

IEC61850 기반 변전소자동화시스템의 신뢰도 향상기법

(A Reliability Enhancement Methodology of the IEC61850 based Substation Automation System)

임성일*

(Seong-Il Lim)

요 약

최근 IEC61850이 변전소자동화시스템의 국제표준으로 자리 잡고 있는데, 그 중에서도 보호IED의 신뢰도는 매우 중요하다. 본 논문에서는 IEC61850의 특징을 이용하여 보호IED의 신뢰도를 향상시키는 새로운 방법을 제시한다. 본 논문에서 제시하는 신뢰도 향상기법은 적은 수의 백업 IED를 사용하므로 경제적이면서도, 기존의 2계열화나 백업보호방식에 비하여 오부동작을 현저히 감소시킬 수 있다. 6모선 예제계통에 대한 모의실험을 통하여 본 논문에서 제시하는 신뢰도 향상기법의 유용성을 검증하였다.

Abstract

The effect of the fault could be propagated to healthy region when the fault on the power system is not cleared in time. In order to enhance reliability of the protective relay, a dual and/or backup system is adopted for the power system protection. The IEC61850 has become an international standard of the substation automation system for interoperability between heterogeneous IEDs from different vendors. This paper introduces a reliability enhancement technique for the substation automation system using characteristics of the IEC61850.

Key Words : Substation Automation System, IEC61850, Fault Tolerant System

1. 서 론

최근 네트워크 및 컴퓨터 기술을 전력시스템 운영에 접목하여 경제성과 신뢰성을 동시에 향상시키고자 하는 노력이 활발히 진행되고 있다. 변전소자동

화의 목적은 변전소내의 IED들을 네트워크로 연결하여 상호정보를 교환함으로써 변전소 운전능력을 향상시키는 것이다. 변전소자동화를 구현하는데 있어 가장 큰 문제점은 IED마다 제작회사가 다르고 각자 배타적인 기술로 개발하므로 상호 통신에 의한 원활한 정보교환이 어렵다는 점이다. 이를 극복하기 위하여 변전소내의 시스템 구조 및 통신 네트워크를 망라하는 통합표준의 필요성이 대두되었다[1]. 변전소자동화 표준화의 연구는 1990년대 초반 미국과 유

* 주저자 : 경남대학교 전기공학과 교수
Tel : 055-249-2630, Fax : 055-249-2839
E-mail : slim@kyungnam.ac.kr
접수일자 : 2008년 7월 4일
1차심사 : 2008년 7월 7일
심사완료 : 2008년 7월 15일

럽에서 동시에 시작되었다. 미국에서는 EPRI가 UCA2.0을 만들고 유럽에서는 IEC가 IEC61850을 개발하였다. 이 두 가지 표준은 UCA2.0의 데이터 모델과 서비스를 기반으로 하고 이를 포괄하는 IEC61850으로 통합되었다[2].

전력계통에 고장이 발생하였을 때 신속히 제거하지 않으면 전체 시스템 붕괴로 이어지므로 보호 IED는 어떠한 경우에도 그 역할을 지속하여야 한다. 보호 IED에 결함이 발생해도 계통보호를 지속하기 위하여 후비보호 시스템을 채용하거나 전체를 2계열화하기도 한다. 그러나 이와 같은 중복에 의한 신뢰도 향상 방법은 부동작을 감소시킬 수는 있지만 오동작이 증가될 수 있다는 단점이 있다[3]. 시스템에 발생한 결함을 극복하고 원래의 기능을 수행하기 위한 방법에 대한 연구는 다양하게 진행되어 왔다. 소프트웨어 결함을 극복하기 위한 방법으로는 NVP(N Version Programming) 기법이 널리 사용되고 있다[4]. 하나의 기능을 서로 다른 알고리즘을 적용한 N개의 프로그램으로 중복 구현하여 결과를 비교함으로써 결함에 의한 오동작을 제거하는 방법이다[5]. 하드웨어 결함을 검출하고 제거하기 위한 방법으로는 다수결방식(Voting System)이 주로 적용된다[6]. 하나의 기능을 3개의 중복된 시스템으로 구현하고 결과를 비교하여 동일한 결과를 출력한 2개의 시스템을 정상적인 것으로 보고, 출력이 다른 하나의 시스템에 결함이 있는 것으로 판단한다.

