

소비자참여형 Smart Green Town용 에너지저장장치 운영 프로그램 개발

이진호, 신혜경, 서재진, 최인선  
(주)효성 중공업연구소

Development of the Energy Storage System Operation Program for the Consumer Oriented Smart Green Town

Jin-Ho Lee, Hye-Gyeong Shin, Jae-Jin Seo, In-Sun Choi  
Hyosung Corporation Power & Industrial Systems R&D Center

**Abstract** - 제주 스마트그리드 실증사업은 기기 설치, 시험운전 단계에서 실증운전 단계로 넘어가는 과정 중에 있다. 제주 가상전력시장 기반 하에서 수요측 자원의 본격적인 Full-Scale 전력거래가 시작될 예정이다. 거래 수익 최대화를 위해서는 에너지저장장치의 적절한 운영이 필수적으로 요구된다. 당사에서는 에너지저장장치의 시간대별 운영 패턴 도출을 통해 가상전력시장에 참여할 수 있는 에너지저장장치 운영 프로그램을 개발하였다. 본 논문에서는 가상전력시장의 개요, 에너지저장장치 운영 프로그램의 개념과 실행 스케줄, 그리고 입출력 데이터와 Flow Chart 등에 대하여 기술하였다. 향후 실증단계 진행 중에 신뢰할 만한 Raw Data와 거래 reference를 확보, 분석하고 적용하는 과정을 거치면서 운영 알고리즘을 조금 더 개선해야 할 필요가 있다.

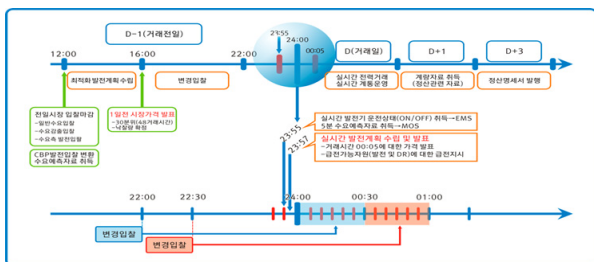
1. 서론

2009년 말부터 시작된 제주 스마트그리드 실증사업은 기기 설치, 시험운전 단계에서 실증운전 단계로 넘어가는 과정 중에 있다. Smart Place 과제의 KT 컨소시엄에 속한 당사 또한 제주 구좌읍 세화리 SGT(Smart Green Town)에 태양광 설비, 에너지저장장치, 부하제어 설비, 전기자동차 충전기 등의 기기가 설치 중이고, 최종소비자 측면에서 생산/사용되는 전력에너지를 관리할 수 있는 시스템인 Consumer EMS(Energy Management System) 또한 개발 중에 있다. 제주 가상전력시장 기반 하에서 수요측 자원의 본격적인 Full-Scale 전력거래가 시작될 예정이며, 거래 수익 최대화를 위해서는 가상전력시장 가격에 기반한 설치 기기의 효과적인 시간대별 운영 전략이 필요하다. 그 중에서도 특히 에너지저장장치의 적절한 시간대별 운영이 필수적으로 요구되며, 이에 당사에서는 신·재생발전량, 부하량 등의 예측을 바탕으로 한 에너지저장장치의 시간대별 운영 패턴 도출을 통해 가상전력시장에 참여할 수 있는 에너지저장장치 운영 프로그램을 개발하여 Consumer EMS의 모듈로 구성하였다. 본 논문에서는 가상전력시장의 개요, 에너지저장장치 운영 프로그램의 개념과 실행 스케줄, 그리고 입출력 데이터와 Flow Chart 등에 대하여 기술하였다.

2. 본론

2.1 가상전력시장

전력거래소는 제주 스마트그리드 실증단계의 전력시장, 계통운영 서비스 및 제반 인프라 조성을 목적으로 가상전력시장을 설계하였다. 가상전력시장은 1일전 시장과 실시간 시장으로 구성되고, 각각의 시장에 대해 전력시장가격(Energy Market Price), 용량가격(Capacity Price), 그리고 보조서비스 가격(주파수조정서비스, 대기예비력)으로 거래하게 되며, 1일전 시장의 경우 30분, 실시간 시장은 5분의 거래단위를 가진다. 아래 그림은 가상전력시장의 운영 스케줄이다.



