

<https://doi.org/10.7236/IIIBC.2018.18.6.157>

IIIBC 2018-6-21

# 라즈베리파이 전류와 전압 센서를 이용한 IEC 61850 샘플 값 전송

## Transmission for IEC 61850 Sampled Values Using Current and Voltage Sensors of Raspberry Pi

황성호\*

Sung-Ho Hwang\*

**요약** 본 논문에서는 전류와 전압 값을 측정하기 위해 센서와 라즈베리파이를 사용하고, 측정된 샘플 값들을 IEC 61850-9-2 프레임에 실어서 네트워크로 전송한다. IEC 61850-9-2 프레임에 이용한 샘플 값 전송을 위해 실험실 모델을 구성하였다. IEC 61850-9-2 프레임 발생의 정확한 검증을 위해, 와이어샤크를 이용하여 프로토콜 분석을 수행하였다. 수신한 전류와 전압 샘플 값들을 그래프로 모니터 상에 출력하여 시각 분석을 수행하였다. 그리고 네트워크 장비를 거쳐서 송수신된 IEC 61850-9-2 샘플 값들이, IEC 61850 메시지 유형의 성능 요구사항을 만족하는지를 검증하였다.

**Abstract** This study uses sensors and Raspberry Pi to measure the values of current and voltage and transmits the measured sampled values to a network, carrying them in the frame of IEC 61850-9-2. A laboratory model was composed to send the sampled values, using the frame of IEC 61850-9-2. This study conducted a protocol analysis, using Wireshark for the accurate verification of the occurrence of the frame of IEC 61850-9-2. A visual analysis was conducted by displaying the received sampled values of current and voltage on the monitor in graphs. In addition, this study tested if the sampled values of IEC 61850-9-2 sent and received through the network equipment would meet the performance requirements of the message types of IEC 61850.

**Key Words** : IEC 61850, SV(Sampled Values), Raspberry Pi

### 1. 서론

IEC 61850은 변전소 자동화 시스템을 위한 통신 프로토콜로서, 시스템 설치, 제어와 운영의 기능을 담당한다. 그렇지만 IEC 61850은 복잡하고 비싼 프로토콜이다. IEC 61850을 위해 설치가 용이하고 비용이 저렴한 장비를 사용하여 시스템을 구축하면, 알고리즘, 응용과 프로토타입을 개발하는데 많은 도움이 된다.

본 논문에서는 저렴하고, 융통성 있고, 오픈 소스 플랫폼인 라즈베리파이를 사용한다. 본 연구의 목적은 라즈베리파이를 이용하여 전류와 전압 샘플 값을 측정하고, 샘플 값들을 IEC 61850-9-2 이더넷 프레임 형태로 전송하는 것이다.

IEC 61850-9-2 프레임이 정확히 전송되었는지 확인하기 위해 와이어샤크(Wireshark)를 사용하여 확인한다. 수신된 전류와 전압 샘플 값을 시각 분석 툴인 SVScout

\*정회원, 강원대학교 전자정보통신공학부

접수일자: 2018년 10월 14일, 수정완료: 2018년 11월 14일

게재확정일자: 2018년 12월 7일

Received: 14 October, 2018 / Revised: 14 November, 2018 /

Accepted: 7 December, 2018

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

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

를 통해 확인한다. 그리고 성능 분석을 통해 발생된 IEC 61850-9-2 프레임 발생이 IEC 61850 메시지 유형에 따른 성능 요구사항을 만족함을 확인하기 위해 성능 분석을 수행한다.

## II. 관련 연구

IEC 61850-9-2의 프레임 구성은 그림 1과 같다.<sup>[1]</sup>

MAC에는 출발지 MAC 주소와 목적지 MAC 주소가 있고, IEEE 802.1Q를 사용하므로 TPID 값은 0x8100으로 설정한다. 본 논문에서는 VLAN은 1을 사용하므로 TCI 값은 0x0180으로 설정한다. Ethertype은 IEEE 61850-9-2 샘플 값을 나타내므로 0x88BA로 설정한다. APPID는 응용 식별자로서 디폴트 값인 0x4000로 설정한다.

ASN.1(Abstract Syntax Notation One) 기본 인코딩 법칙에 따라, APDU(Application Protocol Data Unit)는 “태그(Tag)+길이(Length)+값(Value)”의 패턴으로 부호화된다. 보통 ASN.1 태그와 길이는 각각 1바이트씩 취하고, 값은 여러 바이트로 표현될 수 있다.