IEC61850 표준을 채택하여 변전소를 구성하면 기존과는 다른 새로운 구조를 가지게 되며, 이전에는 불가능했던 기능의 구현이 가능하게 된다. 본 논문에서는 IEC61850 규격을 따르는 변전소자동화 시스템에 새롭게 추가된 기능을 활용하여 IED 결함을 극복하는 방법을 제시한다. 온라인상에서 IED를 시험하고 IED 결함이 발견되면 여분의 IED가 대체하게 함으로서 IED 결함을 극복하고 전체 시스템은 주어진 역할을 지속적으로 수행할 수 있게 하는 방법이다.

본 논문에서는 먼저 신뢰도 향상기법을 가능하게 하는 IEC61850의 특징을 설명하고, 구체적인 시스템 구성과 동작 절차에 대하여 소개한다. 이어서 IEC61850 기반 신뢰도향상기법의 실효성을 검증하기 위한 사례연구에 대하여 기술한다.

2. IEC61850의 특징

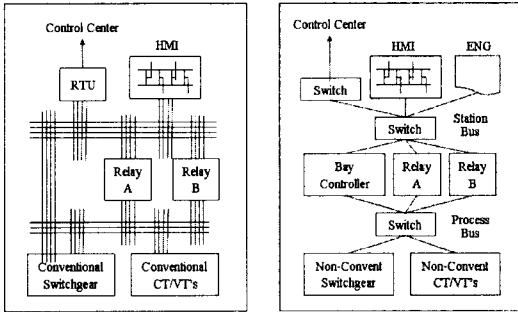
본 논문에서 제시하는 신뢰도 향상기법은 IEC61850의 특징들을 기반으로 하여 설계되었기 때문에 기존의 변전소자동화에는 적용할 수 없고 IEC61850을 기반으로 한 변전소자동화에만 적용이 가능하다. 본 논문에서 제시하는 기법을 가능하게 하는 IEC61850의 특징으로는 디지털 기반 데이터 전달, IED간 상호교환성, SCL 기반의 엔지니어링 등이 있다. 본 장에서는 이러한 세 가지 특징을 설명하고 이러한 특징들이 어떻게 본 논문에서 제시하는 변전소자동화 신뢰도 향상기법을 가능하게 하는지를 설명한다.

2.1 디지털 기반 데이터 전달

기존의 변전소 감시제어 시스템에서는 그림 1 (a)에 보이는 바와 같이 변압기, 차단기, 모선과 같은 1차 전력설비에 CT(Circuit Transformer)와 PT(Potential Transformer)가 설치되고 변성된 아날로그 신호가 하드와이어를 통하여 배전반으로 전달된다. 배전반에 설치된 보호계전기나 RTU(Remote Terminal Unit)는 아날로그 신호를 디지털신호로 변환하여 보호나 감시제어의 목적으로 사용한다. 이러한 구조에서는 CT나 PT에서 변성된 신호가 하드와이어를 통하여 전송되기 때문에 결선을 변경하는 공사를 수행하지 않고는 데이터의 전송경로를 변경할 수 없다. 즉 하나의 보호기기는 설치되는 시점에서 연결되는 특정한 CT나 PT의 신호만을 사용하므로 운전 중에 보호대상 설비의 변경이 불가능하다.