〈그림 1〉 가상전력시장 스케줄  
출처 : 전력거래소, “가상전력시장 운영규칙”, 2011

위 그림에서 알 수 있듯 거래전일 각 수요측자원이 거래시스템에 입찰하는 마감 시간은 12시이며, TOC(Total Operation Center)에서 최적

화 발전계획을 수립하여 D-1 16시에는 30분 단위 48 거래시간별 각 수요측자원의 낙찰량과 시장가격을 발표하게 된다. 이후에는 변경입찰이 이루어지는데, 변경입찰은 22시 기준으로 입찰현재시각 2시간 이후부터 D-day의 마지막 시간구간까지 가능하다. 거래시스템에 등록하는 입찰서가 1일전 입찰서를 덮어쓰는 형태로 되어 있기 때문에 제일 마지막에 등록된 입찰데이터가 실시간 발전계획 수립에 사용된다. 실시간 시장가격과 급전가능자원에 대한 급전지시는 급전 해당 시작시각 1분 전에 발표되며, 5분주기로 발표된다. 이 5분마다 발표되는 실시간 가격이 실제 거래 정산금 수령의 기준이 된다.

가상전력시장에 입찰 가능한 수요측 자원은 일반수요, 수요감축, 수요측발전의 세 가지로 크게 분류되며, 이들 자원은 또한 TOC의 급전지시 응답가능 여부에 따라 급전불가능 및 급전가능 자원으로 나누어질 수 있다. 결과적으로 일반수요, 급전(불)가능 수요감축자원, 급전(불)가능 수요측 발전의 7가지 수요측 자원이 존재하게 되는데, 본 논문에서 대상으로 하는 SGT는 급전가능 수요감축 자원으로 등록하여 전력거래에 참여할 예정이다. 급전가능 수요감축 입찰시 필요한 데이터는 30분 단위 48 거래시간단위별 급전기준수요[kW], 수요감축량[kW], 그리고 감축단가 [원/kWh] 등이다. 급전기준수요는 에너지저장장치의 충전량을 포함한 SGT의 48 거래시간대별 사용 부하량이며, 수요감축량은 그 시간대에 감축 가능한 부하량, 그리고 감축단가는 감축부하량의 판매 희망 단가가

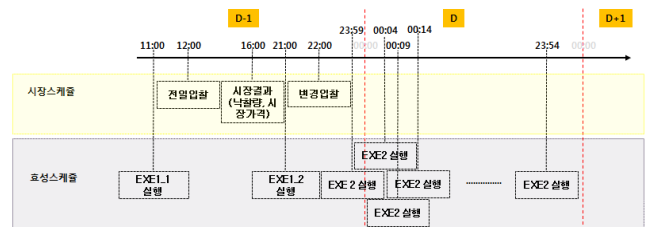
2.1 에너지저장장치 운영 프로그램

2.1.1 개요

에너지저장장치 운영 프로그램은 태양광, 에너지저장장치 등의 발전원을 가진 SGT가 수요감축자원으로 가상전력시장에 참여함에 있어 각 거래시간대별 효율적인 에너지저장장치의 충·방전 출력 패턴을 산출하는데 이용되며 SGT의 예상 부하, 예상 전력가격, 태양광 발전량 예측값 등을 입력받아 가상전력시장에 전일 입찰을 하거나 실시간 급전 목표치를 산출하는 역할을 한다. 용도에 따라 두 개의 입찰용 프로그램과 한 개의 실시간 급전 목표치 산출용 프로그램의 세 개 프로그램으로 구성된다. 각각의 실행 프로그램은 Matlab을 이용하여 작성되고 컴파일되었으며, SGT Database 서버 컴퓨터 안에 내장되어 Database에 직접 접속하여 데이터 입·출력 작업을 수행하는 형태로 개발되었다.

2.1.2 실행 스케줄

아래 그림에 세 개의 에너지저장장치 운영 프로그램 실행 스케줄을 나타내었다.