SavPDU는 APDU 시작점이고, noASDU는 ASDU 번호를 나타낸다.

SvID는 태그 값이 16진수로 0x80이고, 길이는 10바이트부터 34바이트까지 사용할 수 있다. 본 논문에서는 0x0a 길이를 사용하고, 값은 “SV\_TGEN\_1”을 사용하였다.

하나의 APDU에서는 여러 개의 ASDU (Application Service Data Unit)을 포함할 수 있다. ASDU는 측정된 값을 Data Set 필드에 저장한다. 본 논문에서는 Data Set 필드에 측정된 전류와 전압 값들을 넣는다.

일반적인 IEC 61850 메시지 유형에 따른 성능 요구사항은 표 1과 같다.<sup>[2][3]</sup> 서로 다른 메시지 유형과 지연에 따른 성능 클래스(Performance Class)를 정리하였다. IEC 61850 메시지들은 성능 클래스를 P1부터 P12까지 분류하였다. 샘플 값 전송에 요구되는 성능 클래스는 P7과 P8이다. P7은 샘플 값들을 이용하여 보호 기능(Protection Function)을 위해 수용 가능한 지연을 의미하고, P8은 샘플 값들을 이용하여 다른 기능을 위해 수용 가능한 지연의 요구사항을 의미한다. 본 논문에서는 보호기능을 위한 P7 요구사항인 3ms 기준으로 정한다.

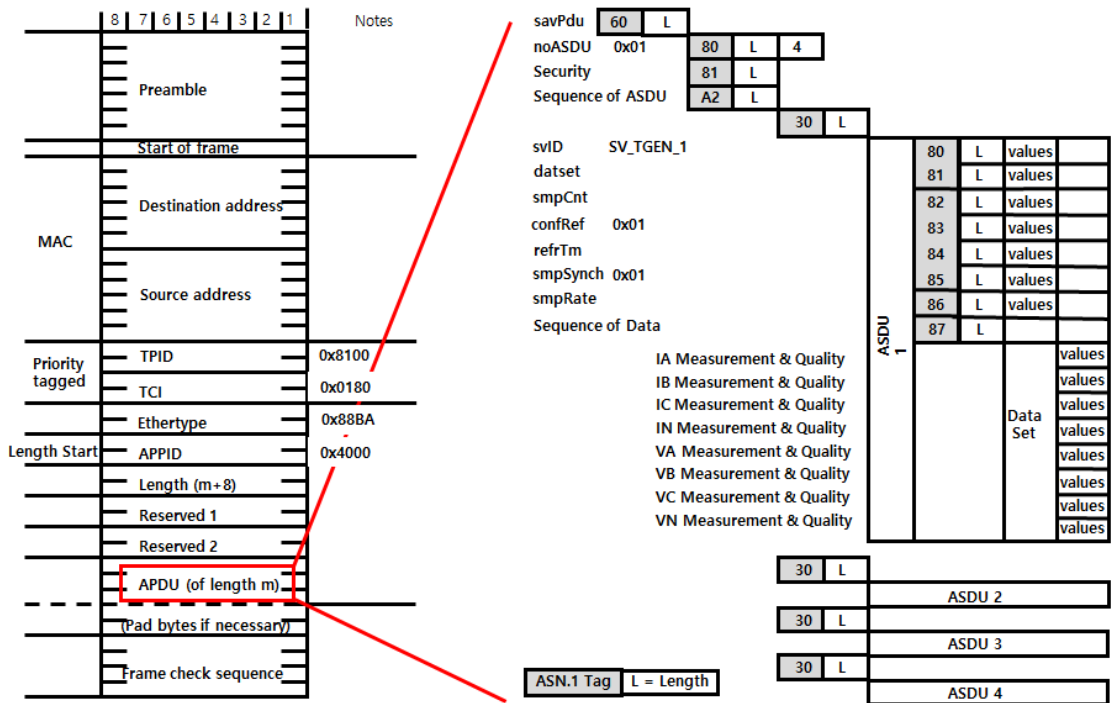


그림 1. IEC 61850 SV 프레임 분석  
Fig. 1. Dissection of IEC 61850 SV frame

표 1. IEC 61850 메시지 유형의 성능 요구사항  
 Table 1. Performance Requirements of IEC 61850 Message Types

