

# 네트워크 이중화를 고려한 IED GOOSE 전송에 관한 성능 분석

(Performance Analysis of the GOOSE Transmission of an IED Considering Network Redundancy)

이남호\* · 장병태

(Nam-Ho Lee · Byung-Tae Jang)

## 요 약

IED가 GOOSE를 통해 전달하는 메시지가 일반적으로 변전소의 보호와 제어를 담당하는 중요하고 민감한 신호이다 보니 네트워크의 이상 상황으로 인한 통신패킷의 손실과 전송속도 저하 등에 대처하기 위한 네트워크 이중화(Redundancy)를 고려하고 있다. 이를 위해 네트워크 토폴로지의 이중화와 함께 IED도 네트워크 포트를 2개로 구현하여 스위치방식에 의한 이중화를 지원하고 있다. IEC 61850 GOOSE 적합성 시험은 IED 통신서비스 기능시험에 국한하기 때문에 본 논문에서는 변전자동화시스템의 네트워크 이중화를 고려한 IED의 스위치 이중화 장치의 GOOSE 전송 성능을 시험할 수 있는 방법을 제시하고 실제통에 적용중인 IED의 사례 검증을 통해 네트워크 이중화를 고려한 IED의 GOOSE 전송이 변전자동화시스템에 어떤 영향을 주는지 분석하고자 한다.

## Abstract

In order to prevent loss of communication packets and drop of transmission speed owing to the network fault occurrence, it should be considered network redundancy. That is why a messages of IED GOOSE is the critical signal in charge of protection and control of the substation. So most of users implement the substation automation system with Hybrid network topology and IED supporting double ethernet ports. Because IEC 61850 GOOSE conformance test is limited in the functional test, this paper suggests how to test the performance of IED GOOSE transmission considering Network redundancy, and describes the analysis of an example test on real IEDs and how to impact the IED GOOSE performance to the substation automation system.

Key Words : Network Switch, Protective Relay, IED, GOOSE, Network, Redundancy, IEC 61850

## 1. 서 론

2005년부터 진행 중인 전력IT “디지털 기술기반의 차세대 변전시스템 개발” 과제를 통해 네트워크 기반위에 운영되는 154[kV] 변전소에 적용 가능한 IEC 61850 기반의 IED(Intelligent Electronic Device), 상위운영시스템, 게이트웨이 등 변전자동

\* 주저자 : 한국전력공사 전력연구원 일반연구원

Tel : 042-865-5876, Fax : 042-865-5804

E-mail : nam100@kepri.re.kr

접수일자 : 2009년 7월 27일

1차심사 : 2009년 7월 30일

심사완료 : 2009년 9월 18일

화시스템(Substation Automation System) 시작품 개발이 완료되었다[1].

변전자동화의 국제 규격이 IEC 61850으로 단일화된 이후 전 세계적으로 IED를 비롯한 다양한 제품이 양산되고 변전소 적용이 확대되어가고 있는 추세에 있으며, 국내의 경우에도 산청변전소를 시작으로 IEC 61850 변전자동화시스템을 시범적으로 적용하고 있고, 또한 정부주도의 스마트그리드(Smart Grid)의 핵심요소기술로 그 중요성이 날로 커지고 있다. IEC 61850 기반의 변전자동화시스템은 기존의 제어케이블에(Hard-wire)에 의한 1대1 방식이 아닌 이더넷 환경 하에서 이루어지는 서버와 클라이언트의 디지털 방식으로 정보교환이 이루어지는 특징을 가지고 있다. 변전소를 구성하는 모든 설비를 가상의 데이터 모델로 구현하고 모든 제품에 동일한 데이터 정보객체를 가지고 구현하는 것을 의미하는 IEC 61850기반의 변전자동화는 제조사가 다르더라도 상호간 데이터 통신을 통한 변전소의 보호, 제어, 감시가 가능해야 한다. 이를 위해서는 변전자동화시스템을 구성하는 제품의 상호운용성(Interoperability)이 보장되어야 하며 이를 위해서 UCA의 국제 전문가모임(International Users Group)에서 제정한 14가지 IEC 61850 통신서비스 시험항목으로 구성된 적합성 인증 항목을 IED가 만족해야 한다[2-7]. 현재까지 실제통에 적용되는 변전자동화시스템에 있어 기존 시스템과의 가장 큰 차이점은 IED간에 이루어졌던 인터록 등의 정보교환과 차단기와 같은 스위치 장비에 대한 트립신호가 아날로그 형식에서 GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event)라는 네트워크를 통해 전달되는 통신메시지로 바뀌었다는 점이다. IED가 GOOSE를 통해 전달하는 메시지가 일반적으로 변전소의 보호와 제어를 담당하는 중요하고 민감한 신호이다 보니 네트워크의 이상 상황으로 인한 통신패킷의 손실과 전송속도 저하 등에 대처하기 위한 네트워크 이중화(Redundancy)를 고려하고 있다. 이를 위해 네트워크를 구성하는 스위치는 이중화를 고려한 링(Ring)과 하이브리드(Ring과 Star 혼합)형으로 구축하고 IED도 네트워크 포트를 2개로 구현하여 스위치방식에 의한 이중화를 지원하고 있다. IEC 61850 적합성

