

스마트 그리드 기반 통합 SCADA Data Gateway 플랫폼

The Integrated SCADA Data Gateway Platform based on SmartGrid

송 병 권*

Byung-Kwen Song*

Abstract

OPC UA(IEC62541) is a communication protocol for SG(Smart Grid) application platform. It was standardized by IEC TC57 group in December 2012. The IEC61850 has been used in Digital Substation Systems and Smart Distributed Systems. The DNP3.0 has been used for device's data collection/control in Distributed Systems. The DLMS/COSEM has been used to control metering and collect information in the Smart Metering. The top-level SG management platform needs an independent middleware to manage transparently the Power Information Technology, including the IEC61850, DNP3.0, DLMS/COSEM. In this paper, we propose the SDG(Scada Data Gateway) platform. It manages Power Information Technology based Digital Substation Systems and Smart Distributed systems, Smart Metering through OPC UA.

요 약

OPC UA(IEC62541)는 SG(Smart Grid) 응용 플랫폼 간에 연계 프로토콜로서, 2012년 12월에 IEC TC57 그룹에서 IEC62541로 표준화되었다. IEC61850은 디지털 변전소 및 스마트 배전 시스템에서 사용되는 SCADA 표준 프로토콜이고, DNP3.0은 RTU나 IED와 같은 장비에 대해 데이터 수집·제어를 위한 프로토콜로서 기존 배전 자동화 시스템에서 사용되고 있다. DLMS/COSEM은 전기 계량기를 제어하고 정보를 수집하기 위한 프로토콜로서 스마트 계량기에서 사용되고 있다. 최상위 SG 운영 플랫폼에서 IEC61850 이나 DNP3.0을 비롯한 다양한 전력 IT 시스템들을 투명하게(Transparent) 관리하기 위해서는 프로토콜에 독립적인 미들웨어가 필요하다. 본 논문은 IEC61850, DNP3.0, DLMS/COSEM 기반의 디지털변전소, 스마트 배전시스템 및 기존 배전 자동화 시스템을 단일 OPC UA 클라이언트로 통합 관리하기 위한 SDG(Scada Data Gateway) 플랫폼에 관한 것이다. 이 게이트웨이는 OPC UA를 통해서 스마트미터, 디지털변전소 및 스마트배전 시스템을 관리한다.

Key words : Smart Grid, OPC UA, IEC61850, DLMS/COSEM, DNP3.0

* Dept. of Electronics Engineering, Seokyeong University
bkson@skuniv.ac.kr, 02-940-7739

※ Acknowledgment

"This research was supported by the research grant of Seokyeong University(2013) and the Energy Technology Development Project through Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) funded Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE) (No. : 20131020402080)."

Manuscript received Mar. 3, 2014; revised Mar. 18, 2014 ; accepted Mar. 18, 2014

1. 서론

SG 시스템을 통합하기 위해 IEC에서 많은 표준화 연구가 수행되어왔다. OPC Unified Architecture (IEC62541)는 2012년 12월에 IEC TC57 그룹에서 IEC62541로 표준화하였다. 기존 SG 응용 플랫폼이나 현재 개발되고 있는 모든 SG 시스템들은 OPC UA를 이용하여 서로 정보 교환을 해야 한다. 하지만 OPC UA를 이용하여 SG 시스템을 통합 관리하기 위해서는 전력IT 프로토콜의 데이터 구조와 OPC UA의 정

보 모델을 연계할 필요가 있다.

전력IT의 주요 프로토콜을 IEC61850, DNP3.0, DLMS/COSEM을 포함한다. IEC61850은 SAS (Substation Automation Systems)의 통신과 서비스 모델을 표준화한 프로토콜로서, 디지털 변전소나 스마트 배전시스템에서 사용한다. DNP3.0은 RTU나 IED와 같은 장비에 대해 데이터 수집·제어를 위한 프로토콜로서 기존 배전자동화 시스템에 널리 사용되고 있고 있다. DLMS/COSEM은 전기 계량기를 제어하고 정보를 수집하기 위한 프로토콜로서 스마트 계량기에서 사용되고 있다. 최상위 SG 운영 시스템이 IEC61850, DNP3.0, DLMS/COSEM과 같은 전력IT 프로토콜을 사용하는 시스템들을 투명하게 (Transparent) 관리하기 위해서는 프로토콜에 독립적인 미들웨어가 필요하다. OPC UA와 같은 표준 미들웨어는 IEC61850, DNP3.0, DLMS/COSEM과 같은 다양한 종류의 SCADA 프로토콜을 통합 관리해야 한다. 따라서, 최상위 SG 운영 시스템은 OPC UA 프로토콜을 다양한 종류의 SCADA 프로토콜로 변환하거나 역변환하는 프로토콜 컨버터가 필요하다.