Message Type		Performance Class	Transfer Time (ms)
Type 1-Fast Message	A "Trip"	P1	≤3
	B "Others"	P2	≤10
Type 2-Medium Speed Messages (Automatics)		P3	≤20
Type 3-Low Speed Messages (Operator)		P4	≤100
		P5	≤500
Type 4-Raw Data Messages (Samples)		P6	≤1000
		P7	≤3
Type 5-File Transfer Functions		P8	≤10
		P9	≤10000
Type 6-Command Messages and File Transfer with Access Control		P10	≤500
		P11	≤1000
		P12	≤10000

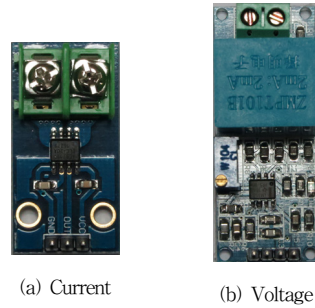


그림 3. 전류센서와 전압센서  
 Fig. 3. Current Sensor and Voltage Sensor

라즈베리파이로부터 발생하는 IEC 61850-9-2 프레임 을 전송하기 위한 통신 네트워크 장비는, 그림 4와 같이 시스코사의 카탈리스트(Catalyst) 장비를 사용한다. 카탈리스트 2950은 100Mbps 전송실험을 위해 사용하였고, 카탈리스트 3650은 1Gbps 전송실험을 위해 사용하였다.

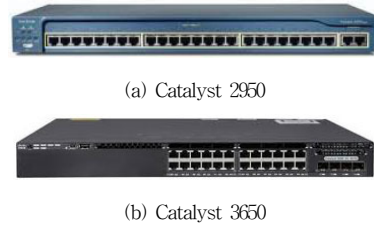


그림 4. 네트워크 스위치  
 Fig. 4. Network Switch

### III. 시나리오

전류와 전압 값을 측정하고, 측정된 샘플 값을 IEC 61850-9-2 이더넷 프레임으로 전송하기 위한 시나리오는 그림 2와 같다.

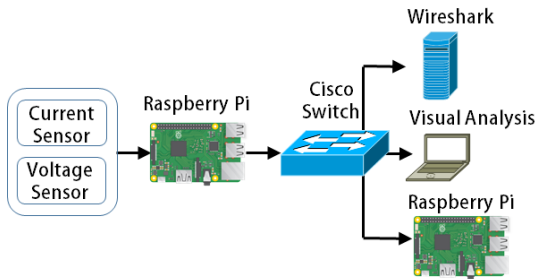


그림 2. 샘플 값 전송 시나리오  
 Fig. 2. Sampled Values Transfer Scenario

전류와 전압 센서는 그림 3과 같다. 전류 측정을 위해 ACS 712(Allegro Microsystems, Worcester, MA, USA) 칩을 사용한 전류 센서 유닛을 사용하였다. 전압 센서는 ZMPT101B(Interplus Industry Co. Ltd., Shenzhen, China)를 사용하였다.

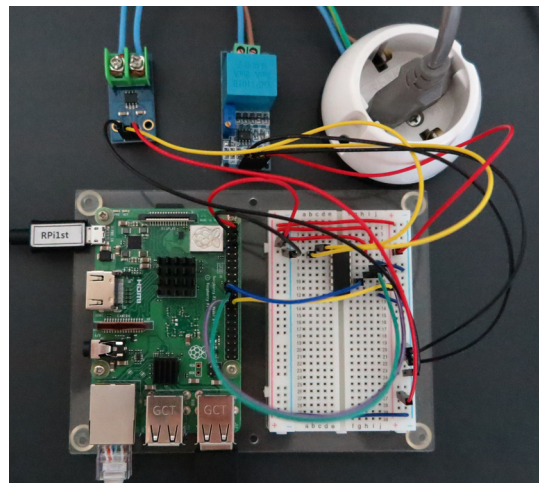


그림 5. 전류센서, 전압센서와 라즈베리파이  
 Fig. 5. Raspberry Pi with Current and Voltage sensors

라즈베리파이에서 발생된 IEC 61850-9-2 이더넷 프레임의 검증을 위해 와이어샤크(Wireshark)를 사용한다.<sup>[4][5]</sup> 그리고 측정된 전류와 전압 값을 시각적 분석(Visual Analysis)하기 위해 SVScout를 사용하여 실시간 그래프를 출력한다.<sup>[6]</sup> 마지막으로 라즈베리파이를 사용하여 발생된 IEC 61850-9-2 이더넷 프레임들의 지연을 측정한다.