중 GOOSE 시험은 IED가 GOOSE 메시지의 전달이 규격에 따라 전송하는지와 수신된 GOOSE 메시지에 반응을 잘하는지를 확인하는 기능시험에 국한하기 때문에 변전소에 IED의 GOOSE 기능을 적용할 경우 네트워크 환경에서의 성능을 측정하는 것이 IEC 61850 적합성 시험과 함께 필요하다고 사료된다. 본 논문에서는 변전자동화시스템의 네트워크 이중화를 고려한 IED의 스위치 이중화 장치의 GOOSE 전송 성능을 시험할 수 있는 방법을 제시하고 실제통에 적용 중인 IED에 대한 사례검증을 통해 네트워크 이중화를 고려한 IED의 GOOSE 전송이 변전자동화시스템에 어떤 영향을 주는지 분석하고자 한다.

## 2. 본 문

### 2.1 성능검증 목적 및 필요성

IEC 61850 변전자동화시스템은 그림 1과 같이 이더넷 스위치로 구성된 네트워크 기반위에 상위 운영시스템과 다수의 IED가 서버와 클라이언트, Peer-to-Peer관계를 통한 정보의 교환 및 변전소의 자동운용이 이루어진다. 따라서 현재 이루어지는 변전자동화시스템에 대한 검증은 IEC 61850 통신서비스 적합성 시험을 통해 IED와 상위운영시스템이 국제 단일규격으로 통신을 수행할 수 있음을 검증하고, IEC 61850 엔지니어링 작업에 의한 각 구성요소에 설정된 GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event)와 Report에 대한 시험을 통해 이루어진다.

서론에서 언급한 것과 같이 현재까지의 시험은 변전소에 IEC 61850이라는 통신규격을 적용한 이후 통신기능 상에 문제점이 없는지와 규격에 따라 구현이 되었을지를 확인하는 기능시험에 국한되었다. 더욱이 IEC 61850을 통해 변전자동화에 새롭게 도입된 GOOSE 통신을 이용하여 변전소의 인터록과 트립 등의 중요 신호를 전달하게 되는 변화에 대해 전력회사와 같은 사용자 입장에서는 IED GOOSE 통신에 대한 신뢰성과 성능검증에 대한 요구가 증가할 수밖에 없는 현실에 있다.

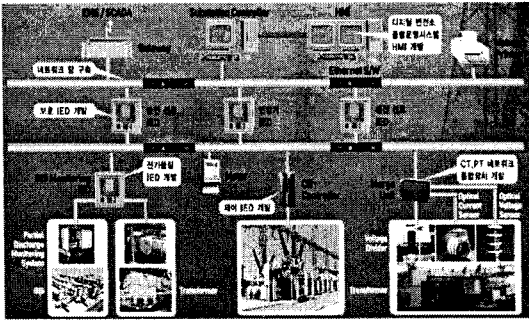


그림 1. IEC 61850 기반 변전자동화 시스템  
Fig. 1. IEC 61850 based Substation Automation System

