

네트워크 기반 자동화 변전소에서 SOAP을 이용한 IED간 정보교환기술 연구

論 文

55A-9-4

A Study on the Information Exchange Technology Between IEDs Using SOAP in Network Based Substation Automation System

高 銳 錫[†]
(Yun-Seok Ko)

Abstract - In this paper, autonomous information exchange methodology is studied between IEDs using SOAP protocol based on XML and PtP communication to archive the safety and reliability of large-scale system operation. The SOAP protocol has the advantages in the independency problem for operating systems, using language, platforms and the security problem because it is XML-based RPC protocol. Inference-based solution of the IED is designed as rule-based solution so that the IED internal status, the system status or the faulted zone can be inferred autonomously using the internal data as well as information data obtained from free information exchange among other IEDs. Also, it is designed so that the inference results and the operation information are transmitted to the above SCADA system, and determined autonomously whether the commands from the SCADA are executed or not. Finally, The inference-based solution of IED and information exchange system among IEDs is implemented using MS Visual C++ MFC, MS SOAP and MS XML. Availability and accuracy of the proposed methodology and the design is verified from diversity simulation reviews for typical distribution substation.

Key Words : SOAP, IED(Intelligent Electric Device), Information Exchange Technology, Substation Automation System

1. 서 론

최근, 디지털 센서 및 프로세서 제어기술 그리고 정보통신 기술은 급속한 발전을 이루어 왔으며, 전력, 배전, 철도, 가스 등 많은 산업분야에서 유비쿼터스 인프라 환경을 기반으로 기존 원격 감시제어 및 설비 유지보수 계획 시스템의 효율성과 안정성 등을 제고시키고자 새로운 개념으로 적용이 검토되고 있다.

기존의 중앙제어 방식 및 계획기반 설비 유지보수 계획은 다수의 사이트에 있는 설비들을 순차적이고 반복적으로 감시 또는 점검하여 데이터를 수집, 분석하여 이상이 발생하는 경우 대응하는 제어명령을 내리거나 유지보수를 실시하게 된다. 그러다 보니 중앙제어장치에 과도한 계산 및 데이터 처리 부하가 걸려 고성능의 컴퓨터가 요구되어 왔으며, 특히 순차적인 감시 및 점검과정에서 감시 또는 점검직후 갑작스럽게 발생하는 이벤트에 대해서는 실시간적인 처리가 불가능하게 됨으로써, 심각한 사고파급효과의 위험성이 제기되어 왔다. 최근 이러한 문제를 해결하기 위해서 각 사이트의 설비들이 자기진단은 물론 분산, 자율 및 적응제어 능력을 가짐으로써 중앙제어장치의 데이터 처리 부하를 줄여주고 이벤트를

실시간으로 처리함으로써 사고파급효과를 최소화할 수 있는 멀티 에이전트(MA:Multi-Agent) 개념에 기반한 지능형 설비 도입의 필요성이 새롭게 제기되고 있다.

전력 시스템 분야에서도 계통운영의 안정성과 신뢰성 확보, 전력설비 유지보수 계획의 효율성 제고를 위해 MA 개념과 RCM 개념의 도입이 검토되고 있는데, 그 일환으로 변전소 및 배전계통상의 변압기 및 차단기, 개폐기 등에 센서 및 마이크로 프로세서 제어기술을 적용한 IED(Intelligent Electric Device)개발에 많은 연구노력이 집중되고 있다[1-7]. IED는 유비쿼터스 환경하에서 센서로부터 수집되는 설비 및 계통운전 정보는 물론, IED 상호간에 정보교환 능력을 기반으로 계통상의 다른 IED들로부터 제공되는 운전정보로부터 계통상태를 스스로 판단하여 내부적으로 사고가 우려되거나 자기 관할지역에 사고가 발생한 것으로 판단되는 경우 자율적 제어기능을 실행하며, 필요시 상태정보를 실시간으로 상위 감시제어 시스템에 전송한다. 또한 일차 고장제거 실패시 IED 간 정보교환 능력을 기반으로 백업 시스템에 신속하게 정보를 제공하여 자율적으로 고장을 제거하도록 하며, 상위 감시제어 시스템으로부터의 제어명령에 대해 설비 자체상태를 자율적으로 판단하여 실행여부를 결정함으로써 사고파급효과를 최소화한다. 그러나 이러한 IED의 분산, 자율적 적응제어 개념의 실현을 위해서는 기본적으로 네트워크를 기반으로 한 IED간에 자유로운 정보교환 체계 및 능력이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 대규모 시스템 운영의 안정성과 신뢰성 제고를 위해 최근 인터넷 문서 표준이 되고 있는 XML을 기반으로 하는 SOAP 프로토콜과 PtP 통신을 기반으로

[†] 교신저자, 正會員 : 남서울大學 電子情報通信工學部 副教授·
工博

E-mail : ysko@nsu.ac.kr

接受日字 : 2006年 6月 17日

最終完了 : 2006年 8月 15日

IED간의 자율적 정보교환 방법론을 제안한다. SOAP 프로토콜은 XML을 기반으로 하기 때문에 운영체제나 구현언어, 플랫폼에 독립적이라는 장점을 가지며 특히 보안에 강력한 장점을 가진다. IED의 추론기반 솔루션은 내부 상태 데이터는 물론, 상호간의 자유로운 정보교환을 통해 제공되는 데이터로부터 설비내부나 계통상태 진단, 그리고 사고지역을 자율적으로 판단할 수 있도록 규칙기반 솔루션으로 설계되며 상위 감시제어 시스템에 운전정보를 전송함은 물론, 상위 감시제어 시스템으로부터의 제어명령에 대해 설비 자체상태를 판단하여 자율적으로 실행여부를 결정하도록 설계된다. 그리고 적용분야로는 전력설비들이 집중된 사이트인 변전소, 고압송유가 변전실, 배전계통 중에서 디바이스 간 PtP 통신방법론을 효과적으로 시뮬레이션 할 수 있는 배전 변전소로 하였다. 물론 변전소 자동화가 IEC 61850을 표준으로 하고 있지만, 기본적으로 IEC61850이 PtP 통신을 이용한 디바이스간 통신을 지원하기 때문에 방법론적으로는 유사하며, 단지, 본 연구에서는 IEC61850에서 제안하는 프로토콜과는 달리 인터넷 표준 RPC 프로토콜인 SOAP 프로토콜을 이용하여, 디바이스간 통신을 실현하였다. 끝으로, MS Visual C++과 MFC, MS SOAP, MS XML을 이용하여 IED의 추론기반 솔루션 및 IED간 정보교환 체계를 구현하며, 대표적인 배전 변전소에 대한 다양한 적용 시뮬레이션 연구를 통해 제안된 방법론과 설계의 유용성과 정확성을 검증한다.

2. IED간 정보교환체계

일반적으로 대규모 시스템의 감시제어 시스템은 HOST 컴퓨터를 가진다. 기존 HOST 컴퓨터는 계획기반 솔루션에 근거하여 폴링방식에 근거 주기적으로 설비상태를 감시한다. 이때 대규모 시스템의 경우, 감시 직후 예측하지 못한 이벤트가 발생하는 경우 사고과급효과는 심각해질 수 있다. 더구나 대부분의 전력설비의 경우 내부상태에 대한 실시간 진단기능을 가지지 못하고 있다.