본 논문은 OPC UA 미들웨어를 이용하여 IEC61850, DNP3.0, DLMS/COSEM을 사용하는 전력 IT 시스템들을 통합 관리하기 위한 SDG(Scada Data Gateway) 플랫폼에 관한 것이다[1][2][4].

SDG의 OPC UA는 UA(Unified Automation)사에서 제공하는 모델링 툴과 C++ 기반 SDK(System Development Kit)를 사용하였고, IEC61850 클라이언트 모듈은 SISOCO사의 MMS-EASE lite를 사용하였고, DNP3.0 마스터 모듈은 Triangle Microworks사에서 제공하는 SCL(Source Code Library)을 이용하였다. DLMS/COSEM은 Kalkitec사에서 제공하는 SCL(Source Code Library)를 이용하였다. SDG H/W 플랫폼은 임베디드 리눅스 기반 TILERA사의 Tilepro64 Many-core를 사용하였다.

II. 관련 연구

1. OPC UA

OPC UA(IEC62541)는 2012년 12월 IEC TC57 그룹에서 OPC UA를 IEC62541로 표준화되었다. 초기 OPC는 Classic OPC (OPC DA, OPC AC, OPC HDA, OPC XML-DA)으로 분류되었다. OPC UA는 Classic OPC 표준들의 기능을 통합하고 SOA(Service Oriented Architecture) 기술을 추가하였다.

그림 1은 통합된 OPC UA 정보 모델(Information Model)들을 나타낸다. OPC UA는 Classic OPC, 다른

단체에서 정의한 정보 모델, 벤더에서 정의한 데이터 등 모두를 OPC 정보 모델로 표현이 가능하다. 그리고 OPC UA에서 제공하는 OPC UA AddressSpace라고 불리는 메타(Meta) 모델은 오브젝트 타입(ObjectType)을 기반으로 일반적인 정보 모델과 함께 정의 된다. OPC UA는 다음과 같은 원칙으로 모델링

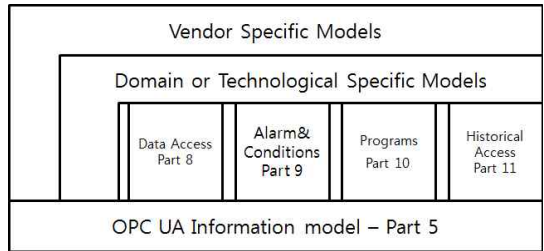


Fig 1. OPC UA base information model

그림 1. OPC UA 기본 정보 모델

된다. i) OPC UA 모델링은 정보의 계층화(Laying)와 상속(Inheritance) 등 오브젝트 기반 기술을 사용한다. ii) 타입 정보는 인스턴스화(instantiation)하여 접근할 수 있다. iii) 다양한 기계에서 사용하는 데이터를 제공하기 위해 정보 모델 방법에 제한을 두지 않는다. iv) 항상 서버 측에서 수행된다. OPC UA는 복잡한 정보 모델뿐만 아니라 단순한 정보 모델도 제공할 수 있다. OPC UA의 모델링 개념은 노드(Node)로 표현한다. 각 노드들은 id와 name 같은 속성들을 포함하고 있다.[1]

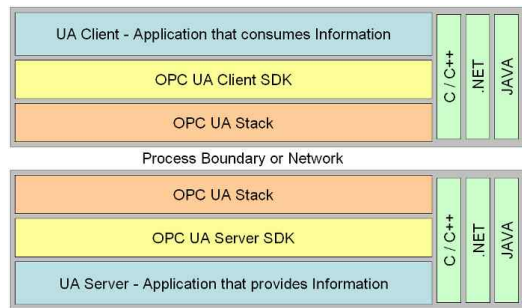


Fig 2. OPC UA Software layer structure

그림 2. OPC UA Software 계층 구조

그림 2는 OPC UA S/W 계층 구조를 나타낸다. OPC UA S/W 스택은 C, .Net, JAVA로 구현된다. OPC UA S/W 스택은 클라이언트와 서버 간에 메시

지를 교환하기 위한 계층을 포함하고, 시스템 간에 동일한 인터페이스를 제공한다[1].

