

분산자원 통합 관리를 위한

OpenADR2.0 및 TASE.2 기반 가상발전소 시스템

Virtual Power Plant System using OpenADR2.0 and TASE.2 for Integrated Management of Distributed Energy Resource

서종관*, 이태일*, 이휘성*, 박점배*

Jong Kwan Seo*, Tae Il Lee*, Whee Sung Lee*, Jeom Bae Park*

Abstract

A virtual power plant is a kind of software power plant that enables participation in power operation by integrally managing individual distributed resources. This paper proposes a common information communication architecture based on the TASE.2 standard and the OpenADR2.0 standard to operate a virtual power plant as a single power system. ESS is designed TASE.2 SBO devices that related objects are mapped to OpenADR2.0 services and composed as a single sequence type. Through simulation verification, it conforms data exchange and operation based on both standards.

요약

가상발전소는 개별 분산자원의 통합 관리를 통해 계통운영에 참여를 가능하게 하는 일종의 소프트웨어 발전소이다. 본 논문에서는 단일 발전시스템으로 가상발전소를 운영하기 위하여 국내 전력시스템 통신에 사용되는 TASE.2(Telecontrol Application Service Element) 표준과 분산자원 관리 기술인 OpenADR(Open Automated Demand Response)2.0 표준을 결합하여 상위 전력시스템과 하위 분산자원을 공통정보모델로 구성한 통신 아키텍처를 제시한다. 분산자원의 기본 형태인 ESS를 TASE.2 SBO(Select Before Operate) 디바이스로 구성하고 관련 오브젝트를 OpenADR2.0 리포트 및 이벤트 서비스와 매핑하여 단일 시퀀스 타입으로 설계한다. 시뮬레이션 검증을 통해 두 표준에 준수한 데이터 교환 및 동작을 확인한다.

Key words : Virtual Power Plant, Distributed Energy Resource, OpenADR2.0, TASE.2, Interoperability

1. 서론

전력산업 내 지속가능한 발전에 대한 관심이 꾸준히 증가하고 있으며, 전력계통의 유연한 운영을 위하여 신재생전원(RES, Renewable Energy Source), 수요반응자원(DRR, Demand Response Resource),

에너지저장장치(ESS, Energy Storage System) 등 다양한 분산자원(DER, Distributed Energy Resource)의 비중이 증가하고 있다. 이러한 분산자원들은 피크수요조정 및 잉여전력의 사용용도를 다양화하여 수요를 감소시키는데 활용이 가능하다. 국내에서는 2014년 11월 아시아 최초로 수요자원 거래시장이

* KEI Dept, I-ON communications

★ Corresponding author

E-mail : marcus@i-on.net, Tel : +82-2-3430-1200

※ Acknowledgment

Manuscript received Mar. 10, 2020; revised Mar. 17, 2020; accepted Mar. 20, 2020.

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) grant funded by the Korea government (MOTIE) (20182410104920)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction

개설되었으며, 2019년 기준 25개의 수요관리사업자가 4.3GW의 수요자원 용량을 등록하여 시장에 참여하면서 에너지산업의 선도 사업으로 국내외에서 주목 받고 있다[1]. 수요자원 거래시장을 운영하는 전력거래소는 피크감축DR 및 요금절감DR의 2가지 프로그램을 운영하고 있으며, OpenADR2.0 (Open Automated DR) 표준기술을 기반으로 DR2.0 (양방향, 자동) 수준을 넘어 EV, ESS 등 분산자원과 연계하여 수요자원을 운영하는 DR3.0 시대로 전환을 꾀하고 있다.

신재생전원의 대부분을 차지하는 태양광은 재생에너지 3020계획에 따라 2030년 태양광 발전용량 33.5GW 달성 및 분산형 전원 비중 18.4%를 목표로 하고 있으며, ESS 특례요금제 시행, 공공기관 설치 의무화 제도 등 정부차원에서 본격적으로 ESS 도입을 시행하여 2018년에는 1.8GWh의 설치용량을 확보, 전년 대비 연간 4.8배, 전년 동기대비 20배 이상 증가하는 가파른 성장세를 보이고 있다[2], [3].

하지만 분산자원의 경우 중앙급전발전기와는 달리 용량 규모가 비교적 작고 다수 지역에 다양한 형태로 분포되어 있기 때문에 보급이 급격히 진행되면 더 이상 중앙에서 통제할 수 없고, 해당 지역으로 통제력을 이양하여야 한다. 또한 많은 용량의 분산자원이 신재생 기반으로 구성되기 때문에, 불확실성을 지역 단위로 통제하는 것이 훨씬 효과적으로 위험을 감소시킬 수 있다.