이에 반하여 IEC61850기반 변전소자동화시스템에서는 그림 1 (b)에 보이는 바와 같이 차단기, 변압기, 모선과 같은 1차 전력설비에 프로세스 IED가 설치되고 이 장치에서 아날로그 신호를 디지털 신호로 변성한 다음 이더넷을 통하여 베이 IED로 디지털 신호를 전송한다. 이러한 구조의 두드러진 특징은 통신패킷의 목적지 주소를 바꾸는 것만으로 신호의 전송경로를 변경할 수 있다는 점이다. 기존의 방식에서는 배전선로 보호계전기에서 결함이 발견되었을 때 하드와이어 결선을 변경해야만 보호계전기를 교체할 수 있었다. IEC61850 환경에서는 전송되는 데이터 패킷

의 목적지 주소를 변경하는 것만으로도 결함이 발견된 보호 IED를 여분의 건전한 IED로 대체할 수 있다.



(a) 기존변전소 (a) Conventional S/S
(b) IEC61850기반 변전소 (b) IEC61850 based S/S

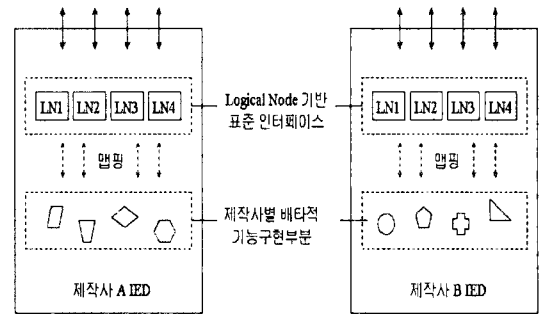
그림 1. 변전소의 데이터 전달구조
Fig. 1. Data Flow Structure in the Substation

2.2 IED간 상호교환성

IEC61850 기반 변전소자동화에서는 변전소내의 모든 정보를 LN(Logical Node)과 그 구성요소인 데이터 및 DA(Data Attribute)로 표준화 하여 표현하고 있다. 특히 LN은 변전소자동화시스템을 구성하는 기본적인 기능단위로서 하드웨어에 제약을 받지 않고 어디든지 자유롭게 위치하여 기능을 수행할 수 있다. 이러한 특징을 다시 설명하면, 두 개의 IED가 서로 다른 제작사에서 개발되어 하드웨어 및 소프트웨어의 구조가 다르더라도 같은 LN을 지원한다면 상호교환이 가능하다는 것이다. 또한 LN만 같다면 두 개의 IED를 하나의 IED가 대체할 수도 있는 등 기능단위인 LN의 호환성이 중요하고 하드웨어는 단지 플랫폼에 불과하다고 볼 수 있다.

그림 2는 서로 다른 제작사에서 개발된 두 개의 이질적인 IED간에 어떻게 상호 교환성이 가능한지를 설명하고 있다. 그림에 표현된 바와 같이 두 IED의 내부 로직이 서로 다르다. 예를 들어 순시치 샘플 데이터로부터 실효치를 계산하는 방법에 있어 왼쪽 IED는 면적법을 쓰고 오른쪽 IED는 DFT(Discrete Fourier Transform)을 사용할 수 있다. 그러나 내부적으로 상이한 알고리즘도 표준화된 LN으로 맵핑되고 두 IED의 LN이 같다면 상호교환이 가능하다. 물

론 이러한 경우에 어느 IED가 계통의 고장을 더 잘 검출할 수 있을지는 IED의 성능으로 여전히 비교의 대상이 될 수 있을 것이다.



(a) 제작사 A IED (b) 제작사 B IED

그림 2. 이질적인 IED들 간의 상호교환성
Fig. 2. Inter-changeability between Heterogeneous IEDs

2.3 SCL 기반 엔지니어링

IEC61850을 구성하는 핵심적인 개념 중의 하나는 소프트웨어에 의한 엔지니어링이다. 엔지니어링이란 여러 제작회사에서 개발된 다양한 IED를 모아 하나의 변전소자동화 시스템을 구성할 때 각각의 IED의 역할을 정의하고 데이터 및 제어 신호의 흐름을 정의하는 작업을 말한다. 그림 3은 SCL(System Configuration Language)를 이용한 엔지니어링 절차에 대하여 설명하고 있다.