변전자동화시스템의 통신의 신뢰성을 향상시키기 위해서 네트워크 구성(Topology)을 스타 형과 같은 단순구조에서 링 또는 하이브리드 형의 이중화로 구현하고 있다. 네트워크가 스위치를 통해 이중화되어 있어도 변전자동화시스템의 데이터 공급원인 IED에 연결된 스위치가 이상이 있을 때에는 해당 IED의 통신이 안 되기 때문에 IED의 네트워크 연결 포트를 이중화하여 전체 변전자동화시스템의 네트워크 이중화를 강화하고 있다. IED 입장에서 구현된 네트워크 포트 이중화 장치는 한 포트를 예비개념으로 하여 데이터 통신 중인 포트에 통신이상이 발생하게 되면 내부 스위칭에 의하여 예비 포트로 절체하는 방식이다. 리포트와 같은 상위시스템과 IED간에 이루어지는 통신의 경우에는 IED 네트워크 포트 절체가 이루어지더라도 통신패킷의 손실과 전송 지연에

다른 영향이 없지만 IED간의 신호를 전달하는 GOOSE의 경우에는 통신패킷의 손실과 전송지연이 변전소 보호와 사고 파급에 영향을 미치게 된다. 따라서 네트워크 포트 이중화 장치를 가지고 있는 IED의 GOOSE 성능이 변전자동화시스템을 운영하는데 문제가 없는 지를 검증하고 분석하는 일은 필수적인 사항이 되어야 하며 이를 통해 IED의 GOOSE 전송 기준을 수립하고 변전자동화 네트워크 이중화에 대한 다양한 솔루션을 찾을 수 있을 것으로 기대된다.

## 2.2 IEC 61850 GOOSE 적합성

IED 간에 메시지전달을 위해 IEC 61850에서 규정하는 통신메시지인 GOOSE 메시지는 IED가 가지고 있는 하나 이상의 데이터 멤버로 구성된 데이터셋(DataSet)이 참조된 GoCB(GOOSE Control Block)의 설정에 따라 전송된다. GOOSE 통신은 클라이언트와 서버 간 요청과 응답의 관계가 아닌 IED가 네트워크의 가상주소에 GOOSE 메시지를 보내어 상대방 IED가 수신하게 되는 멀티캐스팅 형식의 통신 방법을 이용한다. GOOSE 메시지는 IEC 61850 기반의 디지털 변전자동화 시스템을 기존 변전소와 비교할 때 가장 큰 변화중 하나이며, 일방적인 데이터 송신이기 때문에 무엇보다 IED는 규격에 따라 GOOSE 메시지를 전송해야 한다. IED의 GOOSE

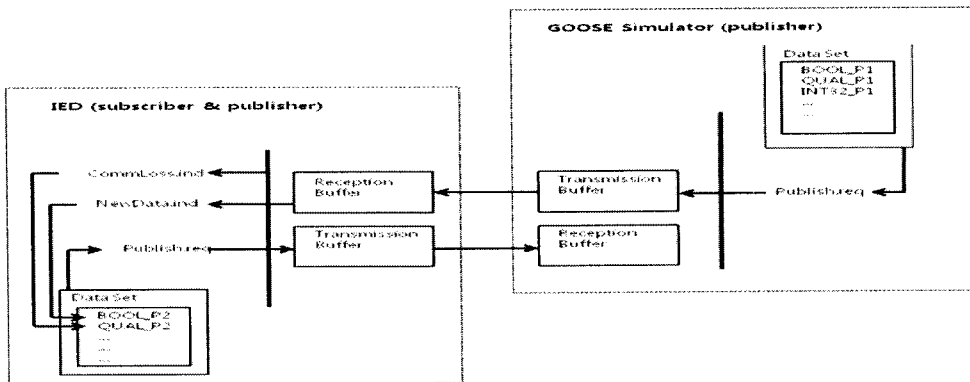


그림 2. IED GOOSE 핑퐁 설정  
Fig. 2. Setting of IED GOOSE Ping-PONG Test

네트워크 이중화를 고려한 IED GOOSE 전송에 관한 성능 분석

IEC 61850 적합성 시험은 다른 IED로부터 GOOSE 메시지를 수신한 시험대상 IED가 IEC 61850규격에 따라 GOOSE 메시지로 응답하는지를 검사하는 것이다. IED가 보내는 IEC 61850 GOOSE 메시지는 아래와 같은 구성의 데이터 형식으로 이루어진다.