이에 따라 분산자원을 모집, 제어하여 독립적 혹은 집단적으로 통합 운영하기 위한 가상발전소(VPP, Virtual Power Plant)가 등장하였으며, 전력계통 운영방식을 물리적, 운영적으로 산재되어 있는 다양한 유형의 분산자원을 통합 운영함으로써 분산자원 시스템 중심의 양방향, 지역 분산적인 형태로 변화시킬 것으로 예상된다[4], [5], [6], [7]. VPP 사업자를 통해 규모가 작아 전력시장에 직접 참여할 수 없었던 분산자원은 간접적으로 전력시장에 참여하게 되었고, 배전계통운영자는 통합적으로 분산자원들을 상시 감시 및 제어를 할 수 있어서 일정 수준으로 전력품질 유지할 수 있다.

일반적으로 전력제어센터는 변전소를 통해 분산네트워크와 연결되기 때문에 분산자원들은 전력네트워크상에서의 매우 중요한 교점이며, 국내 전력거래소의 EMS(Energy Management System)는 IEC 61870-6 TASE.2(Telecontrol Application Service

Element) 국제표준 규격을 사용하여 한전급전소 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition)와 실시간으로 계통 정보를 교환하고 있다[8], [9]. 북미에서는 ICCP(Inter-control Center Communication Protocol) 명칭으로 사용하기도 한다.

전력계통 측면에서 VPP를 단일 발전시스템으로 간주하여 운영하기 위해서는 기존의 SCADA, EMS, DAS 등 타 시스템의 통신 기술을 적용하여 전력 정보를 수집하는 요구사항이 존재할 수 있으며, 통합 관리의 상호운용성에서도 필요한 사항이다. 이처럼 VPP 시스템은 분산자원 관리를 위한 통신과 계통운영자인 TSO(Transmission System Operator)와 통신을 모두 지원하여 실시간으로 정보를 전달하는 것이 매우 중요하다.

본 논문에서는 단일 발전시스템으로 VPP를 운영하기 위한 전력시스템과 분산자원 사이의 역할을 정의하고 OpenADR2.0 및 TASE.2 기술을 결합하여 VPP 통신 아키텍처를 설계한다. 또한, ESS를 TASE.2 표준에 따라 SBO 디바이스로 구성하고 OpenADR2.0 이벤트 및 리포트 서비스로 매핑한 시퀀스를 설계한다. 마지막으로 시뮬레이션 검증을 통해 두 표준에 의한 ESS 동작을 확인한다.

II. 본론

1. OADR-TASE.2 Adapter 통신 아키텍처

부하 주파수 제어는 TSO가 속한 로컬 밸런싱 시장 규칙에 따라 항상 허용 범위 내에서 동기 영역의 전력시스템 주파수를 유지하기 위하여 매우 중요하다[10]. 이에 따라 대부분의 VPP 시스템은 실제 운영되기 전에 국가 TSO에 의해 사전 검증 절차에 의해 검증된다. 이것은 VPP 운영 요구사항을 고려하여 필수적인 서비스 유형(주기적전송, 디바이스 및 프로그램 제어, 이벤트리포트, 무결성검사 등)을 확인하는 절차이며, TSO 관점에서는 시간이 중요한 프로세스에 대해 수용 가능한 시간 지연, 신뢰성 및 보안 한계를 보장하기 위해 필요하다.

VPP 시스템은 분산자원과 TSO 사이에 위치하며, 업스트림과 다운스트림 통신을 중계하는 어댑터 객체로 볼 수 있다. 본 논문에서는 분산자원을 관리하기 위한 통신 기술로 OpenADR2.0을 채택하였고, 상위 전력시스템과의 통신은 기존 타 시스템에서 사용하는 TASE.2 표준을 적용하였다.

OpenADR2.0 기술은 수요반응 자원의 공통정보 교환을 위한 어플리케이션 레벨의 데이터 모델로서, RESTful(Representational State Transfer) 아키텍처 및 XML(eXtensible Mark-up Language) 형식으로 수요반응 관련 정보가 표현된다[11].