전류와 전압 센서들과 라즈베리파이로 구성된 시스템은 그림 5와 같다.

#### IV. 실험 및 결과

그림 6과 같이 실험실 하드웨어를 구성하였다. 전류와 전압 센서로부터 측정된 샘플 값은 IEC 61850-9-2 프레임으로 전송하기 위한 라즈베리파이 1대, IEC 61850-9-2 프레임을 수신하기 위한 라즈베리파이 1대를 사용하였다. 라즈베리파이 간의 정확한 시간 동기화를 위해, IEEE 1588 PTP(Precision Time Protocol)를 위한 라즈베리파이 1대를 사용한다. 라즈베리파이 3B는 100Mbps 속도로 전송할 수 있고, 라즈베리파이 3B+는 1Gbps 속도로 전송할 수 있다.

따라서 100Mbps 전송을 위해 라즈베리파이 3B를 3대, 1Gbps 전송을 위해 라즈베리파이 3B+를 3대 사용하여, 총 6대의 라즈베리파이를 사용하였다. 전류와 전압 센서들로부터 초당 480번 샘플링할 때마다, 샘플 값들을 IEC 61850-9-2 프레임으로 전송한다.

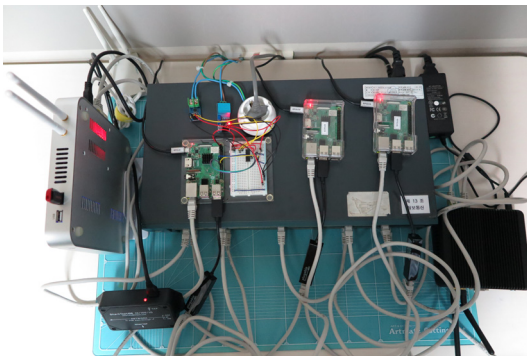


그림 6. 하드웨어 시스템  
Fig. 6. Hardware System

네트워크 스위치는, 100Mbps 전송과 IEEE 1588 PTP 시간 동기화를 위해 시스코사의 카타리스트 2950 스위치 2대를 사용하였다. 1Gbps 전송과 IEEE 1588 PTP 시간 동기화를 위해 카타리스트 3650 스위치 2대를 사용하였다. 와이어샤크로 IEC 61850-9-2 프레임 분석을 위해 미니 PC 1대를 사용하였다. SVScout를 이용한 시각분석(Visual Analysis)을 위해 미니 PC 1대를 사용하여, 총 2대의 미니 PC를 사용하였다.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length
39893	43.721350	Raspberr_9b:18:94	Iec-Tc57_04:00:00	IEC61850 Sampled Values	126
39894	43.722442	Raspberr_9b:18:94	Iec-Tc57_04:00:00	IEC61850 Sampled Values	126
39895	43.723525	Raspberr_9b:18:94	Iec-Tc57_04:00:00	IEC61850 Sampled Values	126
39896	43.724655	Raspberr_9b:18:94	Iec-Tc57_04:00:00	IEC61850 Sampled Values	126
39897	43.725749	Raspberr_9b:18:94	Iec-Tc57_04:00:00	IEC61850 Sampled Values	126
39898	43.726819	Raspberr_9b:18:94	Iec-Tc57_04:00:00	IEC61850 Sampled Values	126
39899	43.727900	Raspberr_9b:18:94	Iec-Tc57_04:00:00	IEC61850 Sampled Values	126

```

<
>
Frame 39900: 126 bytes on wire (1008 bits), 126 bytes captured (1008 bits) on interface
Ethernet II, Src: Raspberr_9b:18:94 (b8:27:eb:9b:18:94), Dst: Iec-Tc57_04:00:00 (01:0c:cd:04:00:00)
  Destination: Iec-Tc57_04:00:00 (01:0c:cd:04:00:00)
  Source: Raspberr_9b:18:94 (b8:27:eb:9b:18:94)
  Type: 802.1Q Virtual LAN (0x8100)
  802.1Q Virtual LAN, PRI: 4, DEI: 0, ID: 1
    100 ..... = Priority: Video, < 100ms latency and jitter (4)
    ...0 ..... = DEI: Ineligible
    ..0000 0000 0001 = ID: 1
    Type: IEC 61850/SV (Sampled Value Transmission (0x88ba))
  IEC61850 Sampled Values
    APPID: 0x4000
    Length: 108
    Reserved 1: 0x8000 (32768)
    Reserved 2: 0x0000 (0)
  > savPdu
<
0000 01 0c cd 04 00 00 b8 27 eb 9b 18 94 81 00 01 .....
0010 88 ba 40 00 00 6c 80 00 00 00 62 80 01 01 a2 .....
0020 5d 30 5b 80 0a 53 56 5f 54 47 45 4e 5f 31 00 82 ]0[ - SV_TGEN_
0030 02 61 e4 e3 04 00 00 00 01 05 01 01 87 40 ff ff @.....
0040 f8 fc 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 .....
0050 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 .....
0060 15 f7 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 .....
0070 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 .....
  