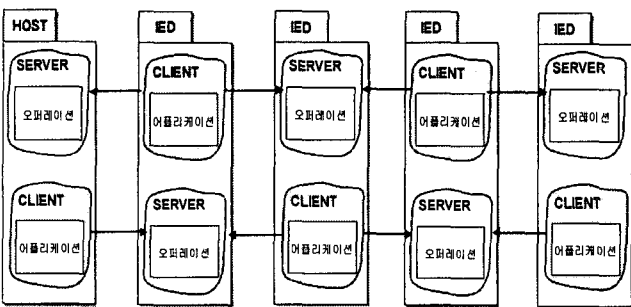


그림 1 IED간 자율적 정보교환 체계
Fig. 1 Autonomous information exchange system

그러나 최근 사고과급효과를 최소화하기 위해서 각 전력설비에 대한 자율적 진단 및 정보교환 능력이 부여된 IED가 개발되고 있다. IED는 계통운영의 안정성과 신뢰성을 제고하기 위해서 HOST간 또는 IED 상호간에 자율적이고 자유로운 정보교환 및 제어명령 실행여부를 결정할 수 있도록 PtP 통신 체계로 설계, 구현해야 한다. 그림 1은 IED간 자유로운 정보교환을 위해 제안되는 PtP 통신체계를 보인다. PtP 통

신체계에서 HOST는 물론 각 IED는 클라이언트/서버 개념으로 설계된다. 클라이언트는 관할 전력설비의 상태를 감시하는 어플리케이션으로써, 이벤트 발생시 이벤트를 RPC의 일종인 SOAP를 통해 HOST나 필요한 IED에 전송하도록 설계한다. 또한 그림 1에 보인 정보교환 체계를 통해 IED는 자율적이고 자유로운 IED간 정보교환을 실현한다. 반면에 서버는 클라이언트로부터 제공되는 웹 서비스 요청에 따라 대응하는 오퍼레이션을 실행하고 그 결과를 클라이언트에 전송하며 동시에 전송된 정보를 클라이언트에 제공한다.

3. SOAP의 기본 개념[9-10]

SOAP은 RPC의 일종으로 XML로 포장된 메시지를 HTTP 방식으로 전송하기 때문에 방화벽에 자유로우며, 운영체제나 플랫폼 그리고 사용언어에 독립적인 장점을 가진다. 그림 2는 SOAP을 기반으로 하는 웹 서비스 환경을 보인다.

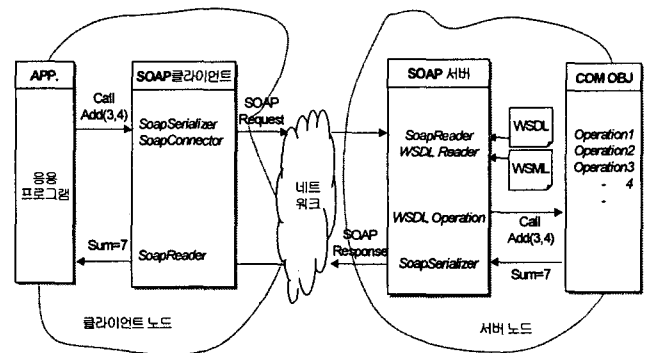


그림 2 SOAP기반 웹 프로그램
Fig. 2 SOAP based WEB Program

그림 2를 보면, 먼저 클라이언트 노드에서 응용 프로그램 서브루틴 Add(3,4)가 요청된다. 이때 서브루틴 Add에 대한 웹 서비스 요청은 두 가지 방법으로 구현될 수 있는데, 하나는 직접 SOAP 클라이언트 오브젝트를 요청하는 경우이며 다른 하나는 SOAP 클라이언트 오브젝트내의 SoapSerializer 오브젝트, SoapConnector 오브젝트, SoapReader 오브젝트를 개별적으로 요청하는 경우이다. 물론 첫 번째의 경우도 내부적으로는 두 번째의 절차를 따르게 된다. 따라서 여기에서는 두 번째의 경우를 설명한다. 먼저 SOAP 클라이언트 오브젝트내의 SoapSerializer 오브젝트를 이용하여 클라이언트 요청할 수 Add(3,4)에 대한 XML기반의 SOAP Request 메시지를 작성하고, SOAP Connector 오브젝트를 통해 HTTP 방식으로 통신경로를 개방시킨 다음, 서버노드로 그 메시지를 전송한다. 이때, 서버노드는 SoapReader 오브젝트를 이용하여 클라이언트로부터 제공되는 SOAP Request 메시지를 읽어 들여, 요청된 웹 서비스 오퍼레이션을 분석하고 WSDL Reader 오브젝트를 이용하여 WSDL 파일과 WSDM 파일을 검색한 다음, WSDL로부터 요청된 웹 서비스 오퍼레이션이 COM OBJ 내에 존재하는지를 검사한다. 만약, 존재하는 경우 WSML을 이용하여 COM OBJ내의 오퍼레이션에 대한 인터페이스를 확인하여 WSDL 오퍼레이션 오브젝트로 하여금 오퍼레이션을 실행하도록 한다. 그림에서는 SUM =7이 실행 결과이며

SoapSerizlizer 오브젝트를 이용하여 얻어진 계산결과를 XML 기반의 응답(Response) SOAP 메시지를 작성, HTTP 방식으로 클라이언트 노드에 전송한다. 클라이언트 노드는 XML로 작성된 응답 메시지를 SoapReader 오브젝트를 통해 읽어 들인 다음 DOM 기능을 이용하여 XML 파일을 분석 저장하거나 필요한 파라미터 값을 확인하여 대응하는 전략을 실행하게 된다. 이와 같이 SOAP는 웹서비스 환경하에서 클라이언트 노드로부터 메시지를 XML로 작성, 서버 노드로 전송하거나 서버로부터 응답된 XML 파일을 DOM 기능을 이용하여 해석, 필요한 데이터를 신속하게 얻는다.

3.1 DOM의 데이터처리 메카니즘

DOM은 새로운 문서를 XML 파일로 생성함은 물론 기존 XML 문서를 읽어 들여 계층 구조 형태의 문서로부터 문서의 일부를 생성, 탐색하며, 문서의 한 부분을 이동, 복사, 제거하거나 속성을 추가, 수정할 수 있게 한다.