TASE.2는 MMS(Manufacturing Messaging Specification) ISO 9506으로 지정된 국제표준 규격을 사용하여 서버는 Action으로 동작하며, 클라이언트는 Operation으로 동작한다. 또한, 10개의 객체를 사용하여 전력시스템을 모델링하며 모든 객체는 MMS 객체와 매핑된다[12].

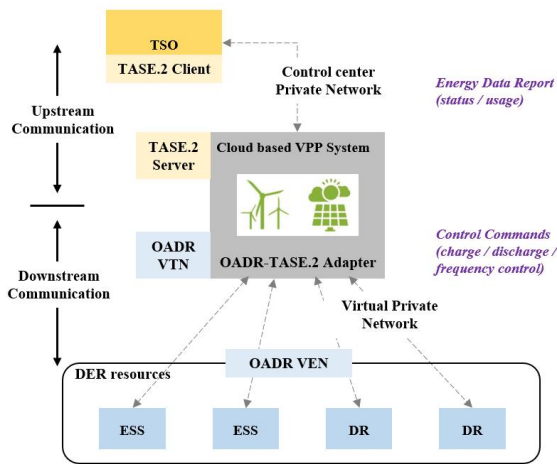


Fig. 1. OADR-TASE.2 Adapter communication architecture.
그림 1. OADR-TASE.2 Adapter 통신 아키텍처

그림 1은 OpenADR2.0과 TASE.2 통신 인터페이스를 적용한 OADR-TASE.2 Adapter 통신 아키텍처를 보여준다. Adapter를 기준으로 다운스트림 통신은 OpenADR2.0의 VTN(Virtual Top Node)과 VEN(Virtual End Node)으로 구성하였으며, TSO와 연계되는 업스트림 통신은 TASE.2 Client/Server 모델로 설계하였다. 이러한 통신 아키텍처는 VPP 시스템을 단일 전력제어센터로 바라보고 HEMS가 VPP를 구성하는 가장 기본적인 빌딩 블록으로 기여하게 될 것이며, HEMS를 기반으로 다양한 BEMS, CEMS 등이 소규모 VPP로 진화하게 되고, 이것이 FEMS 등과 부하의 상보성을 활용하여 수평적으로 상호작용하게 될 것이다. 3개의 도메인으로 분류어진 각 객체의 정보 모델은 통신 인터페이스의 표준에 따라 정의되며, 표 1에서 보여준다.

Table 1. Domain entity operation model.

표 1. 도메인 객체 동작 모델

Actor domain	Information model	TASE.2	OADR
TSO, GSO, DSO	TASE.2	Client	-
Adapter	Link of TASE.2 and OpenADR2.0	Server	VTN
VPP Resource (DER, DR)	-	-	VEN

2. OpenADR2.0 및 TASE.2 데이터 변환

VPP 시스템은 TSO와 분산자원을 고려하여 양방향 도메인 운영에 대한 구성이 필요하며, 각 표준에서 정의한 타입, 자료형, 종속관계 등의 규칙에 부합하도록 데이터 변환이 이루어져야 한다. OADR-TASE.2 Adapter는 XML로 표현된 분산자원 메시지를 TASE.2 데이터 포맷으로 변환하기 위하여 IndicationPoint Object, Device Object, Transfer Set Object 등의 형태로 모델링을 해야 한다. 또한, OpenADR2.0에서 정의한 메시지 특성에 따라 mandatory 및 optional 항목을 구분하여 변환이 이루어진다.

표 2는 VPP 운영시스템에서 분산자원 리포트 및 제어 교환을 위해 사용되는 메시지 및 서비스 항목을 기술하였다. 분산자원의 제어 명령을 위해 oadrEvent 메시지가 사용되며, oadrReport 메시지는 현재 값 및 상태 정보가 정의된다.

TSO는 IndicationPoint를 통해 원격지에 위치한 분산자원들의 실시간 소비량, 공급량, 상태 정보 데이터 수집이 가능하며, 필요시 ControlPoint를 통해 제어가 가능하여 직접적으로 분산자원들을 조작할 수 있다. 전력망 내에 산재되어 있는 분산자원에 대한 중앙제어 및 관리는 VPP 시스템의 가장 핵심적인 요소기술이라 할 수 있다.

Table 2. OADR-TASE.2 Adapter message and service.