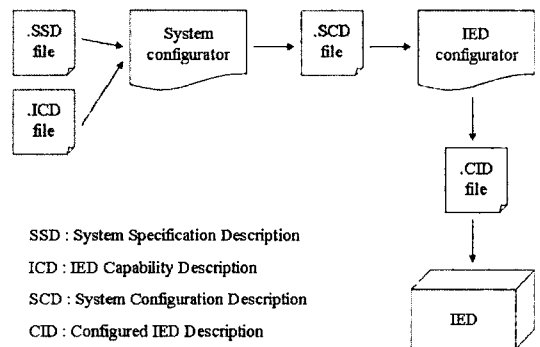


그림 3. SCL기반 엔지니어링 절차
Fig. 3. Engineering Procedure based on SCL

IEC61850 기반 변전소자동화시스템의 신뢰도 향상기법

그림 3에서 보는 바와 같이 SCL기반 엔지니어링을 수행하기 위해서는 SC(System Configurator)와 IC(IED Configurator)라는 두 개의 소프트웨어가 필요하다. SC는 SSD(System Specification Description) 파일과 ICD(IED Capability Description) 파일을 조합하여 SCD(Substation Configuration Description) 파일을 생성하고 이를 IC로 전송한다. IC는 SCD 파일로부터 CID(Configured IED Description) 파일을 생성하여 IED로 전송한다. IED는 CID의 내용에 따라 내부구조, 기능 및 데이터 전송경로를 설정한다.

IEC61850에서는 이러한 SCL기반 엔지니어링 기능을 이용하여 IED를 교체할 수 있다. IED에 결함이 발생되어 백업 IED가 투입된 경우 엔지니어링 기능을 이용하여 백업 IED에게 결함 IED의 역할을 할당하고 결함 IED와 데이터를 수수하던 주변 IED의 설정을 변경함으로써 시스템을 재구성할 수 있다.

3. 변전소자동화 신뢰도 향상기법

IEC61850기반 변전소자동화 신뢰도 향상기법의 핵심적인 요소는 IED들의 결함유무를 검사하는 동안 전체 변전소자동화의 감시제어 및 보호기능은 중단 없는 수행이다. 또한 IED에 결함이 발견된 경우 백업 IED가 결함 IED의 기능을 대체하여 원래 설계된 기능이 정상적으로 수행되어야 한다.

3.1 시스템 구성

본 논문에서 제안하는 신뢰도 향상기법을 구현하기 위한 전체 시스템 구조는 그림 4와 같다. 그림에서 점선으로 둘러싸인 밖의 스테이션, 베이 및 프로세스 유닛은 표준규격에 정의되어 있는 IEC61850의 구성 요소이다. 본 논문에서 제안하는 신뢰도 향상기법을 구현하기 위해 추가되는 요소는 점선으로 둘러싸인 CM(Configuration Manager), TD(Trouble Detector) 및 백업 IED로서 각 장치의 기능은 다음과 같다.

CM(Configuration Manager)

IED의 결함검사와 관련된 피 시험 IED, 백업 IED 및 주변 IED의 설정 변경 등 시스템 구성을 관리하

는 장치이다. IED의 결함검사를 위한 시스템 구성 변경을 위하여 피 시험 IED의 기능을 엔지니어링 유닛이 가지고 있는 SCD 파일로부터 추출한다. 백업 IED에 CID 파일을 다운로드하여 백업 IED가 피 시험 IED와 같은 기능을 수행할 수 있도록 설정한다. 피 시험 IED와 통신하도록 설정되어 있는 주변 IED 들에도 데이터 전송경로를 피 시험 IED에서 백업 IED로 변경하는 CID 파일을 다운로드한다.