〈그림 2〉 에너지저장장치 운영 프로그램 실행 스케줄

편의상 세 개의 프로그램을 각각 EXE1\_1, EXE1\_2, EXE2로 표기하였다. 여기에서 EXE1\_1은 전일입찰용 프로그램, EXE1\_2는 변경입찰용 프로그램, 그리고 EXE2는 실시간 출력 목표값 산출용 프로그램이다. 앞에서 기술한 바와 같이 D-1 12시까지 전일입찰을 할 수 있고, 따라서 11시에 태양광발전량 예측 모듈에서 산출된 D-day의 태양광발전량 예측값을 이용하여 EXE1\_1 프로그램이 실행되어 전일입찰에 필요한 급전기준수요, 수요감축량, 감축단가 등의 값을 산출해준다. EXE1\_2는

EXE1\_1과 유사한 flow로 22시 변경입찰에 필요한 값을 산출해준다. 가상전력시장 규칙에 의하면 변경입찰은 횡수에 관계없이 등록 가능하지만 초기 실증 단계에서의 불확실한 factor를 제거하고 reference 데이터를 확보하기 위해 우선은 D-1 22시 변경입찰을 1회 실시하는 것으로 설계하였다. EXE2는 실시간 급전목표치 산출 프로그램으로서 TOC에서 5분마다 발표되는 실시간 급전지시 목표값에 응동하기 위해 에너지저장장치 PCS에 출력 목표값을 주는 역할을 하며, 가상전력시장 스케줄에 따르면 급전지시는 급전해당시간 1분 전에 발표되므로 EXE2는 D-1 23시 59분부터 D-day 23시 54분까지 총 288회/1일 실행된다.

### 2.1.3 입출력 데이터

다음 표에 각 실행 프로그램의 입·출력 데이터를 정의하였다.

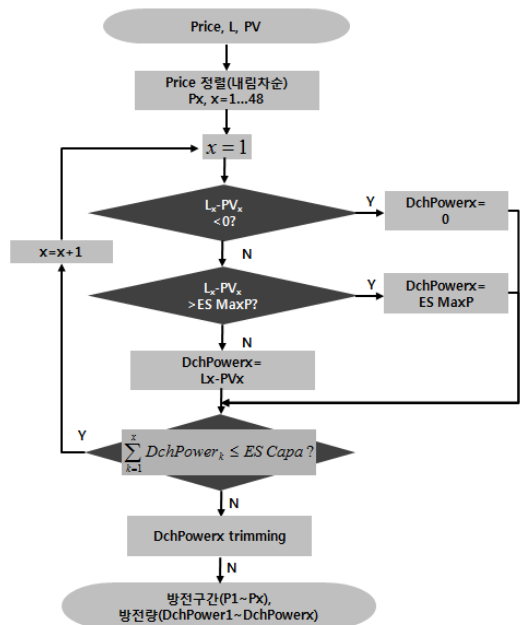
〈표 1〉 에너지저장장치 운영 프로그램 입출력 데이터 정의

프로그램	실행 시간	Input		Output	
		항목	단위	항목	단위
EXE1_1	거래전일 11:00	태양광 발전량 예측치	kW	급전기준수요	kW
		거래일 예상전력가격	원/kWh	수요감축량	kW
		SGT 예상부하	kW	감축단가	원/kWh
EXE1_2	거래전일 21:00	태양광 발전량 예측치	kW	급전기준수요	kW
		거래전일 16시 시장가격	원/kWh	수요감축량	kW
		각 Town별 예상 부하	kW	감축단가	원/kWh
EXE2	5분간격	SOC path	%	PCS 목표출력	kW
		현재 SOC	%		
		현재 태양광 출력	kW		
		현재 부하량	kW		
	실시간 수요감축지시량	kW			