표 2. OADR-TASE.2 Adapter 메시지 및 서비스

OpenADR2.0 standard	TASE.2 standard
oadrCreateReport	Data Value Object
oadrCreatedReport	Data Set Object
oadrUpdateReport	Transfer Set Object
oadrUpdatedReport	Device Object
oadrDistributeEvent	IndicationPoint Object
oadrCreatedEvent	ControlPoint Object
oadrResponse	

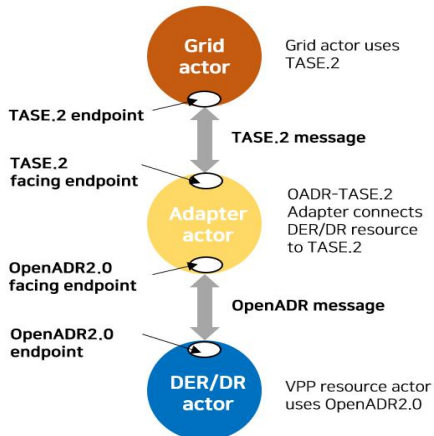


Fig. 2. TASE.2 and OpenADR2.0 communication actor.
그림 2. TASE.2 및 OpenADR2.0 통신 액터

그림 2는 3개의 통신 액터를 나타내며, Adapter 액터를 중심으로 그리드 액터는 TASE.2 메시지를 사용하고, DER/DR 액터는 OpenADR2.0 메시지를 사용한다. 또한, Adapter 액터는 페이싱 엔드포인트를 통해 개별 액터를 연결한다. 그림 3은 분산자원의 정보를 수집하기 위한 OpenADR2.0 oadrDistributeEvent와 TASE.2 Transfer Set Object, TASE.2 Data Value Object를 활용한 데이터 매핑 일부를 나타낸다.

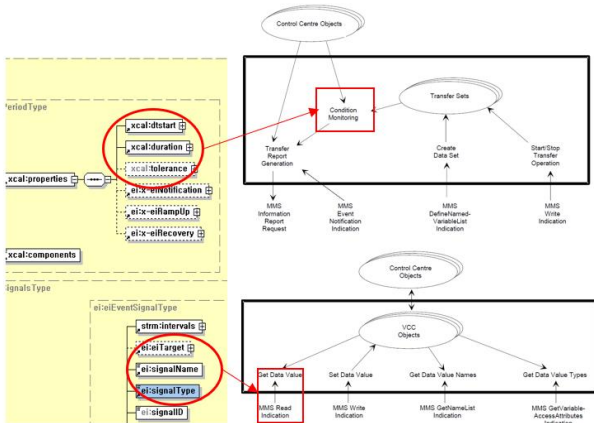


Fig. 3. oadrDistributeEvent, DataValue, TransferSet mapping.
그림 3. oadrDistributeEven, DataValue, TransferSet 매핑

3. ESS SBO 디바이스 및 시퀀스 설계

TASE.2 표준은 전력시스템의 모니터링 및 제어는 IEC 61850-6-503과 IEC 61850-6-802 표준에 정의된 IndicationPoint Object와 ControlPoint Object에 신호 속성을 정의한다. IndicationPoint는 분산자원의 현재 상태 및 측정값을 위한 리포트 신호로서, Data Set Object, Transfer Set Object와 결합

하여 주기적 전송 등 조건 파라미터 정의가 가능하다. 본 논문은 4개의 ESS별로 prefix를 사용하여 IndicationPoint 신호를 정의하였다.

- <ESS ID prefix>_status
- <ESS ID prefix>_connected

Table 3. Definition of ESS status signals.

표 3. ESS 상태 신호 정의

Signal Name	Charging Status	Value	Precondition
	Operation Status		
status	IDLE	0	connected (Operation Status Mode = ON)
	CHARGING	1	
	DISCHARGING	2	
connected	ON	0	-
	OFF	1	-

표 3은 Charging Status와 Operation Status로 구분한 ESS 상태 신호를 나타낸다. Charging Status는 3가지 형태(유휴/충전/방전)의 ESS 운전상태를 나타내고, Operation Status가 ON인 경우에만 활성화된다. ESS ON/OFF 전원상태는 Operation Status로 표시하였다.

