

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2016.16.1.209>

IIBC 2016-1-28

# 네트워크 에뮬레이션을 이용한 GOOSE 트래픽 발생기

## GOOSE Traffic Generator Using Network Emulation

황성호\*

Sung-Ho Hwang\*

**요 약** IEC 61850은 변전소 자동화 시스템의 설계, 설치 및 유지하는 비용을 줄이는 프로토콜이다. IEC 61850에서 사용되는 GOOSE 트래픽은 변전소 제어, 보호, 자동화를 위해 중요한 역할을 담당한다. 본 논문에서는 네트워크 시뮬레이터인 NS-3에서 제공하는 프로토콜과 실제 통신장비에서 제공하는 프로토콜을 함께 사용하여, NS-3의 네트워크 에뮬레이션 기능을 이용한 GOOSE 트래픽 발생기를 구현하였다. 발생한 GOOSE 트래픽을 Wireshark으로 분석하였고, 정확히 발생됨을 확인하였다. 네트워크 토폴로지의 스위치 수에 따른 GOOSE 트래픽 지연 측정을 하였다. 본 논문에서의 GOOSE 트래픽 발생기는 실제 변전소 환경을 실험할 때 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

**Abstract** IEC 61850 is a protocol used to reduce the cost of design, installation and maintenance of the Substation Automation System. GOOSE traffic used in IEC 61850 plays an important role for control, protection and automation of the substation. This study implemented a GOOSE traffic generator using the emulation function of NS-3 network simulator, by using protocols provided by a network simulator and another protocols provided by real communication equipment. The generated GOOSE traffic was analyzed with Wireshark, and it was found that the traffic was generated exactly as expected. Besides, this study measured the GOOSE traffic delay due to the increase of the number of switches according to network topology. It is expected that the GOOSE traffic generator implemented by this study will be efficiently used when experiments are performed on actual substation environments.

**Key Words** : GOOSE, IEC 61850, Network Emulation

### 1. 서 론

IEC 61850은 변전소 자동화 시스템을 위한 통신 프로토콜로서, 시스템의 설치, 제어와 운영 등의 기능을 담당한다. IEC 61850에서의 GOOSE(Generic Object Oriented Substation)<sup>[1]</sup> 트래픽은 변전소 제어, 보호와 자동화를 위해 중요한 역할을 수행한다.

현재까지 GOOSE에 관한 연구는 실제 장비 실험과 순

수한 컴퓨터시뮬레이션 실험으로 각각 진행되어 왔다. 실제 장비만을 이용한 실험에서는 많은 비용과 공간이 필요하고, 순수한 컴퓨터시뮬레이션만을 수행할 경우에는 실제 실험 환경을 정확히 반영 하였는지에 대한 타당성 검증이 필요하다.

본 논문에서는 GOOSE 트래픽을 발생하기 위해, 실제 장비와 컴퓨터 시뮬레이션을 연동하여, 실제 장비에서 제공하는 프로토콜들과 컴퓨터시뮬레이션에서 제공하는

\*정희원, 강원대학교 전자정보통신공학부(교신저자)

접수일자: 2016년 1월 9일, 수정완료: 2016년 1월 30일

게재확정일자: 2016년 2월 5일

Received: 9 January, 2016 / Revised: 30 January, 2016 /

Accepted: 5 February, 2016

\*Corresponding Author: shhwang@kangwon.ac.kr

Division of Electronics, Communication & Information Engineering, Kangwon National University, Korea

프로토콜들을 함께 사용하는 방안을 제시한다.

IEC 61850 환경 하에서 다양한 프로토콜을 실험하기 위해, 네트워크 시뮬레이터 NS-3(Network Simulator-3)<sup>[2]</sup>에서 제공하거나 직접 개발한 프로토콜을 네트워크 장비 프로토콜과 함께 사용한다.

네트워크 시뮬레이터 NS-3에서 GOOSE 발생기를 프로그램 하여 개발하고, 에뮬레이션 기능을 이용하여 실제 네트워크 스위치와 연동하도록 한다. 그리고 발생한 GOOSE 트래픽을 Wireshark<sup>[3]</sup>을 이용하여 검증한다. 네트워크 토폴로지의 네트워크 스위치 증가에 따른 GOOSE 트래픽 지연을 측정한다.