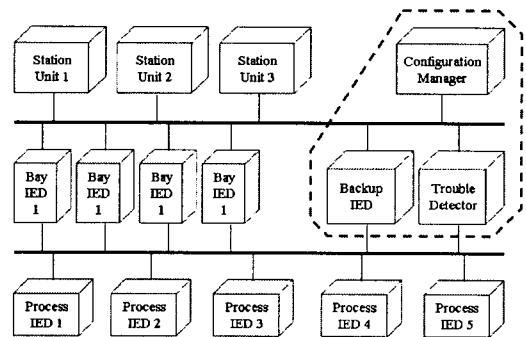


그림 4. 변전소자동화 신뢰도 향상시스템

Fig. 4. Reliability Enhancement System for SA

TD(Trouble Detector)

이 장치는 피 시험 IED의 결함유무를 검사하는 기능을 담당한다. 피 시험 IED에 검사용 입력 패턴을 전송하고 피 시험 IED의 출력결과를 미리 준비된 패턴과 비교하여 피 시험 IED의 결함유무를 평가한다. 출력된 결과가 미리 준비된 패턴과 일치하면 결함이 없는 것으로 보고, 다르면 결함이 있는 것으로 판단하는 것이다. IED 결함검사 패턴은 LN별로 준비하며 오프라인 시뮬레이션을 통하여 만들어진다.

Backup IED

IEC61850에서 변전소자동화의 각종 기능은 LN 단위로 추상화 되고 하드웨어는 LN을 수행하기 플랫폼의 역할을 한다. 즉, 앞서 IED간의 상호교환성에서 설명한 바와 같이 서로 다른 하드웨어 기반의 IED라 할지라도 기능요소인 LN만 같으면 대체할 수 있다. 백업 IED는 피 시험 IED와 똑같은 기능을 수행하도록 동적으로 구성되며 피 시험 IED에 관한 정보는 엔지니어링 유닛의 SCD파일로부터 취득할

수 있다. 즉, 백업 IED는 피 시험 IED의 결함검사가 진행되는 동안 피 시험 IED의 역할을 대신한다.

3.2 IED 결함검출 방법

IED를 비롯한 디지털 장비의 하드웨어 및 소프트웨어 결함 검출방법에는 간단한 자기진단에서 최신의 바운더리스캔에 이르기까지 다양한 방법이 사용되고 있다. 본 논문에서 제시하는 방법은 TD이 피 시험 IED에게 미리 정해진 입력 테스트 패턴을 전송하고, 그 입력에 대한 피 시험 IED의 출력 패턴을 검사하여, 미리 계산된 결과 패턴과 일치하면 건전한 것으로 판단하고 그렇지 않은 경우에는 결함이 있는 것으로 판단한다. IED를 하나의 시스템이라고 보았을 때 모든 가능한 입력에 대하여 정확한 출력을 반환할 때 시스템 내부에 결함이 없다는 것은 단순하고 명백한 사실이다. 다만, 현실적으로 모든 가능한 입력을 사용하여 시스템을 검사하는 것은 불가능하다. 따라서 시스템의 오류를 효과적으로 검출해 낼 수 있는 테스트 패턴을 만드는 일이 매우 중요하다. 본 논문에서 시험하려고 하는 장치는 변전소자동화에서 사용되는 IED이며 이 장치의 기능단위는 LN이다. 따라서 테스트 패턴은 LN 단위로 마련되어야 하며 이를 기반으로 IED의 기능이 정확히 수행되는지 아닌지를 판단할 수 있어야 한다.