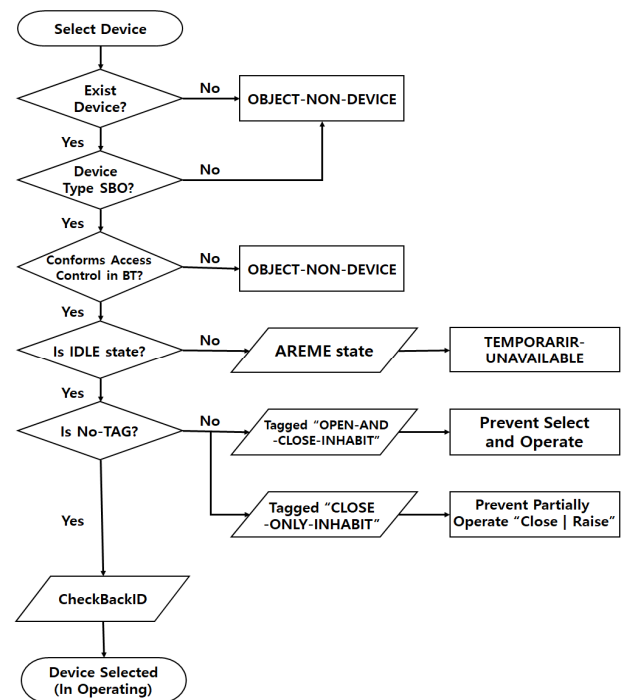


Fig. 4. SBO device Select operation flowchart.
그림 4. SBO 디바이스 선택 절차

일반적으로 분산자원 제어는 계통운영자의 개입에 의해 발생하며, Control Point 신호가 사용된다. TASE.2 서버는 SBO(Select-Before-Operate)와 Direct(비SBO)로 구성할 수 있으며, 본 논문에서의 Adapter는 SBO 모델을 동작하도록 설계하였다. 또한, 디바이스는 IDLE 또는 ARMED 상태를 가지며, IDLE인 경우만 Select operation에 의해 특정 디바이스 선택이 가능하며, 선택 후에는 ARMED로 변경되어 TAG 값에 기반을 둔 제한적인 Operate operation을 수행한다.

SBO 디바이스 선택 절차는 크게 5단계(디바이스 존재, 디바이스 모델, Bilateral Table 접근, IDLE 상태, CheckBackID 발급)로 진행되며, 그림 4는 Select operation 및 CheckBackID 발급 절차를 나타낸다. 또한, 디바이스 제어는 다음의 3가지 조건을 만족한 경우에만 제어신호가 생성되며, 그림 5는 SBO 디바이스의 제어절차를 나타낸다.

- ARMED 상태
- CheckBackID 발급
- Bilateral Table의 CheckBackID 일치

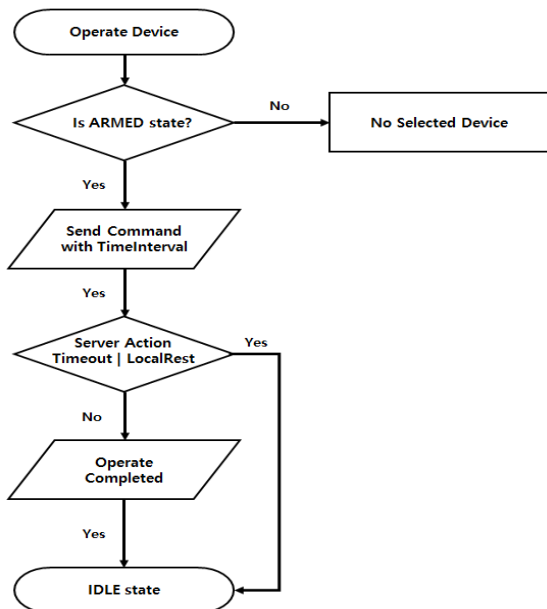


Fig. 5. SBO device Operate operation flow chart.
그림 5. SBO 디바이스 제어 절차

1. OpenADR2.0 Event/Report 서비스 메시지

OpenADR2.0 Report 서비스는 METADATA와 DATA REPORTS로 타입을 정의하고 있다. 본 논

문에서는 ESS 리포트 및 제어를 위한 4개의 신호 타입을 “CHARGE_STATE,” “LOAD_DISPATCH,” “DEMAND_CHARGE,” “LOAD_CONTROL” 사용하였으며, 표 5는 ESS 리포트 메시지 예시를 나타낸다.

Table 5. Example of ESS report message.