- Dataset: IED가 전송할 데이터셋 참조 주소
- AppID(application identifier): GoCB가 위치한 LOGICAL-DEVICE의 식별 자
- GoCBRef(GOOSE control block reference): GOOSE 제어 블록의 참조 주소
- T(time stamp): stNum이 증가되는 시간
- stNum(state number): GOOSE 메시지로 전송하는 데이터 값 변화 카운터
- sqNum(sequence number): GOOSE 메시지 전송 카운터
- Test(test): IED GOOSE 전송의 시험운영 설정
- confRev(configuration revision): 데이터셋 구성 변경 회수
- NdsCom(needs commissioning): GoCB의 참조된 데이터셋 유무
- GOOSEData : GOOSE 메시지에 포함될 데이터셋 사용자 정의 정보

IED의 IEC 61850 GOOSE 적합성 시험을 하기 위해서는 그림 2와 같이 가상 IED가 시험대상 IED에 GOOSE 데이터를 보내면 엔지니어링 과정을 통해 시험대상 IED는 수신된 값을 인지하여 다시 네트워크에 GOOSE 메시지를 보내는 펌프설정을 해야 한다. UCA에 규정하는 IEC 61850 GOOSE 적합성 시험을 요약하면 표 1과 같다.

표 1. IEC 61850 GOOSE 적합성 시험  
Table 1. IEC 61850 GOOSE Conformance test

시 험 내 용	
Gos1	IED가 수신된 GOOSE 메시지의 데이터 값으로 GOOSE를 전송하는 지 확인
Gos2	Test혹은 ndsCom파라미터를 설정하여 하나의 GOOSE 메시지를 보낸 후 상태 변경 측면에서 해당 값이 운영 목적으로 사용되지 않았음을 검증
Gos3	상태 변경이 없을 경우 sqNum이 최대치에 1로 rollover 상태 변경이 있을 경우

시 험 내 용	
	sqNum이 최대치에서 0으로 rollover되는 경우를 IED가 분별하는 지 검증
GosN1	GOOSE 메시지에 sqNum을 0의 시작을 생략했을 경우 IED 반응 확인
GosN2	GOOSE 메시지에 sqNum을 0의 시작을 연속 두 번으로 하여 IED 반응 확인
GosN3	GOOSE 메시지의 timeAllowedtoLive의 주어진 시간에 대한 IED 반응 검증
GosN4	GOOSE 메시지에서 sqNum에 순서가 0-1-2-3을 1-0-2-3으로 하여 IED 반응 확인
GosN5	GOOSE 메시지에서 GOOSE를 30초간 보내지 않을 경우 IED 반응 확인
GosN6	다음과 같이 유효하지 않은 GOOSE 메시지를 수신할 경우 IED 반응 검증 -gocRef=NULL TEST -timeAllowedtoLive=0 -dataset reference=UNKNOWN, NULL -goID=TEST, NULL -t=± one hour, zero -confRev=mismatching number -dataEntries=±1,zero -APPID=mismatching number

2.3 시험시스템 구성 및 시험 방법

본 논문의 목적에서 언급한 것과 같이 IEC 61850 기반의 IED의 GOOSE 메시지는 변전소의 민감한 신호를 다루고 있기 때문에 변전자동화를 구축할 때에는 네트워크 토폴로지의 이중화와 함께 IED의 포트 이중화를 함께 고려하고 있다. 따라서 GOOSE의 통신 적합성시험으로는 이에 대한 검증의 한계가 있어 네트워크 이중화를 고려한 IED의 GOOSE 전송 성능을 시험하여 변전자동화시스템에 발생할 수 있는 문제점에 대한 분석을 수행해야 한다. IED의 이더넷 기반의 네트워크 포트 이중화 적용시 스위치 절체에 따른 GOOSE 전송 능력을 검증하기 위한 시험시스템 구성은 다음과 같다.

- 네트워크 토폴로지는 SAS에 일반적으로 적용되는 RuggedCom의 RSG2100 Switch 6대로 Hybrid(Ring-Star혼합) 구성 : 시험상황에 따라 Switch 2대 이상의 Ring 구조도 가능

- 대상 IED는 이더넷 포트 이중화 지원
- GOOSE 트래픽 분석은 상용 툴인 OmniPeek을 사용하여 GOOSE 송신 패킷을 IED 이더넷 port별 동시 분석
- GOOSE 패킷 손실은 별도의 GOOSE 전용 트래픽 분석기(KEMA UniCA analyzer)를 사용하여 stNum 확인을 통해 검증
- Switch#5에 IED channel #1(이더넷 Port#1)을 연결하고 Switch#6에 IED channel #2(이더넷 Port#2) 연결함
- Tap을 사용하여 각 IED port에서 스위치로 송신하는 GOOSE 패킷을 미러링 분석