## II. 관련 연구

IEC 61850은 OSI 모델 물리계층으로 이더넷(Ethernet)을 사용한다. 이더넷 스위치에서 우선순위 부여를 위해 IEEE 802.1p를 사용할 수 있다. 우선순위 레벨에 따라 이더넷 프레임(Ethernet Frame)들은 처리 순서를 달리 해 줄 수 있다. IEEE 802.1p를 사용하면, 우선순위가 높은 GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event) 트래픽들을 먼저 처리할 수 있다.<sup>[4][5]</sup>

IEEE 802.1Q에 정의된 VLAN(Virtual LAN) 기술을 사용하여 네트워크를 논리적으로 여러 VLAN으로 나누어 사용한다. 이는 똑같은 물리적 네트워크 케이블과 시설을 공유하여 사용하지만 논리적으로는 다른 LAN으로 동작시키는 것을 의미한다. 서로 다른 VLAN은 이더넷 프레임내의 태그헤더(Tag Header)를 이용하여 구분한다. 각 VLAN은 각자의 브로드캐스트 영역(Broadcast Domain) 가진다. 하나의 VLAN에 속한 프레임은 다른 VLAN으로 전달되지 않음을 의미한다. IEC 61850 네트워크에서, 각각의 VLAN에서 LAN 관리, MMS(Manufacturing Message Specification) 통신, GOOSE 트래픽과 샘플 값(Sampled Values)들을 사용한다. GOOSE 트래픽 만을 위해 특정한 VLAN 설정하는 것도 가능하다.

IEC 61850에서 트래픽 전달의 신뢰성을 위해 여분의 네트워크를 추가로 두는 경우, 루프(Loop) 발생을 방지하기 위해, IEEE 802.1w에서 정의된 RSTP(Rapid Spanning Tree Protocol)를 사용한다. 그리고 그룹 통신을 위해 IGMP(Internet Group Management Protocol)를

사용하고, 망관리를 위해 SNMP(Simplified Network Management Protocol)를 사용한다.

표 1. IEC 61850을 위한 네트워크 실험 도구 비교  
Table 1. Comparison of Network Experimental Tools for IEC 61850

Tool Protocol	Network Simulator-3	General L2 Switch	Industrial L3 Switch
GOOSE Traffic Generation	×	×	×
Ethernet IEEE 802.3	○	○	○
VLAN	×	○	○
IP Routing	○	×	○
STP (IEEE 802.1d)	×	○	○
RSTP	×	×	○
PRP	×	×	○
HSR	×	×	○
IEEE 802.1p	×	○	○
IEEE 802.1Q	×	○	○
IGMP	×	○	○
SNMP	×	○	○
IEEE 1588	×	×	○

IEC 61850 네트워크 실험을 위해서는 위와 같이 다양한 프로토콜들이 필요하다.<sup>[6]</sup> 표 1은 IEC 61850 네트워크 실험을 위해, 네트워크 시뮬레이터(Network Simulator)인 NS-3, 일반적인 레이어 2 스위치(General L2 Switch)와 IEC 61850을 위한 산업용 레이어 3 스위치(Industrial L3 Switch)에서 이용할 수 있는 프로토콜들을 정리하였다. 표 1에서의 도구들을 독립적으로 사용하면, 이용할 수 있는 프로토콜의 범위가 제한된다. NS-3, 일반적인 레이어 2 스위치와 산업용 레이어 3 스위치를 연동하여 프로토콜들을 함께 사용하면, IEC 61850 변전소에서의 다양한 프로토콜 이용한 실험을 수행할 수 있다.

표 1에서의 모든 도구들은 이더넷을 지원하지만, GOOSE 트래픽은 지원하지 않는다. NS-3 시뮬레이터에서는 제공하는 이더넷 프로토콜을 사용하고, GOOSE 트래픽 발생 프로그램은 직접 프로그램 하여 개발한다. 그리고 NS-3 에뮬레이션 기능을 이용하여 GOOSE 트래픽 발생을 실제 통신 장비들과 연동하도록 한다.

IEEE 802.1Q의 VLAN은 NS-3에서 제공하지 않지만, 네트워크 스위치에서는 VLAN 기능을 제공한다. 네트워크 스위치에서 제공하는 VLAN, 이더넷, IEEE 802.1Q와

STP 프로토콜들을 이용하여 실험한다.