표 5. ESS 리포트 메시지 예시

TASE.2	OADR-TASE.2 Adapter	OpenADR2.0
Data Value: Get Data Value Operation	MMS Read	oadrUpdateReport: oadrReport: oadrReportPayload
Data Value: Set Data Value Operation	MMS Write	oadrDistributeEvent: oadrEvent: eiEvent: eventDescription
		payloadFloat: value
		eventStatus (ei:EventStatusE numeratedType)

그림 6은 ESS 정보 리포트 시퀀스 다이어그램을 설계를 나타낸다. OpenADR2.0 oadrCreateReport, oadrUpdateReport 메시지를 통해 Adapter는 ESS 계량 정보를 저장하고, TSO는 read service를 통하여 Adapter에 저장된 ESS 정보를 주기적으로 수신하는 시퀀스이다.

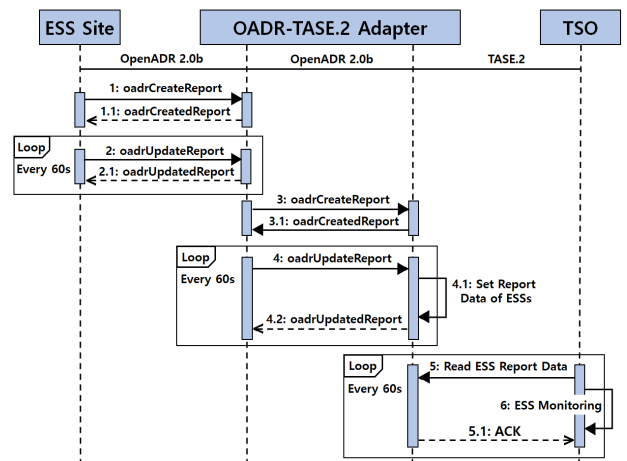


Fig. 6. ESS report sequence diagram.

그림 6. ESS 리포트 시퀀스 다이어그램

그림 7은 ESS 제어 시퀀스 다이어그램이며, 수신한 리포트 결과에 따라 특정 디바이스 제어가 필요한 경우에 TSO에서 먼저 데이터 통신을 개시한다. TSO는 TASE.2 write service를 통해 Adapter에게 특정 디바이스 제어 신호를 전송하고, 이를 수신한 Adapter는 OpenADR2.0 oadrDistributeEvent

메시지로 변환하여 각 ESS에게 제어 신호를 전달한다. ESS는 oadrCreatedEvent 메시지를 전송하여 성공적인 종료를 TASE.2 Client에게 알린다.

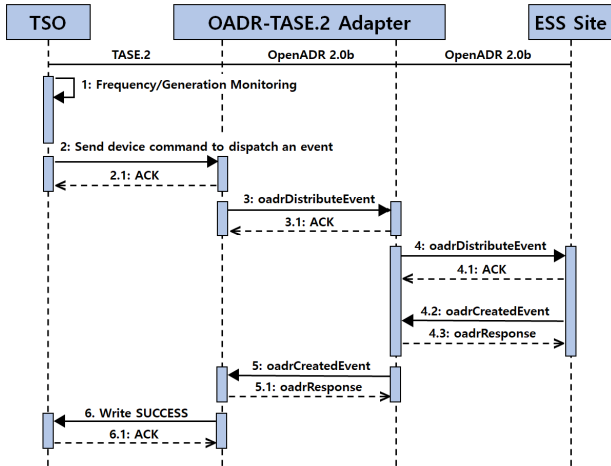


Fig. 7. ESS control sequence diagram.
그림 7. ESS 제어 시퀀스 다이어그램

4. OpenADR2.0 및 TASE.2 시뮬레이션 구현

OADR-TASE.2 Adapter에서 상위 전력시스템과 하위 분산자원의 OpenADR2.0 및 TASE.2 프로토콜 통신 검증을 위하여 8개의 프로토콜 변환 메시지를 구성하였으며, 그림 8은 시뮬레이션을 구성을 나타낸다. Adapter는 oadrUpdateReport와 oadrDistributeEvent 메시지를 DOM(Document Object Model) 과싱을 통해 선별한 다음 IndicationPoint와 ControlPoint 오브젝트 형태로 변환하여 TASE.2 Client에게 전달하도록 구현하였다.

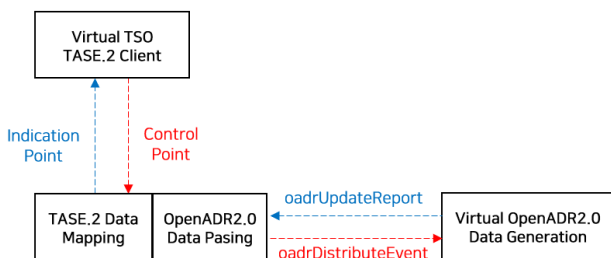


Fig. 8. OADR-TASE.2 Adapter simulation configuration.
그림 8. OADR-TASE.2 Adapter 시뮬레이션 구성

계통운영시스템인 TASE.2 Client는 객체 제한적인 접근 제어를 수행하며, 그림 9는 Adapter에서 json 형태로 설계한 ESS 신호에 대한 Bilateral Table이다.