2. SCADA

SCADA는 집중 원격감시 제어시스템 혹은 감시 제어 데이터 수집시스템이라고 불린다. SCADA 시스템은 원격장치의 상태정보 데이터를 RTU(Remote Terminal Unit)로 수집, 수신·기록·표시하여 중앙 제어 시스템이 원격 장치를 감시 제어하는 시스템이다. 주로 발전·송배전 시설, 공장 자동화 시설 등 여러 산업에서 중앙 집중식으로 감시·제어 하는 시스템으로 다양한 프로토콜이 이용된다.

IEC61850은 SAS의 통신과 서비스 모델을 표준화한 프로토콜로써, 디지털 변전소나 스마트 배전시스템에서 사용한다. DNP 3.0은 RTU나 IED와 같은 장비에 대해 데이터 수집·제어를 위한 프로토콜로써 기존 배전자동화 시스템에 사용되고 있다. DLMS/COSEM은 전기 계량기를 제어하고 계량기의 정보를 수집하기 위한 프로토콜로서 스마트 계량기에서 사용되고 있다[2][3][4].

III . SDG 플랫폼

1. 시스템 구조

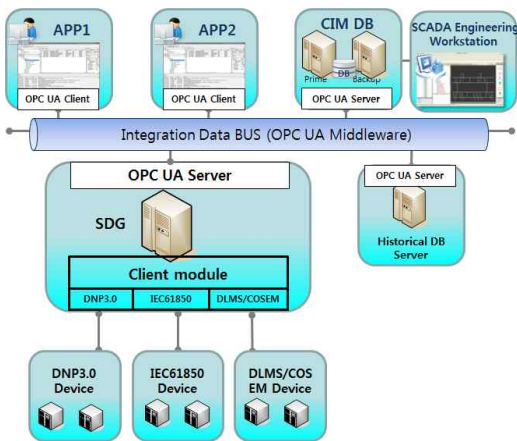


Fig 3. The total architecture of SG Management System

그림 3. SG 운영 시스템의 전체 구성도

그림 3은 SG 운영 시스템의 전체 구성도를 나타낸다. SG 운영 플랫폼에 접속되는 모든 시스템은 OPC

UA 인터페이스를 통해서 정보를 교환한다. 즉 통합 SCADA 운영자는 HMI(Human Machine Interface)를 통하여 CIM(Common Information Model) 또는 Historical DB 서버와 OPC UA 미들웨어를 이용하여 통신한다. 또한 CIM DB 서버는 OPC UA로부터 받은 정보를 CIM으로 변환하거나 역변환 하는 기능을 제공한다. SDG는 디지털 변전소, 스마트 배전시스템 및 배전자동화 시스템과의 연결을 위한 IEC61850 및 DNP3.0, DLMS/COSEM 클라이언트 모듈을 포함한다.

따라서, SDG는 OPC UA 서버 모듈, IEC61850 및 DNP3.0, DLMS/COSEM 클라이언트 모듈 그리고 프로토콜 컨버전 모듈 등 크게 3 부분으로 구성이 된다.

2. OPC UA AddressSpace Mapping

OPC UA는 확장성 있는 정보 모델을 제공하기 때문에 IEC61850이나 CIM과 같은 다양한 전력IT 데이터 모델에 대한 변환이 가능하다. OPC UA는 AddressSpace상에서 추상적인 Object를 생성한 후에 인스턴스화하여 맵핑을 하게 된다. 따라서, IEC61850 및 DNP3.0 정보 모델은 OPC UA AddressSpace로 모델링되어야 한다.