GOOSE 프레임은 그림 1과 같다. “Source address”는 GOOSE 트래픽 발생기의 MAC 주소이고, “Destination address”는 GOOSE 트래픽을 수신할 멀티캐스트 (Multicast) 그룹의 주소이다. 멀티캐스트 MAC 주소는 01-0C-CD-01-00-00에서 01-0C-CD-01-01-FF 사이에 있어야 한다. 처음 3개의 옥텟(Octets) 01-0C-CD는 IEEE에서 할당을 하였고, 4번째 옥텟인 01은 GOOSE를 위해 할당되었다. 마지막 2 옥텟은 개별 주소로 할당되었다.

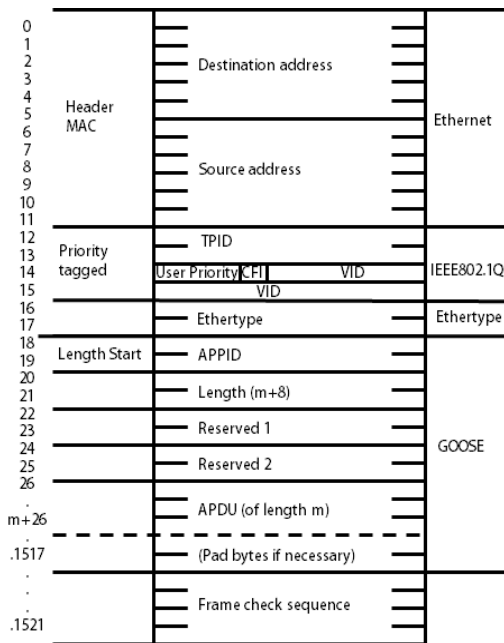


그림 1. GOOSE 이더넷 프레임  
 Fig. 1. GOOSE Ethernet Frame

IEEE 802.1Q는 VLAN을 정의하고, 같은 물리적 네트워크에 연결된 GOOSE 트래픽 발생기들 사이의 가상 네트워크를 생성한다. IEEE 802.1Q와 IEEE 802.1p 프로토콜을 위해 “TPID(Tag Protocol Identifier)”, “User Priority, CFI(Canonical Format Indicator)”와 “VID(VLAN Identifier)” 필드를 사용한다. “TPID” 필드는 16 비트이고, IEEE 802.1Q와 IEEE 802.1p 프로토콜을 나타내기 위해 0x8100 값을 가진다. “User Priority” 필드는 우선순위를 나타내고, 디폴트 우선순위는 4이다. “CFI”의 디폴트 값은 0이고, “VID”의 디폴트 값은 0이다.

“Ethertype”는 GOOSE 프레임을 나타내기 위해 0x88B8 값을 갖는다.

“APPID(Application Identifier)”는 Application을 식별하고, “APDU(Application Protocol Data Unit)”의 길이는 m 바이트이면, “Length” 필드 값은 m+8이다. 예약 필드는 “Reserved 1”과 “Reserved 2”가 있고, 디폴트 값은 0x0000이다.

- Tag 0: gocbRef (GOOSE Control Block Reference, type: visible-string)
- Tag 1: timeAllowedtoLive (type: integer)
- Tag 2: dataSet (Dataset, type: visible-string)
- Tag 3: goID (GOOSE Identifier, type: visible-string optional)
- Tag 4: t (time&quality, type: UtcTime)
- Tag 5: stNum (Status Number, type: integer)
- Tag 6: sqNum (Sequence Number, type: integer)
- Tag 7: test (type: Boolean default false)
- Tag 8: confRev (Configuration Revision, type: integer)
- Tag 9: ndsCom (needs Commission, type: Boolean value default false)
- Tag 10: numdatSetEntries (Number of Dataset Entries, type: integer)
- Tag 11: allData (sequence of data)
- Tag 12: security (any optional, reserved for digital signature)

