

전력수요관리를 위한 ESS의 적용 방안 연구[☆]

Study of the Application Method of ESS(Energy Storage System) for Electric Power Demand Management

김혜영* 송혜자**

◆ 목 차 ◆

- | | |
|------------------------------------|-----------------------------|
| 1. 서론 | 4. 중소용량 ESS의 수요반응 서비스 적용 구성 |
| 2. DR(Demand Response) 동향 분석 | 5. 결론 |
| 3. ESS(Energy Storage System) 동향분석 | |

1. 서론

에너지 고갈과 환경오염 문제를 해결하기 위해 전 세계적으로 무분별한 화석연료의 사용을 줄이고, 에너지의 효율적인 사용이 논의되고 있다. 이를 위해 공급자 중심의 전력 인프라를 사용자 중심으로 바꿔가고자 하는 노력의 일환으로 스마트그리드(Smart Grid) 정책이 추진되고 있다. 스마트그리드는 기존의 전력망에 ICT 기술을 접목하여 전력생산 및 소비정보를 양방향, 실시간으로 교환함으로써 에너지 효율을 최적화하는 차세대 전력망으로 AMI(Advanced Metering Infrastructure), 에너지 저장 시스템(ESS: Energy Storage System), 수요반응(DR: Demand Response) 관리 등의 기술 분야들로 이뤄진다. 이들 기술 분야의 상호연계 되는 스마트그리드에서는 공급되는 전기에 대한 요금 등 다양한 정보를 AMI를 통해 제공되므로 소비자들은 이를 선택해 전기를 현명하게 소비할 수 있게 된다. 여기에는 소비자가 전력사용을 합리화하여 수요를 줄일 수도 있지만 에너지저장장치(ESS), 신재생에너지원, 전기자동차 등을 이용하여 전기요금이 낮을 때 저장 혹은 발전하여 전기요금이 비쌀 때 사용할 수도 있게 된다. 이러한 과정이 축적되면 국가 전체적으로 에너지 사용 합리

화가 이루어지고, 새로운 스마트그리드 사업자의 출현으로 산업 경쟁력 및 국가 전체의 경쟁력을 높일 수 있게 된다.

우리나라는 2009년 3월 지능형 전력망 로드맵 추진 위원회 발족을 시작으로 그 해 5월 스마트그리드 협회를 출범하였으며, 8월 제주 스마트그리드 실증사업을 통해 Smart Place, Smart Transportation, Smart Renewable, Smart E-Service 분야에 대한 실증사업을 시작하여 4년간 수행하였다. 2010년 1월에는 스마트그리드 로드맵을 발표하여 2030년까지 3단계에 걸쳐 스마트그리드를 구축하는 계획을 수립하였다.

최근에는 정부의 에너지정책의 일환으로 개별 홈 및 사무 공간, 소규모 공장시설 등의 공간에 신재생에너지와 ESS 등의 설치가 활발히 진행되고 있고, 수요자원의 적극적인 관리를 목적으로 DR 시장의 도입과 수요반응 사업자를 육성하는 등의 정책을 지속적으로 추진하고 있다. 그러나, 신재생에너지 및 ESS(전력저장시스템)과 연계하여 수급이 수요관리를 위한 구체적인 비즈니스 모델이 없었으며, 최적운영 및 관리를 위한 수요조절용 운영시스템에 대한 연구 개발이 미비한 상황이다.

본 논문에서는 현재 DR 및 ESS의 동향을 분석하고 중소용량 ESS 장치를 전력수요관리에 적용할 수 있는 방안을 제안하고자 하며, 이는 많은 수의 중소규모 빌딩 및 홈을 수요관리 자원으로 활용할 수 있게 됨으로써 수요관리 시장의 활성화에 기여할 것으로 기대된다.

* (주)우암코퍼레이션 선임연구원 (제1저자)

** (주)우암코퍼레이션 대표이사

☆ 본 연구는 에너지기술평가원 R&D 지원을 받아 수행된 전력산업융합원기술개발사업 '수요반응시장 참여가 가능한 중소형 태양광/ESS 기반 에너지 관리 시스템 개발' 연구의 일부임.