Table 1. Mapping IEC61850 data structure onto OPC UA AddressSpace

표 1. IEC61850 데이터 구조를 OPC UA AddressSpace로 맵핑

IEC61850	OPC UA	Reference
LN Class	ObjectType	
LN	Object	LN Class, LN Data
LN Data	Object	CDC
CDC	ObjectType	CDC DataAttribute
CDC DataAttribute	Variable	CDC DataAttributeType
CDC DataAttributeType	VariableType	
Functional Constraints	Object	CDC

표 1은 IEC61850 정보 모델을 OPC UA AddressSpace로 맵핑한 것을 나타낸다. 따라서, SDG는 IEC61850 정보 모델을 IEC62541에서 정의한 모

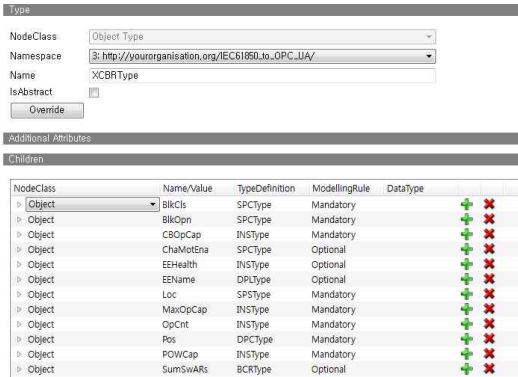


Fig 4. Modeler based IEC61850 Logical Node Modeling of the UA's

그림 4. UA사의 Modeler 기반 IEC61850 Logical Node 모델링

델로 변경하여 AddressSpace내에 노트(Node)로 보유한다[2][5][6].

그림 4은 IEC61860의 LN(Logical Node)중 하나인 XCBR을 UA사 모델러를 이용하여 OPC UA AddressSpace로 실제 모델링 한 예다 . IEC61850 XCBR Logical Node는 변전소나 배전 기기의 CB(Circuit Breaker)를 표현한다. XCBR은 LN Class 이기 때문에 ObjectType으로 매핑을 한다. XCBR은 Attr. Type으로 다양한 CDC(Common Data Class)를 가진다. CDC들은 ObjectType으로 모델링되어 XCBR에서 IEC61850 에서 정의한 LN Data(Loc)로 참조된다. CDC중 하나인 SPS은 Single Point Status 로써, 상태에 대한 정보를 나타낸다. SPS의 q(quality of the measured value), t(timestamp of the measured value), stVal(status Value)들은 AddressSpace에서 variable로 매핑되고 각 CDC의 속성들은 AddressSpace 모델에서 미리 정의한 DataType으로 매핑한다. 그래서 실제 매핑한 AddressSpace 모델을 보면 XCBR(LN)이 Loc,EEHealth, EEName ... 등의 속성을 HasComponent 로 가지고 있다. LN 속성들의 타입은 미리 정의된 SPS 와 같은 CDC를 HasTypeDefinition으로 참조한다[3][8].

표 2는 DNP3.0 데이터 구조를 OPC UA AddressSpace로 변환한 예이다. 따라서, IEC61850과 동일하게, SDG에서는 DNP3.0 정보 모델을 IEC62541에서 정의한 모델로 변경하여 AddressSpace내에 노트로 보유한다.[3][5]

Table 2. Mapping DNP3.0 data structure onto OPC UA AddressSpace

표 2. DNP3.0 데이터 구조를 OPC UA AddressSpace로 맵핑

DNP3.0	OPC UA	Reference
Object Group	ObjectType	
Object-VariationType	ObjectType	Object Group
Object-Variation	Object	Object-variationType, Data
Data	Variable	DataType
DataType	VariableType	

그림 5은 DNP3.0 응용 계층에 존재하는 Object 10, Variation 2 데이터 구조를 OPC UA AddressSpace로 모델링한 예를 나타낸다. DNP3.0은 추상적인 데이터 구조를 제공하지 못하기 때문에

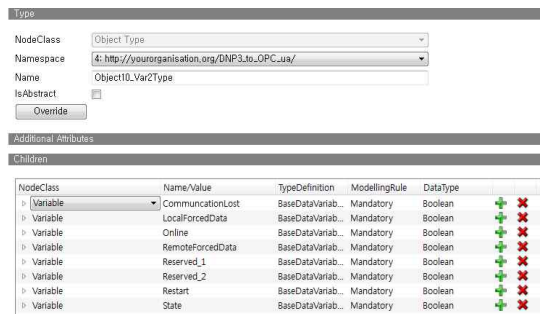


Fig 5. Modeler based DNP3.0 Object modeling of the UA's

그림 5. UA사의 Modeler 기반 DNP3.0 Object 모델링

IEC61850의 맵핑 과정보다 단순하다. Object 10은 ObjectType으로 정의 한 후 Variation들을 HasSubtype으로 보유한다. Object10의 Variation2는 제어하는 포인트의 상태를 지시하는 Object로 Online, Restart, Communication lost, Remote forced data, Local forced data, reserved, state 등을 정보로 가진다. DNP3.0은 IEC61850에 비해 모델링 할 데이터가 훨씬 적다.