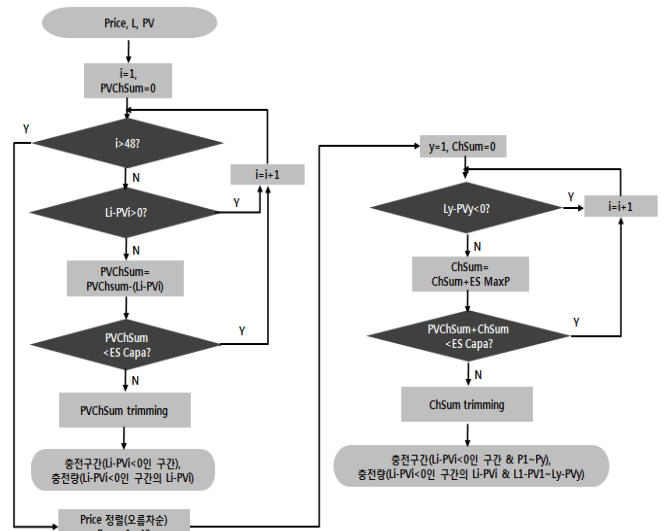
EXE1\_1 프로그램은 거래일의 태양광 발전량 예측치와 예상 시장가격, 그리고 SGT의 예상부하를 입력받아 가상전력시장 입찰에 필요한 급전기준수요, 수요감축량, 그리고 감축단가의 reference 값을 산출한다. 여기에서 SGT의 예상부하는 1주일 전 같은 요일의 데이터를 사용하는 것으로 설계하였는데, SGT 구성원의 생활 패턴이 각 요일별로 유사한 profile을 보이기 때문에 굳이 부하 예측의 과정을 거치는 것은 오히려 불확실성을 증가시키는 것으로 판단되기 때문이다. 비슷한 맥락에서 거래일의 예상전력가격 또한 1주일 전 같은 요일의 가격을 입력받는 것으로 하였다. EXE1\_2 프로그램은 EXE1\_1 프로그램과 flow가 거의 유사하며, 다른 점은 입력 데이터의 경우 1주일 전 같은 요일의 가격이 아닌 16시 시장가격을 이용한다는 것과 출력 데이터의 경우 입찰 reference 값 이외에도 에너지저장장치의 48 시간구간 동안의 SOC(State Of Charge) path를 출력한다는 것이다. EXE2 프로그램의 입력 데이터는 EXE1\_2에서 산출된 에너지저장장치의 SOC path, 현재 SOC, 태양광 출력, 그리고 현재 부하량과 실시간 수요감축지시량이며 출력 데이터는 5분 동안의 에너지저장장치 PCS 목표출력값이다. SOC path를 입력 데이터로 이용한 것은 초기 실증임을 감안하여 에너지저장장치의 예상치 못한 과충·방전을 방지하여 안정적인 운전을 하기 위해 기 설정된 SOC의 path를 추종하도록 프로그램을 설계하였기 때문이며, 이는 가상전력시장 거래 실적 reference가 쌓임에 따라 점차 개선될 여지가 있음을 밝힌다.

### 2.1.3 Flow Chart

아래 그림2, 그림3은 전일입찰/변경입찰의 Flow Chart이다. 입출력 데이터 정의에서와 같이 Flow Chart는 가격, 부하, 태양광발전량 패턴을 입력받아 에너지저장장치의 방전구간과 방전량을 우선 산정하고, 이후 태양광 발전을 감안한 충전구간을 산정하는 구조로 이루어져 있다. 수요감축 입찰서 작성을 위해서는 급전기준수요, 수요감축량, 감축단가의 입력이 필요한데, 급전기준수요는 예측된 부하패턴과 각 시간단위별로 산정된 에너지저장장치의 충전량을 더하여 얻을 수 있다. 이 때 태양광발전량이 부하량보다 커서 에너지저장장치에 충전을 해야 하는 구간은 충전구간으로 산정은 되지만 급전기준수요에는 포함되지 않음을 주의하여야 한다. 수요감축량은 시간대별 감축 의사가 있는 부하량이므로 각 시간단위별 에너지저장장치의 방전량이 곧 수요감축량이 된다.



〈그림 3〉 에너지저장장치 방전구간&방전량 산정 Flow Chart



〈그림 4〉 에너지저장장치 충전구간&충전량 산정 Flow Chart

## 3. 결론

제주 스마트그리드 가상전력시장 환경 하에서 소비자참여형 SGT이 전력거래 수익을 얻기 위한 에너지저장장치의 운영 프로그램 개발 상황에 대해 설명하였다. 스마트그리드 실증사업은 시스템 설치를 지나 이제 막 초기 실증단계에 들어왔고 가상전력시장 또한 모의운영 단계를 지나 중언 단계로 신뢰할 만한 실제 데이터와 거래 reference를 확보하여 분석하지 못한 한계가 존재한다. 향후 다양한 상황에서 취득된 Raw Data 분석과 적용을 통해 운영 알고리즘을 검증하고 개선할 필요가 있다.

### [참고 문헌]

- [1] 전력거래소, “가상전력시장 운영규칙”, 2011
- [2] 한전 KDN, “제주 실증단지 CIM 프로파일”, 2011