```

그림 7. 샘플 값 캡처 출력  
Fig. 7. Sampled Values Capture Output

그림 7은 IEC 61850-9-2 프레임의 샘플 값들을 분석한 결과를 보여준다. IEEE 802.1Q의 VLAN(Virtual LAN) 값은 1을 사용하였다. 샘플 값들의 멀티캐스트 어드레스(Multicast Address)는 01-0C-CD-04-00-00부터 01-0C-CD-04-01-FF까지 사용하는데, 본 논문에서 SV의 multicast address는 01-0C-CD-04-00-00(Iec-Tc57\_04:00:00)을 사용하였다. Ethernet Type은 0x88BA이고, 응용 식별자 APPID의 유형은 0x01을 사용한다. APPID 값은 0x4000부터 0x7FFF까지 사용할 수 있는데, APPID 값을 0x4000을 사용하였다.

소프트웨어 SVScout를 사용한 시각 분석은 그림 8과 같다. 수신측에서 초당 480번 샘플링 한 전류와 전압 값을 그래프로 표시하였다.

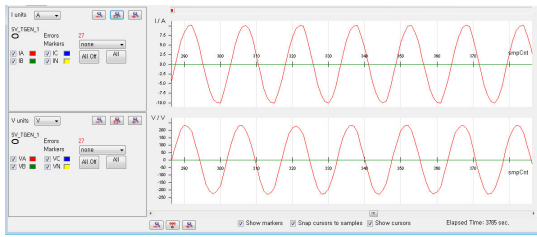


그림 8. 전류와 전압의 시각 분석  
 Fig. 8. Visual Analysis of Current and Voltage

사용된 라즈베리파이 모델은 라즈베리파이 3B 모델과 라즈베리파이 3B+ 모델 두 개를 사용하였다. 네트워크 구성은, 네트워크 장비를 사용하여 송수신하는 방식과 네트워크 장비 없이 직접 라즈베리파이 간에 송수신하는 다이렉트(Direct) 방식으로 나눈다. 사용한 네트워크 장비는 100Mbps로 동작하는 카타리스트 2950 장비와 1Gbps로 동작하는 카타리스트 3650 장비를 사용하였다.

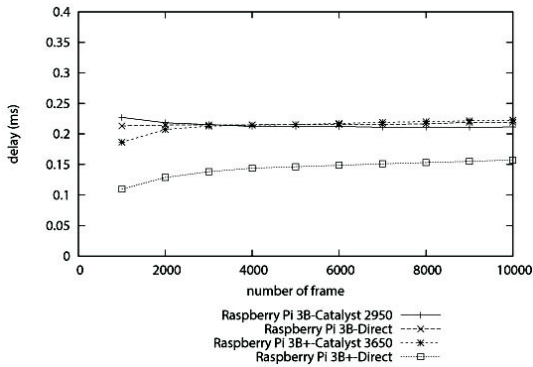


그림 9. 샘플 값 평균 전송 지연  
 Fig. 9. Sampled Values Mean Transfer Delay

프레임 10,000개 전송하여 평균 전송 지연의 측정 결과는 그림 9와 같다. 실험결과 전송된 10,000개의 IEC 61850-9-2 프레임들을 100% 송수신하였다.

카타리스트 2950과 카타리스트 3650 사용에 따른 평균 지연(delay) 차이가 거의 없다. 라즈베리파이 3B 모델의 다이렉트 방식의 평균 지연은 카타리스트 2950과 카타리스트 3650을 이용한 방식과 거의 비슷하게 0.22 ms의 전송 지연을 나타낸다. 라즈베리파이 3B+ 모델을 사용한 다이렉트 방식은 다른 방식에 비해 30% 정도 지연이 적었다. 샘플 값들의 평균 전송 지연은 모두 3 msec 이하이다.