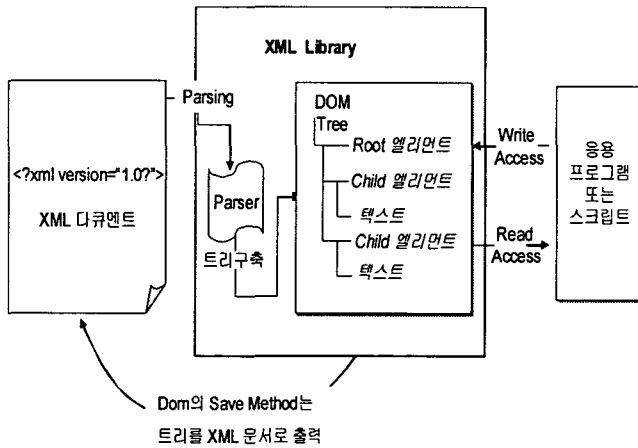


그림 3. DOM의 데이터 처리 메카니즘
Fig. 3 Data processing Mechanism of DOM

그림 3은 DOM의 데이터 처리 메카니즘을 보인다. DOM은 XML 문서를 읽어들여 파서를 이용해 해석한 후 DOM 트리를 메모리내에 작성한다. 응용프로그램은 이 작성된 DOM 트리로부터 정보를 검색하거나 수집된 정보를 DOM 트리에 새로이 쓰거나 해당 요소의 값을 변경할 수 있는데, 작업할 때 XML 문서 구조를 변경하게 되는 경우에도 그 변경사항을 저장하지 않으면, 원본 문서에는 영향을 주지 않는다.

3.2 XML 문서의 구조

XML문서는 기존의 HTML 문서에 비해 바디내의 정보 또는 데이터를 문서의 마크업을 이루는 태그쌍(시작 태그, 끝 태그)내에 표시되도록 함으로써 계층적인 트리구조로 표시할 수 있다. 따라서 파서(DOM)를 이용해 XML 파일로부터 신속하게 필요정보나 데이터를 검색할 수 있다는 장점 때문에 IED의 정보교환을 위한 문서형식으로 새롭게 채택되고 있다. XML 문서내에서 모든 태그는 시작 태그(start-tags)와 끝 태그(end-tags)를 가지는데, 이들 태그 내에 들어있는 정보와 그 사이에 있는 모든 것들을 통틀어서 요소(element)라고 부른다. 그리고 요소의 시작 태그와 끝 태그 사이에 들어있는

텍스트를 요소내용(element content)이라고 부르는데, 전압, 전류, 유효전력, 무효전력, 개폐기 상태, 계전기 상태 등과 같은 데이터가 된다. 이런 경우에 요소 내용은 해석되는 문자 데이터(Parsed Character DATA)라고 부르며, 보통은 줄여서 PCDATA라고 한다. 메인 태그로 시작해서 메인 태그로 끝나는 전체 문서 또한 하나의 요소라 할 수 있으며, 특별히 루트 요소(root element)라 부른다.

4. 네트워크 기반 자동화변전소 모델링 적용연구

4.1 자동화변전소의 IED간 네트워크 체계

일반적으로 변전소는 수개의 전압레벨을 가질 수 있다. 또한 그림 4에 설명된 바와 같이 구조적으로 인접하였을 뿐만 아니라 보호제어 기능 측면에서 매우 밀접한 관계를 가지는 주변압기 베이, 피더베이, 부스 커플러 베이 그리고 부스 섹션 스위치 베이 등으로 구분할 수 있다. 따라서 통신 네트워크는 웹기반 환경하에서 IED간의 PtP 통신이 가능하도록 네트워크 구조로 설계되는데, 기본적으로 전압 레벨별로 스테이션 버스를 설계하며 각 전압레벨에 대해서 베이 별로 프로세스 버스를 설계한다.

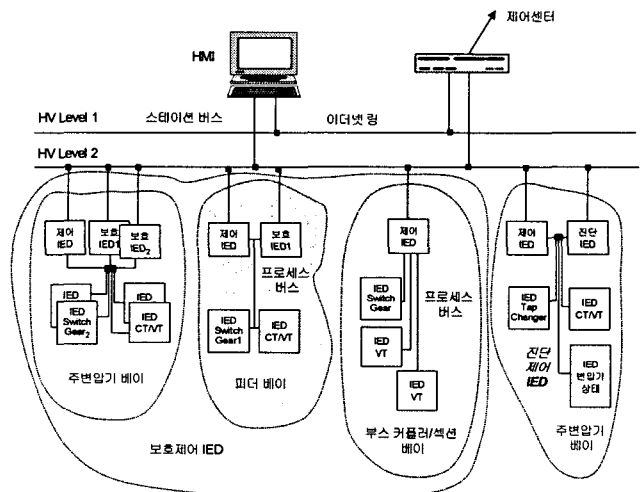


그림 4 네트워크 기반 변전소 모델링
Fig. 4 Network based substation modelling

즉 주변압기 베이, 피더베이, 부스 커플러 베이 그리고 부스 섹션 스위치 베이 별로 프로세스 버스를 설계한다. 이들은 주로 베이별 보호제어 기능 IED이지만 또한 주변압기 베이 레벨에서 주변압기 진단 및 탭 제어를 위한 진단 제어 IED가 설계, 구현될 수 있다. 그림 4는 네트워크 기반 변전소 모델링 구조를 보인다.

4.2 HOST 클라이언트/서버 체계 설계

디지털 변전소 HOST 솔루션은 기본적으로 클라이언트/서버 구조로 설계되는데, 클라이언트는 변전소 데이터베이스, 실시간 DB, 고장지식 베이스 그리고 모션 재구성 모듈(BRES)[5]로 구성된다. HOST 서버는 다른 IED의 클라이언트로부터의 웹 서비스 요청을 지원한다. 반면에 클라이언트는 감시제어 모듈에 기반하여 시간대별로 변전소 IED들에

데이터를 요청하여 데이터를 수집하여 DB나 실시간 DB에 저장한다. 반면에 실시간 추론기반 IAP 타스크는 이벤트 대기 모드에서 실시간 이벤트로부터 이벤트를 접수하여 이벤트 정보를 추론, 결정한다. 그리고 만약 주변압기나 모선에 관련된 영구고장으로 판명되는 경우, 모선 재구성 전문가 시스템(BRES)에 이벤트 정보를 제공하여 BRES로 하여금 모선 재구성 전략을 수립하도록 함으로써, 사고 파급효과를 최소화할 수 있도록 한다. 그림 5는 디지털 수배전반의 HOST 컴퓨터에 대한 클라이언트/서버 솔루션 구조를 보인다.

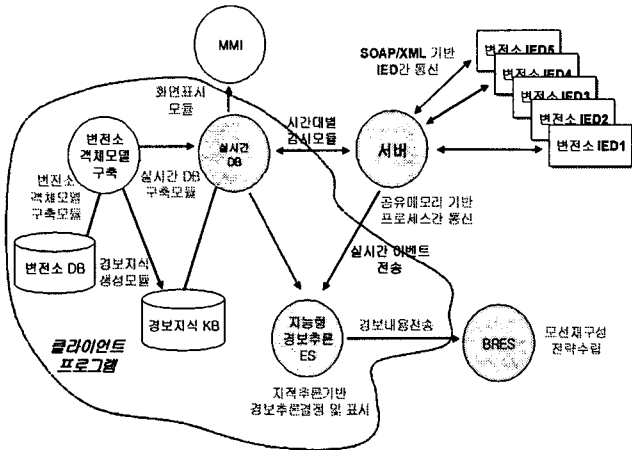


그림 5. 네트워크기반 운전제어 솔루션 설계
Fig. 5 Design of net.-based operational and control solution

4.3 SOAP기반 IED 추론구조 설계

보호진단제어 IED는 PtP 통신이 가능하도록 웹기반 환경 하에서 추론기반의 클라이언트와 서버 구조로 설계한다.