테스트 패턴은 대부분 전압, 전류의 순치치 값으로 구성되므로 프로세스 버스를 통하여 샘플링 데이터 형태로 전송되어야 한다. 프로세스 버스는 극소량의 감시, 제어신호를 제외하면 대부분 샘플링 데이터 전송을 위하여 사용된다. 샘플링 데이터는 이벤트의 발생 여하에 관계없이 일정하고 또한 IED 결함 검출을 위한 테스트 패턴도 일정하게 전송되므로 네트워크의 최대 트래픽을 예상할 수 있다. 이것에 맞추어 서브네트워크를 구성하게 되면 안정적으로 프로세스 버스 트래픽을 제어할 수 있다. 테스트 패턴은 MSVCB(Multi-cast Sampled value Control Block)을 통해 멀티캐스팅으로 전송할 수 있으므로 통신량을 줄일 수 있다. 또한 네트워크 통신 속도는 급속히 발달하고 있어서 전체 네트워크 트래픽에서 테스트 패턴에 의한 영향은 크지 않을 것으로 판단된다.

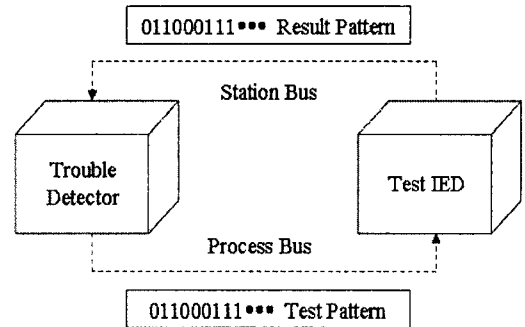


그림 5. 테스트 패턴에 의한 IED 오류검출 방법
Fig. 5. IED Fault Detection by Test Pattern

3.3 IED 오류검사 절차

본 논문에서 제안하는 변전소자동화 신뢰도 향상 기법은 모든 기능을 정상적으로 수행하면서 IED의 오류를 검사한다. 이를 위하여 백업 IED가 피 시험 IED의 역할을 대체할 수 있도록 시스템을 재구성하는 단계와 피 시험기기의 오류를 검사하고 시스템을 원상복귀 시키는 단계 등이 수행되어야 한다. 세부적인 시스템 동작 절차는 다음과 같다.

- ① CM은 SCD 파일로부터 변전소자동화를 구성하고 있는 IED들과 네트워크 구조를 파악한다. 이때 IED의 결함검사 순서를 결정한다.
- ② CM은 피시험 IED를 결정하고, 이 IED의 기능을 LN 중심으로 파악하고, 이 IED와 데이터를 수수하는 관련 IED들과 통신관계를 파악한다.
- ③ CM은 백업 IED가 피시험 IED와 동일한 동작을 수행하도록 해당 LN을 활성화시킨다.
- ④ CM은 피 시험 IED와 통신을 하던 주변 IED의 데이터 전송경로를 변경하여 백업 IED가 시스템 내에서 피 시험 IED의 기능을 대체하도록 구성한다.
- ⑤ CM은 피 시험 IED의 통신경로 설정을 변경하여 데이터의 입출력을 주변 IED가 아닌 TD와 주고받도록 설정한다.
- ⑥ TD는 미리 준비된 테스트 패턴을 피 시험 IED에 전송한다.
- ⑦ 피 시험 IED는 TD로부터 받은 입력패턴에 대하여 IED 기능에 따라 출력패턴을 생성하여

TD로 반환한다.

- ⑧ TD는 피 시험 기기의 출력신호와 미리 준비된 패턴을 비교하여 같은 9단계를 수행하고 다르 면 11단계를 수행한다.
- ⑨ CM는 피시험기기에 결함이 없으므로 백업 IED를 시스템에서 분리시키고 피 시험 IED를 원래의 역할로 복귀시킨다.
- ⑩ CM은 다음 피 시험 IED를 선정하고 2 단계로 진행하여 절차를 반복한다.