프레임을 10,000개 전송하여 최대 전송 지연의 측정 결과는 표 2와 같다. 라즈베리파이 3B로, 100Mbps 스위치 카타리스트 2950을 사용한 최대 지연과 다이렉트로 연결한 최대 전송 지연은 모두 기준 값인 3 msec를 넘어선다. 최대 전송 지연의 발생은 카타리스트 2950 장비의 네트워크 관리 트래픽과 라즈베리파이의 IEC 61850-9-2 프레임 이외에 다른 트래픽 발생에 기인한 것으로 판단된다.

표 2. 샘플 값 최대 전송 지연

Table 2. Sampled Values Maximum Transfer Delay with 1Gbps

Raspberry Pi Model	Network Equipment	Network Speed	Maximum Delay
Raspberry Pi 3B (RPi3B)	Catalyst 2950	100Mbps	5.37msec
	Direct	100Mbps	5.74msec
Raspberry Pi 3B+ (RPi3B+)	Catalyst 3650	1Gbps	2.05msec
	Direct	1Gbps	2.56msec

라즈베리파이 3B+로 1Gbps로 동작하는, 카타리스트 3650스위치와 다이렉트 방식의 최대 전송 지연은 모두 기준값 3 msec이하로 나타난다.

따라서 1Gbps로 동작하는 라즈베리파이 3B+가 평균 전송 지연과 최대 전송 지연 모두 기준 값인 3 msec를 만족한다.

## V. 결론

본 논문에서는 라즈베리파이, 전류센서와 전압센서를 이용하여 측정된 샘플 값들을 IEC 61850-9-2 프레임을 사용하여 전송을 하였다. 실험실 모델에서 라즈베리파이를 통해 발생시킨 트래픽들을 와이어샤크를 이용하여 정확하게 발생함을 확인하였다. 그리고 수신한 IEC 61850-9-2 샘플 값들의 파형을 시각 분석 통해 확인할 수 있었다. 라즈베리파이로부터 발생시키는 샘플 값들의 지연을 측정을 해보니, 모두 3 msec 보다 훨씬 적은 평균 0.22 ms 지연으로 발생함을 확인할 수 있었다. 최대 지연은 라즈베리파이 3B+를 사용하여 1Gbps로 동작하였을 경우 3msec 기준값을 만족함을 확인할 수 있었다.

따라서 라즈베리파이 3B+를 이용한 IEC 61850-9-2



샘플 값 발생하였을 경우에, 평균 지연과 최대 지연 모두 IEC 61850의 성능 요구사항을 만족함을 확인하였다.

향후 연구로는 네트워크 스위치의 관리 트래픽들이 IEC 61850-9-2 프레임 전송에 미치는 영향을 구체적으로 연구할 계획이다.

## References

- [1] IEC 61850-9-2, Communication networks and systems for power utility automation, Part 9-1: Specific Communication Service Mapping (SCSM) - Sampled values over ISO/IEC 8802-3, 2009.
- [2] IEC 61850-5, Communication networks and systems for power utility automation, Part 5: Communication requirements for functions and device models, 2013.
- [3] IEC 61850-8-1, Communication networks and systems for power utility automation, Part 8-1: Specific Communication Service Mapping (SCSM) - Mapping to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3, 2011.
- [4] Sung-Ho Hwang, "GOOSE Traffic Generator Using Network Emulation", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC), Vol. 16, No. 1, pp.209-214, 2016. 2.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2016.16.1.209>
- [5] Sung-Ho Hwang, "Improved Unslotted IEEE 802.15.4 Algorithm for HAN in Smart Grids", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 15, No. 3, pp.1711-1717, 2014. 3.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.3.1711>
- [6] SVScout-Software Tool for Visualizing IEC 61850 Sampled Vaules, Available:  
<https://www.omiconenergy.com/en/solutions/software-tool-for-visualizing-iec-61850-sampled-values-114/> [Accessed: Dec. 11, 2018].

## 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

공학대학 전자정보통신공학부 정보통신공학전공 교수  
<주관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 스마트 그리드, WSN>

※ 2017년도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비로 연구하였음(관리번호-620170048)  
(This study was supported by 2017 Research Grant from Kangwon National University(No. 620170048))