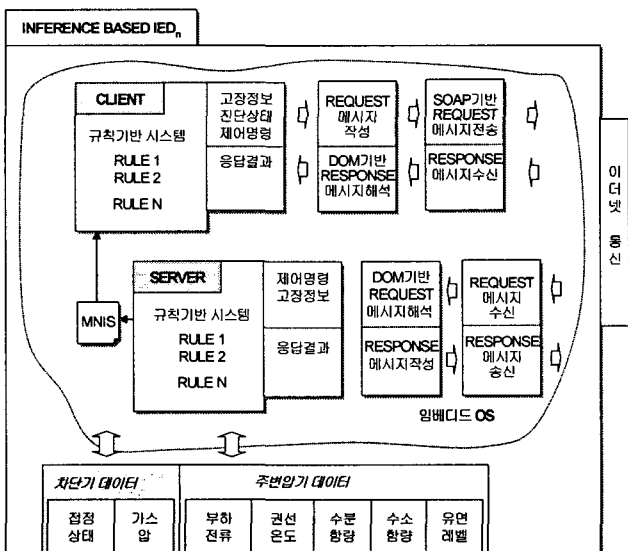


그림 6 SOAP기반 IED 설계
Fig. 6 SOAP-based IED design

특히 IED는 그림 6에 보인바와 같이 IED 상호간에 자유로운 고장정보 및 진단 정보교환을 위해 SOAP기반으로 설계된다. 클라이언트는 차단기, 변압기의 경우에 따라 달리 설

계되지만 그림 5에는 동일하게 포함되도록 표시하였다. 차단기 보호제어의 경우 CT로부터 제공되는 고장전류로부터 얻어지는 고장전류 감지상태 정보, 변압기 진단의 경우 주변압기 내장 세서로부터 제공되는 상태레벨정보, 제어 실패시 차단기에 대한 협조 제어명령 정보를 XML 기반의 SOAP 리퀘스트 메시지로 작성하여 서버에 전송하며, 서버는 이들 XML 기반의 리퀘스트 SOAP 메시지를 DOM 기능을 이용하여 분석한다. 만약, RULE 1에 따른 고장정보의 경우 수신된 메시지로부터 ID를 확인, RIEDS(Received IED Set)에 기록하고 RULE 4에 기반한 IED로부터의 제어명령 요구나 HMI로부터의 제어명령 요구의 경우 차단기에 개방 또는 투입명령을 내린다. 반면에 진단정보인 경우 메시지로부터 사에 레벨을 변압기 ID와 상태레벨을 기록한다. 그리고 그 수행 결과를 SOAP 응답 메시지로 작성하여 클라이언트에 제공한다. 따라서 클라이언트는 이 응답 메시지를 DOM 기능을 이용하여 해석하여 실행 성공여부를 확인한다.

4.3.1 차단기 IED

차단기 IED는 기본적으로 1회씩 순시 및 지연 동작을 하도록 1FID 동작순서로 설정되는데, 특히 각 순시 및 지연 동작에 대해 임의의 고장에 대해 정확한 보호협조가 얻어질 수 있도록 최적의 동작특성 곡선을 결정한다. 여기서 동작특성 곡선은 고장전류의 크기에 따라 동작시간을 결정한다. 제안되는 차단기 IED는 자기 보호구간에서 고장이 발생한 경우와 타 보호구간에서 고장이 발생한 경우를 구별하여 동작할 수 있도록 2개의 모드 즉, 자기보호구간 모드와 타보호구간 모드로 설계된다. 이 두 모드는 병렬처리조작으로 설계하며, 자기보호구간 모드를 타 보호구간 모드에 비해 동일한 고장 전류하에서 동작시간이 짧도록 설계함으로써 고장지속시간을 가급적 짧게 하여 고장전류로부터 전력설비들의 누적 피로도를 줄인다. 먼저 IED는 CT로부터 제공되는 전류 데이터로부터 고장전류를 확인하는 경우 RULE 1에 따라 고장정보를 멀티 캐스팅 방식으로 네트워크 상에 전송한다. 또한 차단기 IED들은 수신되는 RIEDS 정보를 이용하여 RULE 2-3에 따라 자기 보호구간 고장여부를 확인하여 동작모드를 결정한다. 그리고 모드에 따라 정해진 시간에 차단기를 개방, 고장 지역을 분리하도록 한다. 그러나 차단기 개방에 실패하는 경우 RULE 4에 따라 후비보호기가 동작할 수 있도록 한다. 반면에 제어 IED는 HMI나 다른 IED들로부터의 명령을 수신하여 차단기 제어를 실행하거나 필요한 정보를 전송한다. 이들 리퀘스트에 대한 응답 메시지는 XML 기반의 SOAP 메시지로 네트워크를 통해 전송된다.

RULE 1] 차단기 IED가 고장전류를 경험한 경우 고장감지 정보를 멀티 캐스팅 방식으로 전송한다. 이 규칙은 고장전류 감지상태를 후비보호 IED에 전송, RULE 2,3에 의해서 후비 보호 IED가 자기보호구간 고장여부를 확인, 동작모드 결정을 지원하기 위한 규칙이다.

RULE 2] 차단기 IED의 고장전류감지상태가 SET이고 MNIS≠RIEDS인 경우 자기 보호구간에 고장이 발생한 경우 이므로 IED가 자기보호구간 모드로 동작하도록 한다. 여기서 MNIS(Multiple Neighbor IED Set)는 전기적으로 직접 연결된 IED들의 집합이고 RIEDS는 수신된 고장전류 감지상태가 SET인 IED들의 집합이다. 기존의 보호협조 메카니즘에서 변

전소내의 CB들은 배전선로 상의 고장에 대한 최상위 후비 보호기기가 된다. 따라서 자기보호구간에서 고장이 발생한 경우에도 고장차단 시간을 길게 함으로써 주변압기 등의 전력설비들에 피로를 누적시켜 수명을 단축시키는 물론 심각한 변압기 사고를 유발시킬 수 있다. 따라서 이 규칙은 고장전류를 경험한 IED가 부하측 IED들과의 정보교환을 통해 자기 보호구간 고장여부를 확인, 고장차단시간을 단축시킴으로써 전력설비들의 수명을 연장시키기 위한 것이다.

RULE 3] 차단기 IED의 고장전류감지상태가 SET이고 MNIS \Rightarrow RIEDS인 경우 타 보호구간에 고장이 발생한 경우이므로 IED가 타보호구간 모드로 동작하도록 한다. 기존의 보호협조 메카니즘에서 변전소내의 CB들은 배전선로 상의 고장에 대한 최상위 후비 보호기기가 된다. 따라서 배전선로 말단에 사고가 발생한 경우 최상위 보호기기가 동작하지 않도록 하고 자기보호구간에 대응하는 보호기기가 동작하여 고장구간을 분리할 수 있도록 함으로써 고장파급효과를 최소화하기 위한 규칙이다.