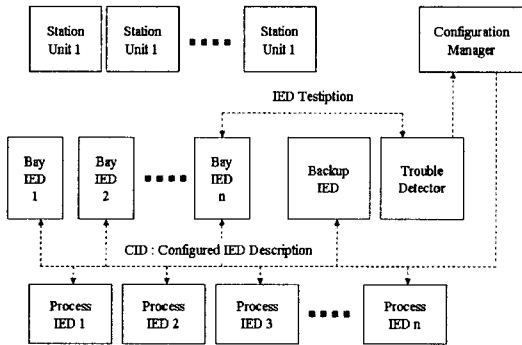


그림 6. IED 오류검출 절차
Fig. 6. IED Fault Detection Procedure

피 시험 IED에 결함이 발생된 경우는 운영자에게 알리고 피 시험 IED를 수리 혹은 교체하도록 한다. 피 시험 IED가 수리되는 동안 백업 IED가 피 시험 IED의 역할을 대신하므로 전체 변전소자동화는 정상적인 기능을 지속할 수 있다.

4. 사례연구

본 논문에서 제안하는 IEC61850기반의 변전소 자동화시스템 신뢰도향상 기법의 유용성을 검증하기 위하여 성능검증 시스템을 구축하고 다양한 IED 결 함에 대하여 적절히 대응할 수 있는지를 검사하였다.

4.1 성능검증 시스템의 구성

그림 7은 성능검증을 위하여 간략화된 IEC61850 기반 변전소자동화의 구성을 나타내고 있다. 'A'는 전력계통 과도현상 실시간 시뮬레이션 장비인

HyperSIM[7] 으로서 고장현상을 모의하여 아날로그 전압, 전류를 MU(Merging Unit) 'B'로 전달한다. MU 'B'는 아날로그 신호를 디지털로 변환한 다음 프로세스 버스를 통해 베이레벨의 보호 IED 'C'와 재폐로 IED 'D'로 전달한다. 'E'와 'F'는 스테이션 유닛을 나타내고, 'J'는 액츄에이터를 나타낸다. 점선 으로 둘러싸인 두 개의 IED는 본 논문의 스킴을 구현하기 위하여 추가되는 장치로서 'H', 'I', 'G'는 각 각 백업 IED, CM(Configuration Manger) 및 TD (Trouble Detector)이다.

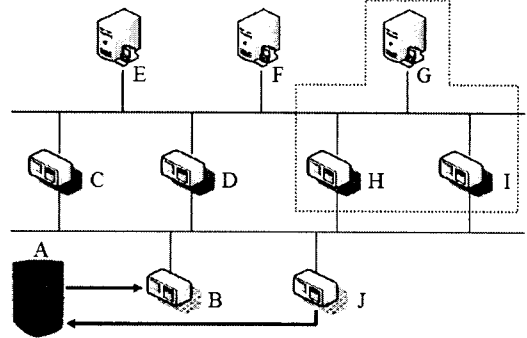


그림 7. 성능검증 시스템
Fig. 7. Performance Verification System

4.2 성능검증 시험

성능검증 시험은 온라인 절체, 온라인 결함검출 및 원상복귀의 단계를 거쳐 수행된다.

온라인 절체

IED 결함을 검사하기 위하여 피시험 IED를 시스템으로부터 분리하고 백업 IED로 하여금 피시험 IED를 대체하도록 구성한다. 그림 8에서 보는바와 같이 MMS 프로토콜 해석기를 이용하여 백업 IED의 LN과 컨트롤 블록의 동작 상태를 검사함으로써 온라인상에서 기능의 중단 없이 피시험기기의 기능이 백업 IED로 절체되고 있음을 확인하였다.

온라인 결함검출

본 논문에서는 부품결함, 통신결함, 전원결함의 세 가지로 나누어 제안된 시스템의 결함검출 능력을 시

험하였다. 부품의 결함을 모의하기 위하여 메모리 제거하였고, 통신상의 결함을 모의하기 위해서 랜 케이블을 분리하였고, 전원의 결함을 모의하기 위해서 전원을 차단하였다. 그림 9에서 보는 바와 같이 피시험 IED는 모든 결함상황에 대하여 적절한 응답을 전송하지 못하여 IED 결함검출이 신뢰성 있게 이루어짐을 확인하였다.