Bilateral Table - Data Points

Name	allowRead	allowWrite
totalInjectedPower	true	false
totalRemainedCapacity	true	false
ess1_injectedPower	true	false
ess1_remaindCapacity	true	false
ess1_soc	true	false
ess1_status	true	false
ess1_connected	true	false
ess2_injectedPower	true	false
ess2_remaindCapacity	true	false

Fig. 9. OADR-TASE.2 Adapter Bilateral Table configuration.
그림 9. OADR-TASE.2 Adapter Bilateral Table 구성

```
<oadr:oadrPayload xmlns:emix="http://docs.oasis-open.org/ns/emix/2011/05" xmlns:power="http://docs.oasis-open.org/ns/energyinterop/2011/0/payloads" xmlns:oadr="http://openadr.org/http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:atom="http://www.w3.org/2005/Atom" xmlns:oid="http://openadr.org/oid/2011/05" >
  <oadr:oadrSignedObject>
    <oadr:oadrUpdateReport ei:schemaVersion="2.0b">
      <payload/requestID>String</payload/requestID>
      <oadr:oadrReport>
        <xcal:dstart>
          <xcal:date-time>2020-02-27T18:30:00Z</xcal:date-time>
          <xcal:dstart>
          <xcal:duration>
            <xcal:duration>P15M</xcal:duration>
          </xcal:duration>
          <strm:intervals>
            <ei:interval>
              <xcal:duration>
                <xcal:duration>P15M</xcal:duration>
              </xcal:duration>
            </ei:interval>
          </strm:intervals>
          <xcal:uid>
            <xcal:text>0</xcal:text>
          </xcal:uid>
          <oadr:oadrReportPayload>
            <ei:rID>ess_injectedPower</ei:rID>
            <ei:confidence>95</ei:confidence>
            <ei:accuracy>0.2</ei:accuracy>
            <ei:payloadFloat>
              <ei:value>5</ei:value>
            </ei:payloadFloat>
            <oadr:oadrDataQuality>Quality Good - Non Specific</oadr:oadrDataQuality>
          </oadr:oadrReportPayload>
        </oadr:oadrReport>
      </oadr:oadrUpdateReport>
    </oadr:oadrSignedObject>
  </oadr:oadrPayload>
```

Indication Point Values

Indication Point Name	Real	Discrete	State	Type	DataFlags	COV	Updated at
ess1_injectedPower	5	0	255	3	64	0	13:51:00, Feb 28 2020
ess4_connected	NaN	0	255	2	64	0	18:32:00, Feb 27 2020
ess1_status	NaN	0	255	2	64	0	18:32:00, Feb 27 2020
ess2_remaindCapacity	130	0	255	3	64	0	18:32:00, Feb 27 2020
ess2_status	NaN	0	255	2	64	0	18:32:00, Feb 27 2020
ess3_soc	45	0	255	3	64	0	18:32:00, Feb 27 2020
ess3_status	NaN	0	255	2	64	0	18:32:00, Feb 27 2020
ess3_connected	NaN	0	255	2	64	0	18:32:00, Feb 27 2020
ess1_remaindCapacity	30	0	255	3	64	0	18:32:00, Feb 27 2020
ess4_injectedPower	232	0	255	3	64	0	13:51:00, Feb 28 2020
ess4_status	NaN	0	255	2	64	0	18:32:00, Feb 27 2020
ess1_soc	25	0	255	3	64	0	18:32:00, Feb 27 2020

Data Transfer Sets

Domain Name	vpp_iccp
Transfer Set Name	ess_transfer_set_report
Attributes	DS Conditions Requested : 5
	ASB : true
	Integrity Check : 30
	Interval : 15
	Status : true
	TLE : 60
	Buffer Time : 2
	Critical : true

Fig. 10. OADR-TASE.2 Adapter simulation result.
그림 10. OADR-TASE.2 Adapter 시뮬레이션 결과

그림 10은 시물레이션을 통한 TASE.2 Client 결과 화면을 나타내며 송신데이터인 OpenADR2.0 표준 oadrUpdateReprot 메시지 정보와 TASE.2 표준 Data Transfer Set과 IndicationPoint 오브젝트로 매핑되어진 수신데이터를 표시한다. 두 표준에 따라 설계한 공통정보모델이 OADR-TASE.2 Adapter를 통하여 ESS 정보가 교환된 것이다.