RULE 4] 차단기 IED의 고장전류 감지상태가 SET이고 자율적 차단동작 중에 차단에 실패하는 경우 전원단 IED에 차단기 개방을 명령한다. 이 규칙은 고장전류를 경험한 피더 CB가 배전선로상의 고장을 차단하기 위해 동작하는 과정에서 기계상의 결함이나 가스압이 기준치 이하가 돼 고장전류를 차단할 수 없는 경우 후비보호 IED에 CB 개방명령 정보를 전송함으로써 후비보호 CB가 동작하도록 해 사고를 조기에 차단, 그 파급효과를 최소화하기 위한 규칙이다.

RULE 5] 차단기 IED의 고장전류 감지상태가 SET인 상태에서 CB 상태가 "off"이고 계전기 상태가 "Tripped"이면 "비상[A]" 상태로 결정한다. 그리고 상태정보를 신속하게 HOST 컴퓨터에 전송한다. 이 규칙은 HOST로 하여금 신속하게 이벤트 유형과 위치를 확인, 대응전략을 수립함으로써 사고파급효과를 최소화하기 위한 규칙이다.

RULE 6] 차단기 가스압이 0.6[Mpa]이상이면 "정상[D]" 상태, 0.5[Mpa]이상이고 0.6[Mpa]미만이면 "주의[C]" 상태, 0.4[Mpa]이상이고 0.5[Mpa]미만이면 "경고[B]" 상태, 그리고 0.4[Mpa]미만이면 "비상[A]" 상태로 결정한다. 이 규칙은 차단기의 가스압력이 기준값에 비추어 어느 정도인지를 확인, 상태레벨을 진단하고 대응하는 전략을 수립함으로써 차단실패에 따른 사고파급효과를 최소화하기 위한 규칙이다.

4.3.2 변압기 IED

변압기 IED는 변압기의 부하나 내부온도, 유중 가스농도, 유면레벨 등을 감시하여 RULE 7-9에 따라 상태를 진단하게 된다. RULE 7에서는 변압기의 실제부하가 가용용량의 어느 범위에 해당하는지를 검토, 과부하 상태레벨을 진단하고 대응 전략을 수립하도록 한다. RULE 8에서는 변압기 유중 수분함량이 정격 값의 어느 레벨에 속하는 지를 분석하여 그 레벨을 결정, 진단정보를 HOST에 전송한다. 반면에, RULE 9에서는 변압기 유면레벨이 정격 값의 어느레벨에 속하는 지를 분석하여 그 레벨을 결정, 진단정보를 HOST에 전송한다.

RULE 7] 주변압기의 실제부하가 최대 가용용량을 기준으로 0.9미만인 경우 정상[D] 상태, 1.0이상 1.1미만인 경우 주의[C] 상태, 1.0이상 1.1미만인 경우 경고[B] 상태, 1.1초과인 경우 비상상태[A]로 결정한다.

RULE 8] 변압기의 유중 수분함량이 0-50[ppm]이하인 경우 "정상[D]" 상태, 50-60[ppm]인 경우 "주의[C]" 상태, 60-70[ppm]인 경우 "경고[B]" 상태, 그리고 70[ppm]을 초과하는 경우 "비상[A]" 상태로 결정한다.

RULE 9] 변압기 유면레벨이 기준치 대비 0.9이상이면 "정상[D]" 상태, 0.8이상이고 0.9미만이면 "주의[C]" 상태, 0.7이상이고 0.8미만이면 "경고[B]" 상태, 그리고 0.7미만이면 "비상[A]" 상태로 결정한다.

5. 시뮬레이션 평가 및 결과분석

본 연구에서는 SOAP를 이용한 IED간의 정보교환기술에 대해서 연구하였으며, 배전변전소에 적용하는 문제를 다루었다. 따라서 그림 7에 도입된 154KV 배전변전소에 대해 SOAP 기반 정보교환 전략의 유효성과 적용 가능성을 검증한다. 그림 7은 대표적인 배전변전소에 대한 IED 적용 모델을 보이는데, 주변압기 베이, 피더베이, 부스 커플러 베이 그리고 부스 섹션 스위치 베이로 구성된다.

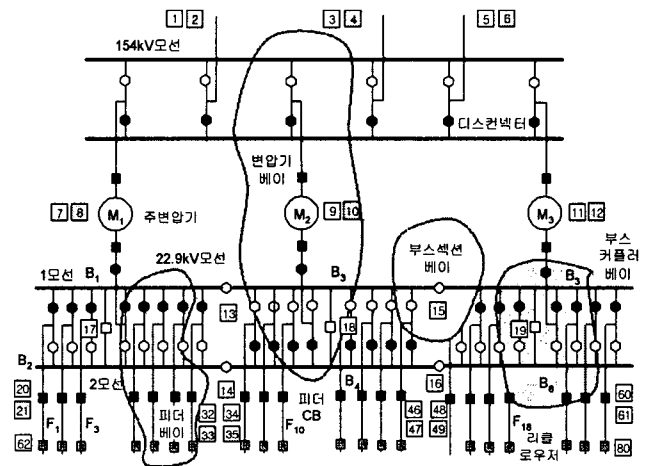


그림 7 대표적인 배전 변전변전소 IED 적용 모델
Fig. 7 Typical distribution substation IED application model

□안의 숫자는 IED 번호를 표시한다. 특히, 주변압기 베이, 피더 베이에는 제어 IED와 보호 IED가 설계되나 부스 커플러 베이나 모스 섹션 스위치 베이에는 제어 IED만이 설계된다. 그리고 □안의 R은 리클로우저를 표시하며 통합 IED로 설계된다. Mi, Bi, Fi는 i번째 주변압기, 모선, 피더를 표시한다.

5.1 시뮬레이션 시스템 구축

본 연구에서는 IED간의 자율적인 정보교환을 위해 제안된 방법론에 대한 유효성을 검증하기 위해 3대의 윈도우즈 XP 기반 개인용 컴퓨터를 네트워크로 연결, 네트워크 기반 시스템을 구축하였다. 각 컴퓨터는 윈도우즈 XP프로세서널 운영 체제하에서 IIS기능을 이용하여 가상디렉토리 환경을 설정하고 서버와 클라이언트 디렉토리를 두어 서버/클라이언트 환경을 구축하였다. 한대의 컴퓨터는 감시제어 컴퓨터, 2대의 컴퓨터는 전력기기 IED에 대응하며, 클라이언트/서버와 P2P 통신 방법론 등 HOST컴퓨터와 IED간 그리고 IED간 통신

방법론을 모의하기 위해 사용된다. 그림 8은 시뮬레이션 시스템 구성을 보인다.