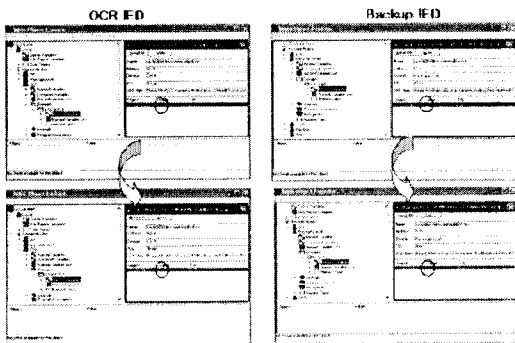


그림 8. IED 상태
Fig. 8. IED Status

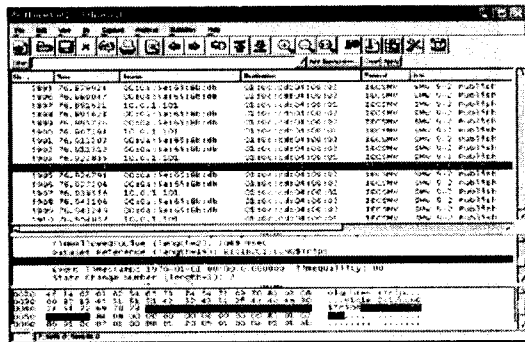


그림 9. 피시험기 응답화면
Fig. 9. Response of IED under Test

원상복귀

IED의 결함을 검사하여 이상이 없을 경우 백업 IED를 시스템으로부터 분리하고 피시험 IED를 원래의 상태로 복귀시켜야 한다. 시스템을 원상복귀 시킨 후 초기상태에서와 같이 스테이션 유닛을 이용한 시스템 점검에서 IED 결함검사 후 원상복귀가 성공적으로 이루어졌음을 확인하였다.

5. 결 론

이질적 IED간의 상호운용성 향상을 위하여 IEC61850이 변전소자동화용 표준규격으로 자리 잡고 있다. 본 논문에서는 IEC61850의 특징을 활용하여 IED의 결함을 검사하고 결함 IED가 발견된 경우 백업 IED로 대체하여 변전소자동화의 기능을 지속 하는 방법을 제시하였다. 실시간 시뮬레이터와 리눅스 기반 산업용컴퓨터들로 구성된 모의 시스템을 구성하여 제안된 기법의 실용성을 검증하였다.

감사의 글

이 연구는 2008년도 경남대학교 학술연구장려금 지원으로 이루어졌음.

References

- [1] J. McDonald, "Substation Automation - IED Integration and Availability of Information," IEEE power & energy magazine, pp. 22-31, March/April 2003.
- [2] K. Brand, "The Standard IEC 61850 as Prerequisite for Intelligent Applications in Substations," IEEE Power Engineering Society General Meeting, Vol. 1, pp. 714-718, June 2004.
- [3] Ding M. et al., "Reliability Analysis of Digital Relay," Eighth IEE International Conference on Developments in Power System Protection, Vol. 1, pp. 268-271, 2004.
- [4] Avizienis, A., "The N-Version Approach to Fault Tolerant Software," IEEE transactions on Software Engineering, Vol. SE-11, No. 12, pp. 1491-1501, 1985.
- [5] Chen, L., and A. Avizienis, "N-Version Programming: A Fault-Tolerance Approach to Reliability of Software Operation," Proceedings of FTCS-8, pp. 3-9, France, 1978.
- [6] B. Hardekopf, K. Kwiat, S. Upadhyaya, "Secure and Fault Tolerant Voting in Distributed Systems," IEEE Proceedings on Aerospace Conference, Vol. 3, pp. 1117-1126, 2001.
- [7] HyperSim, <http://www.transenergie-tech.com/er/>

◇ 저자소개 ◇

임성일 (林星日)

1967년 7월 10일. 1994년 명지대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996~2002년 한국전력공사 전력연구원. 2006~2007년 미국 Iowa State University 박사후 연구원. 현 경남대학교 전기공학과 교수.