Table 3. Mapping DLMS/COSEM data structure onto OPC UA AddressSpace

표 3. DLMS/COSEM 데이터 구조를 OPC UA AddressSpace로 맵핑

DLMS/COSEM	OPC UA	Reference
OBIS Code	Object	Interface Code
Interface Code	ObjectType	Attribute
Attribute	Object	Attribute Type
Attribute Type	ObjectType	Data
Data	Variable	Data Type
Data Type	VariableType	

표 3은 DLMS/COSEM 데이터 구조를 OPC UA AddressSpace로 변환한 예이다. 따라서, IEC61850과 동일하게, SDG에서는 DLMS/COSEM 데이터 구조를 IEC62541에서 정의한 모델로 변경하여 AddressSpace 내에 노드로 보유한다.

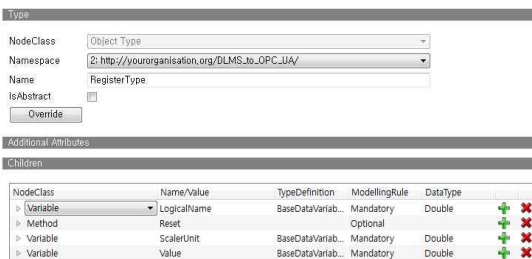


Fig 6. Modeler based DLMS/COSEM Interface Code modeling of the UA's

그림 6. UA사의 Modeler 기반 DLMS/COSEM Interface Code 모델링

그림 6은 DLMS/COSEM Interface Code 중 Register의 데이터 구조를 OPC UA AddressSpace로 모델링한 예를 나타낸다. DLMS/COSEM은 추상적인 데이터 구조를 제공하지 못하기 때문에 DNP3.0과 마찬가지로 맵핑과정이 단순하다. Register는 계량기에서 수로 표현할 수 있는 정보를 저장한다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 Register는 LogicalName, Value, ScalerUnit을 variable로 포함한다.

SDG내에 존재하는 OPC UA 서버는 OPC UA AddressSpace 모델을 통해 IEC61850 정보 모델과 DNP3.0 데이터 구조, DLMS/COSEM 데이터 구조들을 노드로 가진다. 따라서, OPC UA 클라이언트는 SDG 서버에서 제공하는 OPC UA 노드를 통하여

IEC61850 및 DNP3.0 객체를 관리한다[3][7].

3. SDG 플랫폼 구현

SDG는 TILERA사의 64 Many-core 제품인 Tilepro64 CPU를 사용하여 H/W 플랫폼을 구현했다. Tilepro64 Many-Core는 64개의 CPU중 일부를 ZOL(Zero Overhead Linux) 모드가 가능한 'Dataplan'으로 할당할 수 있다. ZOL 모드로 H/W 동작이 되면, 'Dataplan Tile(Core)'들은 임베디드 리눅스 커널 스케줄러의 간섭을 받지 않고 동작한다. 그러기 때문에 다른 멀티코어 H/W 플랫폼 보다 우수한 성능을 제공한다.

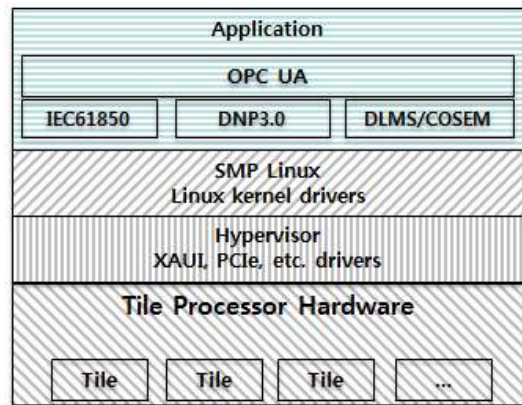


Fig 7. The total software structure of SDG

그림 7. SDG 전체 소프트웨어 구조

그림 7은 SDG 전체 소프트웨어 구조를 나타낸다. SDG를 구성하는 Tilepro64 프로세서는 64개의 Tile(Core)를 제공한다. 그리고 Hypervisor 계층은 어플리케이션에 Low-Level I/O API(Application Program Interface) 제공한다. 따라서 어플리케이션은 리눅스 커널에서 제공하는 시스템 콜(System Call)을 사용하지 않기 때문에, 성능측면에서 매우 빠른 속도를 제공한다. SMP(Symmetric Multiprocessing) Linux 계층은 어플리케이션에게 일반적인 리눅스 라이브러리를 제공한다.