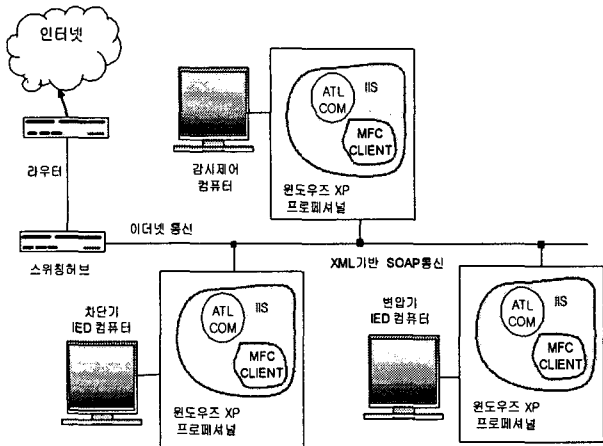


그림 8 성능 평가를 위한 시뮬레이션 시스템 구성
Fig. 8 Simulation system for performance evaluation

또한 IED의 추론기반 솔루션은 비주얼 C++ 언어를 이용하여 설계, 모의하였으며, XML 기반 SOAP 프로토콜을 이용한 MA(분산자율적응제어) 기능을 모의하기 위해 MS사로부터 제공되는 MS SOAP과 MS XML 툴킷을 사용하였다. 또한 웹 서비스 환경을 구축하기 위해 ATL 기능을 이용하여 COM을 구축하였다. COM에는 MFC 프로그램과의 이벤트 통신을 위한 RPC 프로그램이 구현된다. 그림에서 클라이언트는 데이터를 MS SOAP 기능을 이용하여 XML 형식으로 포장, 리퀘스트를 ATL 서버에 요청한다. ATL 서버는 ATL COM 기능을 이용하여 작성된 COM 라이브러리에서 그 리퀘스트에 해당하는 웹 서비스를 확인한 다음, 그 서비스를 실행한 후, 결과내용을 XML 형식으로 포장하여 클라이언트에 제공한다. 또한 이벤트 내용을 MFC 클라이언트 프로그램에 제공한다, 이때 서버에서는 자체적으로 DOM 기능을 사용하기 때문에 외부에서 데이터 처리정보를 확인하기 어렵다. 다음, 클라이언트는 DOM기능을 이용하여 응답 XML 파일을 로드한 후 해석기능을 이용하여 분석한 후, 결과를 처리한다.

5.2 시뮬레이션 고찰

제안된 방법론의 유효성 검증을 위해 그림 7에 보인 변전소 모델에서 차단기 및 변압기에 관련된 사고, 과부하 그리고 진단 이벤트 등의 다양한 이벤트를 모의하였다.

CASE 1] 모선 B1 사고 : 먼저 차단기 IED 컴퓨터를 이용하여 모선 B1 보호용 CB를 관할하는 IED7의 데이터 파일의 모선전류 값을 고장전류 레벨로 설정하고 IED7의 모선 CB에 대한 MNIS 테이블 {20,22,24,26,28,30,32}의 고장전류 감지상태를 모두 RESET 상태로 설정한다. 그리고 클라이언트를 실행시킨다. 클라이언트 프로그램은 데이터 파일 데이터로부터 모선 CB 고장전류 감지상태가 SET 상태로 감지되는 순간, 주어진 시간동안 RIEDS를 확인, MNIS의 고장전류 감지 상태를 SET하게 되는데. 모선 B1사고로 모의되므로 피더 IED들이 고장전류를 경험하지 않아 RIEDS가 {}이기 때문에 MNIS 테이블은 모두 RESET 상태를 유지하며, 클라이언트는 RULE 2에 따라 자기보호구간에 고장이 발생한 것으로

추론, 자율적으로 IED7을 자기보호구간 모드로 동작, 모드 동작시간에 따라 CB에 차단명령을 내린다. 다음 데이터 송신 기능 버튼을 누르면 이벤트 정보를 SOAP 메시지로 작성, 실시간으로 HOST 컴퓨터에 전송한다. 끝으로, HOST의 클라이언트 프로그램, 즉 MFC 실시간 경보처리 모듈은 이벤트 대기모드로 동작 중에 이벤트 정보를 확인하게 되는데, 표 1과 같이 모선 B1에서 사고가 발생하였음을 확인할 수 있다.

CASE 4] 피더 F1 보호용 CB의 자기보호구간 사고 : 먼저 차단기 IED 컴퓨터를 이용하여 모선 B1 보호용 CB를 관할하는 IED7의 데이터 파일의 모선전류 값을 고장전류 레벨로 설정하고 IED7의 모선 CB에 대한 MNIS 테이블 {20,22,24,26,28,30,32}의 고장전류 감지상태를 모두 RESET 상태로 설정한다. 다음, 변압기 IED 컴퓨터를 이용하여 피더 F1 보호용 CB를 관할하는 IED20의 데이터 파일의 피더전류 값을 고장전류 레벨로 설정하고 IED20의 MNIS 테이블 {62}의 고장전류 감지상태를 모두 RESET 상태로 설정한다. 이 상태에서 먼저, 차단기 IED 컴퓨터의 클라이언트를 실행시키면 모선 CB 고장전류 감지상태가 SET상태로 감지되므로 이벤트 대기모드로 동작하게 된다. 반면에 변압기 IED 컴퓨터의 클라이언트를 실행시키면 데이터 파일 데이터로부터 모선 CB 고장전류 감지상태가 SET상태로 감지되는 순간 RIEDS를 확인, MNIS의 고장전류 감지 상태를 SET하게 되는데. 피더 F1 보호용 CB의 자기보호구간 사고로 모의되므로 리클로워져 관할 IED62가 고장전류를 경험하지 않아 RIEDS가 {}이기 때문에 MNIS 테이블은 모두 RESET 상태를 유지하며, 클라이언트는 RULE2에 따라 자기보호구간에 고장이 발생한 것으로 추론, 자율적으로 IED20을 자기보호구간 모드로 동작, 자기보호구간 모드 동작시간에 따라 CB에 차단명령을 내린다. 그림 9는 변압기 컴퓨터의 IED20의 추론결과를 보인다.

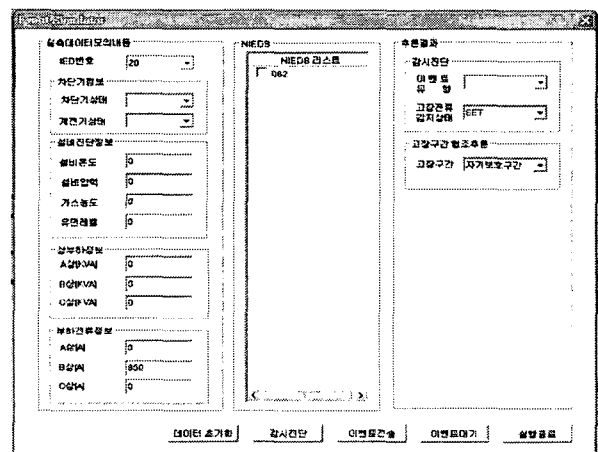


그림 9. IED20의 추론결과 화면
Fig. 9 Inference result view of IED20

다음, 데이터 송신 기능 버튼을 눌러 이벤트 정보를 SOAP 메시지로 작성하여 차단기 IED 컴퓨터로 전송하면 차단기 IED의 클라이언트는 대기모드로 동작, RIEDS={20}을 수신하기 때문에 RULE 3에 따라 타 보호구간 모드로 동작, 모드 동작시간에 따라 동작하게 된다. 특히, CB 트립 전에 다시 고장전류 감지상태가 RESET로 설정돼야 한다. 그림 10은 차단기 IED 컴퓨터의 IED7의 추론결과를 보인다. 반면에 그림

9의 변압기 컴퓨터 IED7은 자기보호구간이므로 차단기에 차단명령을 내린 후 데이터 송신 기능 버튼을 동작시켜 이벤트 정보를 SOAP 메시지로 HOST IED 컴퓨터로 전송한다. 이때 그림 11에 보인바와 같이 그리고 실시간 경보처리 타스크 화면을 통해 HMI에 접수되었음을 확인할 수 있다.

