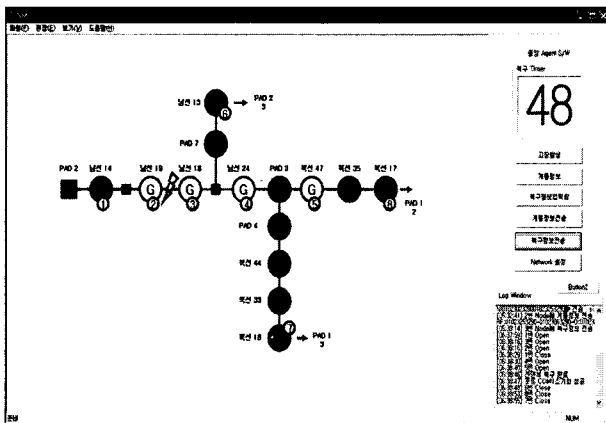


그림 9 고장이 발생한 선로의 회선별 단선도
Fig. 9 Single Line Diagram of the Faulted Feeder

표 1은 본 논문에서 사용된 정전복구 방안과 그에 따른 개폐기 조작내용을 나타내고 있다. 단일절체는 정전구역 전체를 하나의 연계선로로 절체하는 방법, 2분할 절체는 정전구역을 둘로 나누어 두 개의 연계선로로 절체하는 방법, 3분할 절체는 정전구역을 셋으로 나누어 세 개의 연계선로로 절체하는 방법이다. 정전복구에 필요한 개폐기 조작횟수는 2회, 4회, 6회이고 1회의 개폐기 조작에 소요되는 시간을 12초라고 하였을 때 각각 24초, 48초, 72초의 시간이 소요된다.

표 1 복구방안별 부하절체 소요시간
Table 1 Restoration Time according to Schemes

복구방안	개폐기 조작	소요시간
단일 절체	G3(개방), G6(투입)	24초
2분할 절체	G3(개방), G4(개방), G6(투입), G7(투입)	48초
3분할 절체	G3(개방), G4(개방), G5(개방), G6(투입), G7(투입), G8(투입)	72초

표 2는 기존의 중앙집중식 정전복구 방법과 본 논문에서 제시하는 멀티에이전트 기반의 정전복구 방법의 소요시간을 비교하였다. 정전복구 방안으로는 정전구간을 3분할하여 각각 연계선로로 절체하는 3분할 절체를 사용하였다. 총 개폐기 조작횟수는 중앙형이나 분산형 모두에서 8회가 소요되었다. 그러나 중앙 집중적인 정전복구 방법에서는 8단계의 개폐기 조작이 모두 순차적으로 이루어져야 하지만 멀티에이전트 기반 분산형 방법에서는 개폐기 조작이 병렬적으로 진행될 수 있으므로 3단계의 개폐기 조작이면 정전복구를 완료할 수 있다. 따라서 3분할 절체방법을 사용할 경우 멀티에이전트 기반의 분산형 방법을 사용하면 기존의 중앙집중식 방법보다 정전복구에 소요되는 시간을 62% 단축할 수 있음을 확인하였다.

표 2 정전복구 소요시간 비교
Table 2 Comparison of Switching Time for Restoration

구분	중앙집중식	멀티에이전트 기반	
소요시간	96초	36초	
총 개폐기 조작횟수	8회	8회	
개폐기 조작 순서	1	G2 개방	G2, G3 개방
	2	G3 개방	R1 투입, G4, G5 개방
	3	R1 투입	G6, G7, G8 투입
	4	G4 개방	
	5	G5 개방	
	6	G6 투입	
	7	G7 투입	
	8	G8 투입	

6. 결론

본 논문에서는 전력계통에 멀티에이전트 기술을 적용하는데 필요한 개념적 요소들에 대하여 기술하고, 기존의 하드웨어 및 통신방식을 그대로 활용하면서 멀티에이전트 시스템을 구성할 수 있는 에이전트 플랫폼을 제시하였다. 멀티에이전트 기술구현의 예로서 배전선로 정전복구를 위한 분산 자율형 정전복구 알고리즘을 개발하여 에이전트 플랫폼에 포팅 하였다. 본 논문에서는 제시한 하드웨어 및 소프트웨어의 유용성은 고창 전력시험센터에서 실시된 실증시험을 통하여 검증하였다.

감사의 글

이 연구는 2008년도 경남대학교 학술연구 장려금 지원으로 이루어졌음.

참 고 문 헌

- [1] S. McArthur, E. Davidson, V. Catterson, A. Dimeas, N. Hatziaargyriou, F. Ponci, T. Funabashi, "Multi-agent systems for power engineering applications - part I: concepts, approaches, and technical challenges," IEEE Trans. on Power Syst., vol. 22, pp. 1743-1752, Nov. 2007.
- [2] S. McArthur, E. Davidson, V. Catterson, A. Dimeas, N. Hatziaargyriou, F. Ponci, T. Funabashi, "Multi-agent systems for power engineering applications - part II: concepts, approaches, and technical challenges," IEEE Trans. on Power Syst., vol. 22, pp. 1753-1759, Nov. 2007.
- [3] K. Aoki, H. Kuwabara, T Satoh, and M. Kanezashi, "Outage state optimal load allocation by automatic sectionalizing switching operation in distribution systems," IEEE Trans. Power Deli., vol. 2, no. 4, pp. 1177-1185, Oct. 1987.
- [4] H. Fudo et al., "An expert system for restoration of distribution network," in Proc. 3rd Symp. Expert System Application Power Systems, Apr. 1991.
- [5] Y. L. Ke, "Distribution feeder reconfiguration for load balancing and service restoration by using G-nets inference mechanism," IEEE Trans. on Power Deli., vol. 19, no. 3, pp. 1426-1433, Jul. 2004.
- [6] C. S. Chen, C. H. Lin, H. Y. Tsai, "A rule-based expert system with colored Petri net models for distribution system service restoration," IEEE Trans. Power Syst., vol. 17, no. 4, pp. 1073-1080, Nov. 2002.
- [7] C. M. Huang, "Multi-objective service restoration of distribution systems using fuzzy cause-effect networks," IEEE Trans. Power Syst., vol. 18, no. 2, pp. 867-874, May 2003.
- [8] I. Baxevanos, D. Labridis, "Implementing Multi-agent systems technology for power distribution network control and protection management", IEEE Trans. on Power Deli., vol. 22, no. 1, pp. 433-443, Jan 2007.
- [9] 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, Aug. 1998.

저 자 소 개



임 일 형 (林 一 亨)

2005년 명지대학교 전기공학과 졸업(공학사). 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

Tel : 031-336-3290

E-mail : sojoo2jan@mju.ac.kr

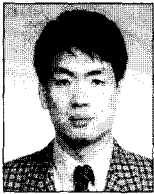


최 면 송 (崔 勉 松)

1989년 서울대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1995년 미국 펜실베이니아주립대 교환교수. 현재 명지대학교 전기공학과 교수.

Tel : 031-336-3290

E-mail : mschoi@mju.ac.kr



임 성 일 (林 星 日)

1994년 명지대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1996-2002년 한국 전력공사 전력연구원. 2006년 미국 아이오와주립대 박사후연구원. 현재 경남대학교 전기공학과 교수.

Tel : 055-249-2630

E-mail : slim@kyungnam.ac.kr