SDG에서 제공하는 IEC61850 클라이언트 모듈은 SISCO사의 MMS-EASE lite를 이용하였고, DNP3.0 마스터 모듈은 Triangle MicroWorks사의 SCL를 사용하였다. OPC UA는 UA에서 제공하는 C++ 기반의 SDK를 사용하여 구현하였다. 또한 DNP3.0 및

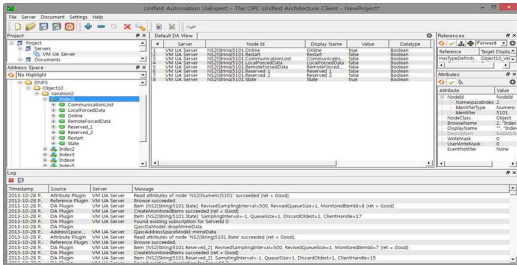


Fig 8. Execution result screen of the UaExpert
 그림 8. UA사 UaExpert 구동화면

IEC61850, DLMS/COSEM 정보 모델 교환은 UA사 Modeler를 사용하여 구현하였다. 또한 UA사의 UaExpert 툴을 이용하여 SDG 내부에서 구동되는 정보 프로토콜 컨버전 모듈의 결과를 확인하였다.[8][9][10][11]

그림 8은 UaExpert 구동 화면을 통해 SDG 내부의 AddressSpace의 노드 정보를 실시간으로 가져오는 그림을 나타낸다[10]. SDG를 이용하여 전력IT 프로토콜을 통합 관리 할 수 있음을 검증 하였다.

IV 결론

SG 운영 시스템은 전력IT 프로토콜을 통합 관리할 필요가 있다. 본 논문에서 제한한 OPC UA 기반 SDG는 IEC61850 및 DNP3, DLMS/COSEM 프로토콜을 연동하는 기능을 제공한다. 따라서, SDG를 사용하면, 최상위 SG 운영 시스템에서는 다양한 종류의 전력IT 프로토콜과 무관하게 OPC UA 표준 미들웨어만을 통하여 통합 관리가 가능하다.

SDG는 다양한 전력IT 프로토콜을 포함하기 때문에 이를 수용 할 수 있는 H/W 플랫폼이 필요하다. SDG H/W 플랫폼은 Tilepro64 기반의 Many-core CPU를 이용하기 때문에 많은 연산을 각각의 코어에 할당하여 동시에 구동할 수 있기 때문에 속도 측면에서 매우 우수한 성능을 제공한다.

향후, 프로토타입으로 개발된 SDG에 대한 실증시험과 IXIA등의 프로토콜 테스터나 OPNET SITL(System-In-The-Loop) 기반의 성능시험 툴을 이용하여 ‘Throughput’, ‘Frame Loss Rate’ 및 ‘Latency’등을 검증 할 필요가 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] Wolfgang Mahnke, Stefan-Helmut Leitner, Matthias Damm: OPC Unified Architecture. Springer Verlag 2009; ISBN 978-3-540-68898-3
- [2] IEC61850-7 Communication network and systems in substations: Basic communication structure for substation and feeder equipment, 1997
- [3] Butterworth-Heinemann, Practical Modern Scada Protocols, 2004; ISBN 750657995
- [4] DLMS User Association, “COSEM Architecture and Protocols”, 2006
- [5] Sebastian Lehnhoff, Sebastian Rohjans, Mathias Usiar, OPC Unified Architecture: A Service-Oriented Architecture for Smart Grid, SE-SmartGrids 2012; ISBN 978-1-1864-8
- [6] IEC 62541-3 OPC UA Specification: Part 3 - Address Space Model, 2013
- [7] IEC 62541-5 OPC UA Specification: Part 5 - Information Model, 2013
- [8] Triangle MicroWorks Inc., Source Code Library User Manual, 2006
- [9] SISCO, Inc., MMS-EASE Lite Reference Manual, 2004
- [10] KALKI inc., DLMS/COSEM Client Object Library User Manual, 2007
- [11] Unified Automation, www.unified-automation.com

BIOGRAPHY

Song Byungkwon (Life Member)
 Reference of IKEEE Journal Vol. 17 No. 2