그림 2. APDU 구조  
 Fig. 2. APDU Structure

GOOSE 프레임의 APDU 구조는 그림 2와 같다. “gocbRef”는 GOOSE 제어 블록 참조이고, “timeAllowedtoLive”는 다음 수신을 위해 기다리는 시간이고 단위는 ms이다. “datSet”은 데이터 세트(Data Set)의 이름을 나타내는 스트링이고, “goID”는 IED 송신 식별자이다. “t”는 “stNum”이 증가할 때의 타임스탬프 (Time Stamp)이고, “stNum”은 데이터 세트 변화에 따라 GOOSE 트래픽 발생할 때마다 증가시키는 상태에 관한 카운터이다. “sqNum”은 GOOSE 트래픽이 전송될 때마다 증가하는 순서번호 카운터이다. “test”는 테스트 인지를 나타내는 필드이고, “confRev”는 데이터 세트 구성의 변화할 때 증가하는 구성변경 카운터이다. “ndsCom”은 시운전이 필요한 지를 나타내고, “numdatSetEntries”는 데이터 세트 구성하는 항목의 수이다. “allData”는 사용자 정의 정보의 리스트를 포함하고, “security”는 선택사항이다.

### III. GOOSE 트래픽 발생 시나리오

본 논문에서 NS-3 네트워크 시뮬레이터의 예플레이션을 이용한 GOOSE 트래픽 발생기 구성도는 그림 3과 같다. 예플레이션을 수행하기 위해, “TAP Bridge”는 각

각 리눅스 “TAP Device”와 연결하기 위해 생성된다. 네트워크 시뮬레이터 NS-3에서는 “TAP Bridge”를 이용하여 “Linux OS Bridge”와 연결한다. “TAP Device”는 “Linux OS Bridge”에서 실제 네트워크 디바이스로 동작하므로, 실제 리눅스 응용과 프로토콜들이 NS-3 시뮬레이터내의 네트워크와 연결된다. 그리고 “Linux OS Bridge”는 논리적으로 “TAP Bridge”와 “NS-3 Net Device”를 포함한다. 따라서 “TAP Bridge”를 통해 실제 네트워크 장비와 NS-3 시뮬레이션 내의 디바이스들과 연동이 가능하다.

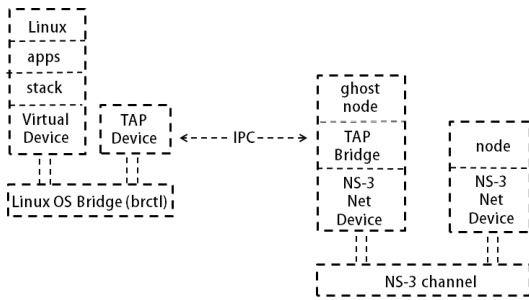


그림 3. GOOSE 트래픽 발생을 위한 NS-3 에뮬레이션 구성도  
Fig. 3. Block diagram of NS-3 emulation for GOOSE Traffic Generation

네트워크 시뮬레이터의 에뮬레이션 기능을 이용하여, 실제 스위치와 연동하여 GOOSE 트래픽 발생하는 실험을 수행한다. 이를 위해 그림 4와 같이 네트워크 에뮬레이션을 이용한 GOOSE 트래픽을 발생시키고자 한다.

NS-3 네트워크 시뮬레이터와 리눅스 브리지와 연결하기 위해 “TAP Device”들을 사용하였고, “TAP Device”를 통해 “Linux OS Bridge”를 거쳐 실제 통신장비로 GOOSE 트래픽들을 전달한다. 네트워크 스위치를 일렬로 배치하는 버스 토폴로지(Bus Topology)와 트래픽 손실을 방지하기 위해 이중으로 네트워크를 구성하는 이중 링크 토폴로지(Dual Link Topology)로 구성하였다. 트래픽 루프(Traffic Loop)를 방지하기 위해 STP (Spanning Tree Protocol)를 사용한다.

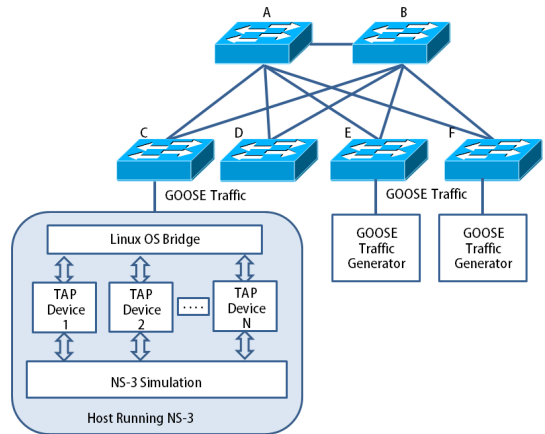


그림 4. 네트워크 에뮬레이션을 이용한 GOOSE 트래픽 발생  
Fig. 4. GOOSE Traffic Generation Using Network Emulation

#### IV. 실험 및 결과

NS-3 에뮬레이션을 이용한 GOOSE 트래픽 발생의 타당성을 입증하기 위해 그림 5와 같이 구성하였다. 발생된 GOOSE 트래픽들은 네트워크 스위치를 통해 네트워크 프로토콜 분석기인 Wireshark으로 전달된다.