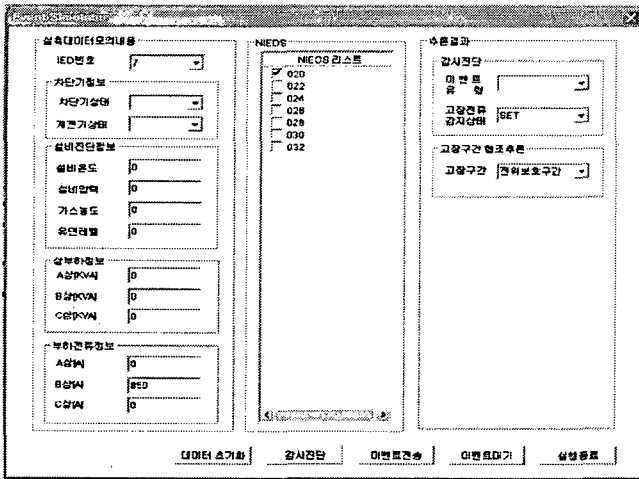


그림 10. IED7의 추론결과 화면
Fig. 10 Inference result view of IED7

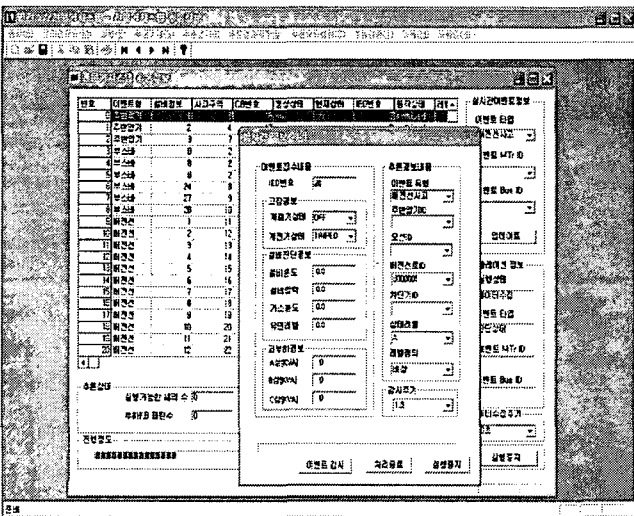


그림 11 호스트컴퓨터 실시간 경보처리 타스크의 추론결과
Fig. 11 Inference result view of IAP on the host computer

표 1은 차단기 IED, 변압기 IED 컴퓨터와 HOST 컴퓨터를 이용한 차단기의 보호구간 추론전략에 대한 모의평가 결과를 보인다.

CASE 6] 주변압기 M1 사고 : 먼저, 주변압기 IED 컴퓨터를 이용하여 주변압기 1번 보호용 CB에 대응하는 IED7의 감시 데이터를 표 2의 경우 6과 같이 작성한다. 즉 IED7의 주변압기 보호용 CB 상태를 "off", 계전기 상태를 "Tripped"로 작성한다. 다음 차단기 IED 컴퓨터의 클라이언트 MFC 프로그램을 실행시키면 정해진 주기로 상태를 감시하다가 RULE 5에 근거하여 사고 이벤트를 확인한다. 그리고 이벤트 정보를 SOAP 메시지로 작성하여 실시간으로 HOST 컴퓨터에

전송하게 되는데, 실시간 경보처리 타스크 화면을 통해 HOST에 접수되었음을 확인할 수 있다. 확인결과 모의사고와 추론 및 접수결과가 정확하게 일치함을 확인할 수 있다.

표 1. 보호구간 추론기능 모의결과

Table 1. Simulation results for protection zone inference

#	모의이벤트				추론결과		
	이벤트 유형	IED #	고장구간	고장전류	MNIS	RIED S	고장구간
1	BF	7	자기구간	픽업전류	{20,22,24,26,28,30,32}	{}	자기구간
2	BF	9	자기구간	픽업전류	{34,36,38,40,42,44,46}	{38}	자기구간
3	BF	11	자기구간	픽업전류	{48,50,52,54,56,58,60}	{52}	자기구간
4	DF	7	자기구간	픽업전류	{20,22,24,26,28,30,32}	{20}	타구간
		20	자기구간	픽업전류	{62}	{}	자기구간
5	DF	11	타구간	픽업전류	{48,50,52,54,56,58,60}	{50}	타구간
		50	자기구간	픽업전류	{77}	{}	자기구간

CASE 16] 피더 F2의 CB 상태진단 : 먼저, 차단기 컴퓨터를 이용하여 F2 보호용 CB의 IED에 대응하는 IED22의 가스압력을 0.5MPa로 작성한다. 이때 차단기 IED에 대응하는 컴퓨터의 추론기반 MFC 프로그램은 주기적 상태 감시 도중에 RULE 6에 근거하여 주변압기의 상태레벨을 B로 추론한다. 그리고 그 진단결과를 SOAP 메시지로 작성, HOST 컴퓨터로 전송하는데, 이벤트 대기모드로 동작중인 실시간 경보처리 타스크가 정확하게 이벤트를 보임으로써 이벤트가 정확히 추론되었으며 정확하게 HMI로 전송되었음을 확인할 수 있다. 표 2는 차단기 IED 컴퓨터와 HOST 컴퓨터를 이용한 차단기 진단 전략에 대한 모의평가 결과를 보인다.

표 2. 차단기 진단전략 모의결과

Table 2. Simulation results for diagnosis strategy of CB

#	IED #	모의-데이터			모의-이벤트			추론/접수 결과			
		CB 상태	계전기 상태	가스 압력	이벤트 유형	이벤트 설비	상태 레벨	이벤트 유형	이벤트 설비	상태 레벨	
6	7	off	Tripped	-	MF	1	A	MF	1	A	비상
7	9	off	Tripped	-	MF	2	A	MF	2	A	비상
8	11	off	Tripped	-	MF	3	A	MF	3	A	비상
9	5	off	Tripped	-	BF	8	A	BF	8	A	비상
10	9	off	Tripped	-	BF	27	A	BF	27	A	비상
11	11	off	Tripped	-	BF	28	A	BF	28	A	비상
12	20	off	Tripped	-	DF	1	A	DF	1	A	비상
13	22	off	Tripped	-	DF	2	A	DF	2	A	비상
14	26	off	Tripped	-	DF	4	A	DF	4	A	비상
15	28	off	Tripped	-	DF	5	A	DF	5	A	비상
16	22	-	-	0.6	CD	2	C	CD	2	C	주의
17	24	-	-	0.5	CD	3	B	CD	3	B	경고
20	30	-	-	0.6	CD	6	C	CD	6	C	주의
22	34	-	-	0.4	CD	8	A	CD	8	A	비상