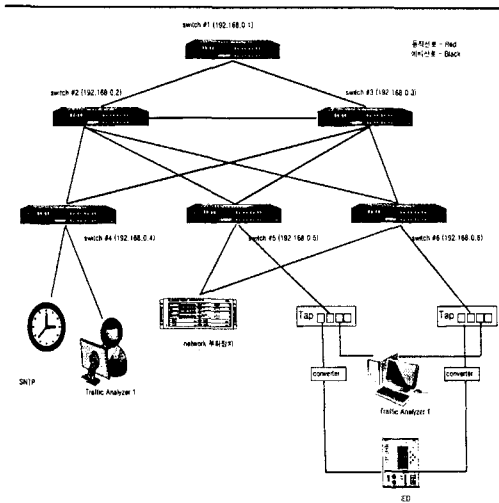


그림 3. 시험시스템 구성  
Fig. 3. Configuration of th test system

그림 3과 같이 GOOSE 트래픽 분석장치가 IED 스위치 절체 시 이더넷 네트워크의 특성으로 인해 연결이 해제되기 때문에 TAP과 분석장치 사이에 네트워크 허브를 통해 연결하여 IED 스위치 절체시 발생하는 GOOSE의 패킷 분석의 문제점을 해결하였다.

완성된 IED의 네트워크 포트의 스위치 절체시간을 정확히 측정하기가 불가능하기 때문에 IED의 GOOSE 이벤트가 발생하는 순간 GOOSE 간격이 수 ms로 최소화되는 점을 착안하여 IED 스위치 절체순간 IED에 GOOSE 이벤트가 발생하도록 시험을 진행한다.

네트워크 이중화를 고려한 IED GOOSE 전송 성능시험은 아래와 같은 순서로 진행한다.

- IED GOOSE 이벤트 발생 설정
- IED channel 1로 GOOSE 전송
- ※ 전송channel은 IED 제조사별로 다를 수 있음
- 시험자 IED channel 1에 연결된 Switch 포트 제거
  - 스위치 포트제거와 동시에 IED GOOSE 이벤트 발생
- IED 스위치 절체하여 channel 2로 GOOSE 전송
- Channel 2에서 channel 1로 GOOSE 전송되는 시간 측정
- GOOSE의 StNum을 확인하여 절체 시 패킷 손실 분석
- 위의 과정을 10회 반복

## 2.4 사례분석

2.3절에서 설명한 시험시스템 구성과 시험방법을 가지고 네트워크 포트 이중화를 지원하는 2개 제조사의 IED를 대상으로 성능시험을 수행하여 표 2와 같은 결과를 얻었다.

표 2. IED GOOSE 전송시험 결과  
Table 2. Result of IED GOOSE test

대상 IED		A사 IED	B사 IED
시험 종합	GOOSE 절체시간 ([sec])	최소 0.004223 최대 1.165412 평균 0.543085	1.286875 4.613915 2.68919
	GOOSE 패킷손실	최소 0 최대 0 평균 0	9 15 11.6
	이중화 적용가능성	적용가능	보완필요

표 2의 시험결과를 분석하게 되면 A사 IED의 경우 모든 시험에 걸쳐 GOOSE 손실이 없고 IED 이더넷 절체시간은 약 4[ms] 이내로 예상되기 때문에 네트워크 이중화를 고려한 변전자동화시스템에 적합하다고 생각된다. 이와 반대로 B사 IED의 경우 IED 이더넷 절체 시 평균 11.6개의 GOOSE 손실이 있고

IED 이더넷 절체시간은 약 2.2초 전후로 예상된다. IED가 GOOSE로 전송하는 신호의 전송시간이 4~100[ms]로 보장되어야하고 특히 차단기 트립신호의 전송을 고려하면 B사 IED 스위치 절체 시 2초 이상의 지연이 발생하기 때문에 네트워크 이중화를 고려한 변전자동화시스템에 적용하기 어렵다.