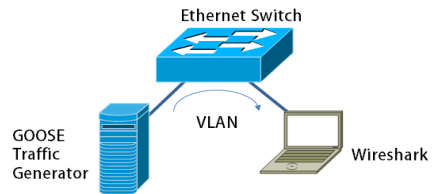


그림 5. GOOSE 트래픽 발생 테스트  
Fig. 5. GOOSE Traffic Generation Test

Wireshark을 이용하여 분석한 GOOSE 헤더 구조는 그림 6과 같다. 목적지 주소(Destination Address)는 GOOSE를 위한 멀티캐스트 주소로서 “01:0c:cd:01:00:01”이 할당되어 있다. APPID(Application Identifier)는 응용을 구분하기 위해 사용 되었으며, 예약 필드는 Reserved 1과 Reserved 2가 있고, 디폴트 값인 0x0000이다. “gocbRef”는 21바이트로 구성되었으며, “GOOSE\_TG/LLN0\$GOSEval”로 설정되었다. “timeAllowedtoLive”는 2바이트이고, “Logical Node 0”의 “datSet”은 26바이트이며,

```

> Frame 262: 128 bytes on wire (1024 bits), 128 bytes captured (1024 bits) on interface 0
> Ethernet II, Src: 00:00:00_00:00:01 (00:00:00:00:00:01), Dst: Iec-Tc57_01:00:01 (01:0c:cd:01:00:01)
  ▾ GOOSE
    APPID: 0x1007 (4103)
    Length: 114
    Reserved 1: 0x0000 (0)
    Reserved 2: 0x0000 (0)
    ▾ goosePdu
      gocbRef: GOOSE_TG/LLN0$G0$Eval
      timeAllowedtoLive: 300
      datSet: GOOSE_TG/LLN0$Eval_DataSet
      goID: GOOSE_1
      t: Jan 24, 2016 12:23:22.635540127 UTC
      stNum: 2
      sqNum: 4
      test: False
      confRev: 1
      ndsCom: False
      numDatSetEntries: 3
    > allData: 3 items
    
```

그림 6. GOOSE 헤더와 APDU  
 Fig. 6. GOOSE Header and APDU

“GOOSE\_TG/LLN0\$Eval\_DataSet”으로 설정하였다. “goID”는 7바이트로 구성하였고, “GOOSE\_1”로 구성하였다. 시간 “t”는 8바이트이다. “stNum”, “sqNum”, “test”, “confRef”, “ndsCom”, “numDatSetEntries”는 1바이트로 구성하였다. 사용자 정의 데이터인 “allData”는 3개의 항목으로 구성되었다.



그림 7. 실험실 하드웨어 구성  
 Fig. 7. The Hardware Configuration in the Lab.

그림 7은 실험실 하드웨어 구성을 보여준다. GOOSE 트래픽 발생기는 NS-3 시뮬레이터에서 개발하였고, 에뮬레이션을 통해 네트워크 스위치와 연동한다. NS-3에서는 제공되지 않는 프로토콜인 VLAN, 이더넷, IEEE 802.1Q와 STP 프로토콜은 네트워크 스위치를 이용하여 구축하였다. Wireshark을 통해 발생된 GOOSE 트래픽

들을 분석하였고, 지연을 측정하였다.

표 2. 실험 파라미터  
 Table 2. Experiment Parameters

Link	100Mbps
GOOSE Frame Size	128Bytes
Topology	Dual Link and Bus
Experiment Time	100s

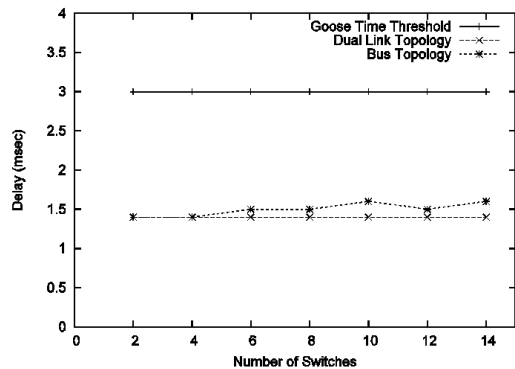


그림 8. 네트워크 스위치 수에 따른 지연  
 Fig. 8. Delay due to the increase of the number of Network Switches