III. 결론

본 논문은 전력센터의 계통운영 시스템 표준(TASE.2)과 분산자원 표준(OpenADR2.0)을 결합하여 가상발전소 통신 모델을 제시하였다. 이를 위해 각 표준 규격에 준수하여 이벤트 및 리포트 서비스와 오브젝트 매핑, SBO 디바이스 모델링 및 운영시퀀스 설계, ESS 동작을 정의하고 시물레이션 구현을 통해 데이터 통신을 검증하였다.

논문에서 제시한 가상발전소 모델은 독립적으로 운영되는 계통과 분산자원을 국제표준 기반 공통의 정보 모델로 통신 시스템을 정의하고 구성함으로써 기존의 전력시스템에서 운영하는 SCADA 등 타 시스템과 상호호환성을 가질 수 있으며, 효율적인 분산자원 관리가 가능하다.

향후 EMS 스케줄링에 따라 ESS 모니터링 및 제어에 필요한 최소한의 응답시간을 적용하여 PV와 연계한 PV+ESS 형태로의 필드 테스트를 추진하고자 한다.

References

- [1] "2019 Nov Demand Resource Market Status and Operational Information," Korea Power Exchange, 2020.
- [2] "2018 Korea Energy Agency Handbook," Korea Energy Agency, pp.20-21, 2018.
- [3] Yu-Jin Oh, "Status and Prospects of Domestic ESS," *Hana Inudstry Information*, pp.4-5, 2019.
- [4] Koo-Hyung Chung, "Status and Prospects of VPP," *Journal of Electrical World Monthly Magazine*, pp.18-23, 2015.
- [5] C. Ramsay, "The Virtual Power Plant: Enabling Integration of Distributed Generation and Demand,"

FENIX Bulletin 2, 2008.

- [6] Lucian Ioan Dulau, Mihail Abrudean, Dorin Bica, "Distributed generation and virtual power plants," *2014 49th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, 2014. DOI: 10.1109/UPEC.2014.6934630
- [7] D. Pudjianto, C. Ramsay, G. Strbac, "Virtual power plant and system integration of distributed energy resources," *IET Renewable Power Generation*, 2007. DOI: 10.1049/iet-rpg:20060023
- [8] Seong-Jeong Im, "Status of development for power utility automation standard, IEC 61850," *Journal of electrical world*, pp.14-21, 2015.
- [9] Sung-Wan Park, Jin-Chel Kim, Sang-Tae Kim, Seung-Won Lee, "Development of ICCP / TASE.2 Considering Security between Korea Grid Operating Systems," *Korea Institute of Information Security and Cryptology*, pp.63-73, 2015.
- [10] Jie Yu, Yiping Jiao, Ming Ni, Wenjie Yu, "VPP frequency response feature based on distributed control strategy," *2016 China international conference on Electricity distribution (CICED 2016)*, pp.10-13, 2016.
- [11] OpenADR Alliance, "OpenADR 2.0 Demand Response Program Implementation Guide," 2014.
- [12] Kalheinz Schwarz, "Telecontrol Standard IEC 60870-6 TASE.2 Globally Adopted," *Fieldbus Technology*, pp.38-45, 1999.

BIOGRAPHY

Jong-kwan Seo (Member)



2007 : BS degree in Information Communicing Engineering, Inha University.
2012 : MS degree in Electronic Engineering, Kwangwoon University.
2003~Present : Senior Researcher, I-ON Communications.

Tae-il Lee (Member)

2017 : BS degree in Energy
Information Technology, Gachon
University.
2019 : MS degree in Electrical
Engineering, Gachon University.
2019~Present : Project Assistant,
I-ON Communications

Whee-sung Lee (Member)

2010 : BS degree in Management
Information Systems, Konkuk
University.
2014~Present : Team Leader of
Energy Business Team, I-ON
Communications.

Jeom-bae Park (Member)

2009 : BS degree in Computer
Science, Seoul Digital University.
2016 : MS degree in IT Convergence,
Soongsil University.
2020 : PhD under course in IT
Convergence, Soongsil University.
2007~Present : Team Leader of
Energy ICT, I-ON Communications.