IED의 이더넷 포트의 스위치 절체 시간이 늦어지면 GOOSE 패킷이 손실되게 되는데 이는 GOOSE의 전송이 네트워크 이상이 발생하더라도 내부에 저장한 후에 다시 전송하는 방식이 아닌 멀티캐스팅 방식이기 때문이다. 따라서 트립과 인터록 등 변전소의 중요 신호를 전송하는 GOOSE의 이벤트 발생 순간 스위치 절체가 발생되면 그 만큼 동작시간이 지연되고 경우에 따라서는 IED가 보내는 GOOSE의 이벤트 정보를 수신하는 IED(IED의 특징에 따라 GOOSE 간격이 timeallowedtolive 속성보다 길거나 stNum=0인 값을 수신하지 못하면 이후 GOOSE는 무시함)가 무시할 수 있다. 이로 인해 변전소에 발생하는 사고의 파급을 가져올 수 있다. 본 논문에서는 시험사례의 분석을 통해 네트워크 이중화를 고려한 변전자동화시스템에 적용되는 IED는 이더넷 포트 절체로 인해 변전자동화의 동작에 어떤 영향을 미치는지는 안 되기 때문에 다음 2가지의 판정조건을 제한하고자 한다.

- ① 이더넷 포트 절체시 GOOSE 패킷 손실 : 0
  - 단 IED 스위치 절체 시간이 10[ms] 이내인 경우 손실된 GOOSE 패킷은 제외할 수 있음
- ② IED 스위치 절체 최소시간 : 10[ms] 이내
  - 10회 시험 중 1회 이상 10[ms] 이내 스위치 절체되어야 함

### 3. 결 론

IEC 61850 변전자동화 국제규격이 제정된 이후 전 세계적으로 변전자동화시스템 구축이 확대되어 가고 있고 국내에서도 변전자동화시스템에 대한 관심이 커져가고 있다. 변전자동화시스템은 기본적으로 디지털 네트워크 환경에서 운용되는 시스템이기 때문에 기존 제어케이블을 통한 변전시스템과 다른 성능분석을 요구하게 된다. 현재까지는 UCA에서 제

정된 IEC 61850 적합성 시험만을 변전자동화시스템에 적용되는 IED에 의무사항으로 되어있지만 이는 기능에만 국한하기 때문에 IED의 성능이 변전자동화에 어떤 영향을 미치는지에 대한 분석은 향후 필수적인 요소가 될 것으로 예상된다.

본 논문에서 제시하는 네트워크 이중화를 고려한 IED GOOSE 전송 성능분석 방법과 시험사례를 통한 분석을 통해 IED가 GOOSE 전송에 문제점이 발생할 수 있고 이는 변전자동화 운전에 나쁜 영향을 미칠 수 있기 때문에 변전자동화시스템 구축을 위해서는 IEC 61850 적합성 시험이외의 성능시험을 추가해야 한다고 생각한다. 현재 한전과 같은 전력회사에서는 본 연구의 내용을 참고로 하여 IEC 61850 제품 구매 규격서 작성 시 성능시험의 한 항목으로 고려하고 있으며 국내 IED를 대상으로 하는 본 연구의 성능검증을 통해 국내기술향상에도 큰 도움이 될 것으로 기대한다.

### References

- [1] “디지털 기술기반의 차세대 변전시스템 개발 1단계 보고서”, 한국전력공사, 2008.
- [2] Boris Bastigket, Thomas Schossig and Fred Steinhauser “Efficient Testing of Modern Protection IEDs”, Pac world winter, 2008.
- [3] IEC 61850-8-1,SCSM-Mapping to MMS, IEC, 2004.
- [4] IEC 61850-10, Conformance Testing, IEC, 2004.
- [5] Conformance Test Procedures for Server Devices with IEC 61850-8-1 interface Revision 2.0, UCA IUC.
- [6] FUNCTIONAL TESTING OF IEC 61850 BASED SYSTEMS, CIGRE Task Force B5.92, 2007.
- [7] Alex Apostolov, “We can not test 21st century IED with 20st century testing technology”, Pac world winter, 2008.

### ◇ 저자소개 ◇

#### 이남호 (李南鎬)

1973년 7월 26일생. 1998년 명지대 공대 전기공학과 졸업. 2001년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년 동대학원 전기공학과 박사과정 수료. 2004~2006년 LS산전(주) 전력연구소 주임연구원. 현재 한국전력공사 전력연구원 일반연구원.

#### 장병태 (張炳泰)

1964년 12월 23일생. 1990년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년~현재 한국전력공사 전력연구원 선임연구원.