VLAN 프로토콜은, 네트워크 스위치의 VLAN 프로토콜을 이용하였다. 그리고 네트워크 스위치 토폴로지 (Topology) 구성에 따른 GOOSE 트래픽의 지연을 측정

하기 위해 네트워크 스위치를 2개부터 14개까지 늘려가면서, 지연을 측정하였다. 실험 파라미터는 표 2와 같다.

네트워크 토폴로지는 이중 링크 토폴로지와 버스 토폴로지를 사용하였으며, 사용된 스위치 수에 따른 GOOSE 트래픽 지연은 그림 8과 같다.

GOOSE 트래픽에서 트립(Trip)과 같은 메시지는 빠른 전달이 필요하므로, IEC 61850-8-1에서는 지연을 3ms 이내로 제한하였다. 그림 8에서 스위치 수 변화에 따른 네트워크 지연은 이중 링크 토폴로지와 버스 토폴로지 모두 3ms 이하의 지연을 나타낸다.

## V. 결론

본 논문에서는 네트워크 에뮬레이션을 이용한 GOOSE 트래픽 발생 방안을 제시하였고, 제시한 방안의 타당성을 검증하기 위해 실험실 모델을 구성하여 타당성을 검증하였다.

NS-3에서 제공하는 이더넷 프로토콜을 사용하였고, GOOSE 트래픽 발생은 직접 프로그래밍하여 개발하였다. 네트워크 스위치에서는 이더넷, IEEE 802.1Q, V LAN과 STP 기능을 이용하여 시험하였다.

NS-3 에뮬레이션 기능을 이용하여 NS-3와 네트워크 스위치를 연동하였다. 발생한 GOOSE 트래픽은 Wireshark을 이용하여 분석하였다. 그리고 GOOSE 트래픽이 통과하는 네트워크 스위치 수에 따른 지연을 측정하였다.

본 논문에서 제안한 방식의 GOOSE 트래픽 발생기를 이용하여, IEC 61850을 이용한 변전소 환경 하에서 다양한 프로토콜을 변화하면서 실험을 할 수 있다.

## References

[1] IEC 61850-8-1; Communication networks and systems in substations - Specific Communication Service Mapping (SCSM) Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3, International Electrotechnical Commission (IEC), 2003.

[2] NS-3 Open-Source Network Simulator, version 3.23. [Online]. Available: <http://www.nsnam.org>. [Accessed: October. 15, 2015].

[3] Wireshark Network Protocol Analyzer, version 2.0.1 [Online]. Available: <http://www.wireshark.org>. [Accessed: Dec. 15, 2015].

[4] Kee-Min Kim, et al 4, "Wireless Sensor Network based Remote Power Monitoring System for Anti Islanding application in Smart-Grid", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (JIIBC), vol. 10, no. 4, pp. 57-62, 2010. 8.

[5] Sunny Ro, et al 4, "Development of a Smart Grid Monitoring System with Anti-Islanding Function for Electric Vehicle Charging", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (JIIBC), vol. 12, no. 5, pp. 31-37, 2012. 10. DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.5.31>

[6] Sami S. et al 3, "Performance analysis of Centralized, Distributed and Hybrid Demand Load Control architecture for Smart power Grid" Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society (JKAIS), Smart Computing Review, vol. 2, no. 5, pp. 370-378, 2012. 10. DOI: <http://dx.doi.org/10.6029/smarterc.2012.05.007>

## 저자 소개

### 황 성 호(정회원)



- 1991년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 공학사
- 1993년 2월 : 성균관대학교 대학원 전자공학과 공학석사
- 1996년 8월 : 성균관대학교 대학원 전자공학과 공학박사
- 1997년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 공대학 전자정보통신공학부 정보통신공학전공 교수  
<주관심분야> 컴퓨터 네트워크, 스마트 그리드, WSN

※ 2014년도 강원대학교 학술연구조성비로 연구하였음(관리번호-220140075)  
(This study was supported by 2014 Research Grant from Kangwon National University(No. 220140075))