CASE 24] 주변압기 M2 과부하 진단 : 먼저, 주변압기 IED 컴퓨터를 이용하여 M2의 진단 IED에 대응하는 IED 9의 주변압기의 부하 데이터를 2500[kVA]로 모의한다. 이때 변압기 IED 컴퓨터의 추론기반 MFC 프로그램을 실행시키면 주기적 상태 감시 도중에 RULE 7에 따라 주변압기의 과부하 레벨을 A로 추론한다. 그리고 그 진단결과를 SOAP 메시지로 작성, HOST 컴퓨터로 전송하였는데, 이벤트 대기모드

로 동작중인 HOST 컴퓨터상의 실시간 경보처리 TASK가 정확하게 이벤트를 보임으로써 이벤트가 정확히 추론되었으며 정확히 HMI로 전송되었음을 확인할 수 있다.

표 3. 과부하경보 모의결과

Table 3. Overload alarm simulation results

#	IED #	모의 데이터[KVA]			모의 이벤트				추론결과				
		부하(상)	내부 온도	유연도	가스도	이벤트 유형	설비 번호	상태 레벨	과부하	이벤트 유형	설비 번호	상태 레벨	과부하
23	7	35000	-	-	-	MO	1	C	A	MO	1	C	주의
24	9	65000	-	-	-	MO	2	B	A	MO	2	B	경고
25	11	48000	-	-	-	MO	3	A	A	MO	3	A	비상
26	20	2000(+)	-	-	-	DO	1	D	-	DO	1	D	정상
27	22	3160(B)	-	-	-	DO	2	C	B	DO	2	C	주의
28	32	3500(C)	-	-	-	DO	7	B	C	DO	7	B	경고
29	34	3840(B)	-	-	-	DO	8	A	B	DO	8	A	비상
30	38	3160(B)	-	-	-	DO	10	C	B	DO	10	C	주의
31	40	3500(C)	-	-	-	DO	11	B	C	DO	11	B	경고
32	42	3840(A)	-	-	-	DO	12	A	A	DO	12	A	비상
33	7	-	-	-	55	MD	1	C	-	MD	1	C	주의
34	9	-	-	-	65	MD	2	B	-	MD	2	B	경고
35	11	-	-	-	75	MD	3	A	-	MD	3	A	비상

CASE 35] 주변압기 M3 상태진단 : 먼저, 주변압기 IED 컴퓨터를 이용하여 주변압기 3번의 진단 IED에 대응하는 IED11의 주변압기의 유중 수분량 데이터를 "65%"로 작성한다. 이때 변압기 IED 컴퓨터의 추론기반 MFC 프로그램을 실행시키면 주기적 상태 감시 도중에 RULE 8에 따라 주변압기의 상태레벨을 A로 추론한다. 그리고 그 진단결과를 SOAP 메시지로 작성, HOST 컴퓨터로 전송하였는데, 이벤트 대기모드의 실시간 경보처리 TASK가 정확하게 이벤트를 보임으로써 이벤트가 정확히 추론되었음을 확인할 수 있다.

표 1은 차단기의 보호협조 추론전략, 표 2는 주변압기, 모선, 선로사고, 차단기 가스압 진단, 표 3은 주변압기 과부하 및 상태진단 등의 이벤트 모의결과를 보이는데, 모의결과와 IED 추론결과, HOST IAP 프로그램의 접수결과가 정확하게 일치함으로써 제안된 방법론의 유효성을 확인할 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 대규모 시스템 운영의 안정성과 신뢰성 제고를 위해 최근 인터넷 문서 표준이 되고 있는 XML을 기반으로 하는 SOAP 프로토콜과 PtP 통신을 기반으로 IED간의 자율적 정보교환 방법론을 제안하였다. SOAP 프로토콜은 XML을 기반으로 하기 때문에 운영체제나 구현언어, 플랫폼에 독립적이라는 장점을 가지며 특히 보안에 강력한 장점을 가진다. 또한 IED의 추론기반 솔루션을 설계하였는데 Visual C++의 ATL 기능을 이용하여 COM을 작성, 웹서비스를 지원할 수 있도록 하였으며 MFC 기능을 이용하여 클라이언트 프로그램을 구현하였다. 특히, 클라이언트 프로그램은 주기적으로 IED의 내부/외부 상태를 규칙기반 추론전략에 의해 진단하도록 하였으며 그 결과를 SOAP 프로토콜을 이용하여 HOST나 다른 IED에 전송할 수 있도록 설계하였다. 끝으로, 시뮬레이션 시스템을 구축, 윈도우즈 XP의 IIS 환경하에서 대표적 배전 변전소 관련 차단기나 변압기에 대한 다양한 이벤트를 모의하였는데, 모의결과가 정확한 추론 및 응답결과를 보임으로써 제안된 방법론의 유용성과 정확성을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2005-B-116) 주관으로 수행된 과제임

참 고 문 헌

- [1] SIMENS, IEC61850을 적용한 변전소자동화 파일럿 프로젝트.
- [2] SAT Automation, IEC61850 기반 변전소 자동화 솔루션.
- [3] Yantai DONGFANG 전자통신, IEC61850기반 변전소 감시 제어 시스템(DF3000 시리즈).
- [4] Erich W. Gunther, "A Practical Application of the IEC61850 Communication Standards", EnerMex Corporation.
- [5] IEC61850 Standards
- [6] Lars Andersson, K. P. Brand, Wolfgang Wimmer, "The Communication Standard IEC61840 Supports Flexible and Optimized Substation Automation Architectures", 2nd International Conference INTEGRATED PROTECTION CONTROL AND COMMUNICATION EXPERIENCE BENEFITS AND TRENDS, IV17-23, October 2001.
- [7] Lars Andersson, Klaus-Peter Brand, Wolfgang Wimmer, "Some Aspects of Migration from Present Solutions to SA Systems based on the Communication Standard EC61850", 2nd International Conference INTEGRATED PROTECTION. CONTROL AND COMMUNICATION EXPERIENCE BENEFITS AND TRENDS, IV24-31, October 2001.
- [8] 고유석, 강태규, "고도화된 자동화 변전소의 사고복구지원을 위한 지식학습능력을 가지는 전문가 시스템의 개발", 전기학회논문지, Vol. 53, No. 12 pp.637-644, 2004년 12월.
- [9] 마이크로 소프트사, MS SOAP 툴킷 매뉴얼
- [10] 마이크로 소프트사, MS XML 툴킷 매뉴얼

저 자 소 개



고 윤 석 (高 鈞 錫)

1984년 2월 광운대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 2월 광운대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 2월 광운대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1986년 3월~1996년 3월 한국전기연구소 선임연구원. 1996년 4월~1997년 2월 포스코 경영연구소 연구위원. 1997년 3월~현재 남서울대학교 전자정보통신공학부 부교수.