2. DR(Demand Response) 동향 분석

수요반응(DR; Demand Response)은 전기소비자가 전기소비 절감에 따른 인센티브 또는 시간대별 전기요금제도 등의 유인동기에 반응하여 자신의 평상시 전기사용 소비패턴을 변경하는 것으로 美 연방에너지규제위원회(FERC)는 정의하고 있다. 수요반응은 전력사용을 절감하여 또 하나의 에너지원으로 인식하고 이를 활용한다는 점에서 스마트그리드와 밀접한 연관이 있다. 스마트그리드는 기본적으로 수요반응을 통한 수요자원 확보 없이는 제 기능을 발휘하지 못하기 때문이다.

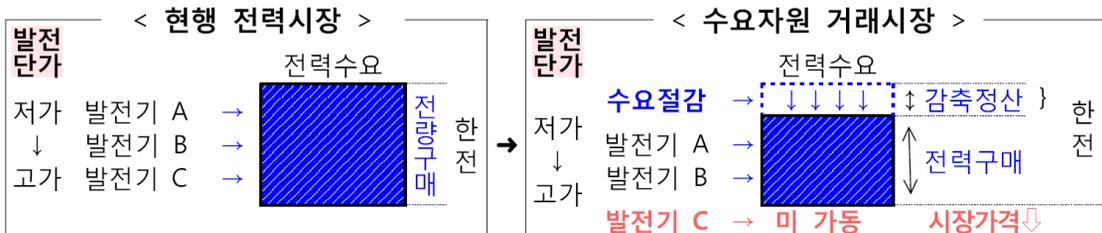
미국은 각 지역을 관할하는 ISO(Independent System Operator) 및 미국 내 약 3,000여개를 상회하는 지역별 전업체를 통해 다양한 종류의 수요반응 프로그램을 제공하고 있다. 미국의 수요반응프로그램은 크게 요금 기반 방식과 인센티브 기반 방식으로 구분될 수 있으며, 요금 기반 수요반응프로그램에는 실시간 요금제(RTP: Real Time Pricing), 구간별 요금제(Time of Use), 최대피크 요금차등제(Critical Peak Pricing) 등이 있고 인센티브 기반 수요반응 프로그램에는 직접부하제어(Direct Load Control), 차단기능 서비스(Interruptible Service), 긴급상황(Emergency) 프로그램, 소비자입찰(Demand Bidding) 방식 등이 있다. 산업, 상업 및 가정 부문 수용가의 수요반응 프로그램 참여가 많아지면서 수요자원 및 실적이 증가하고 있으며, 따라서 부하를 매집하는 수요관리사업자(Load aggregator) 사업 또한 활성화 되고 있다. 미국에서는 수요자원과 발전자원의 시장거래를 통해 수요자원을 확보하고 수요관리 사업

자의 미즈니스 모델을 구축하고 있으며, 동부 일부지역을 관할하는 PJM은 수요자원 시장을 가장 활발하게 운영하고 있다. 이를 통해 수요관리사업자가 전력수요자원을 매집하여 발전자원과 동등하게 전력시장하게 거래하고 있으며, 수요반응 시장 참여자의 대표 기업으로는 Comverge와 EnerNoc이 있고 이 중 특히 Comverge는 거주부문 시장(미개발 주택 시장)을 집중 공략하고 있다.

유럽의 경우, 신재생에너지 발전설비의 증가로 인한 계통 불안정화를 방지하고 신뢰도를 높이기 위해 DR 자원을 예비력으로 활용하는 측면에서 수요반응의 중요성이 부각되고 있으며, EU지역 내에서의 수요관리 서비스 등의 수행 사업자들의 협회인 SEDC(Smart Energy Demand Coalition)은 수요자원의 전력시장 참여 확대 및 효과적인 방안으로서 수요관리사업자의 육성, 전력시장에 수요자원을 참여시킴으로써 발전용량과 동등하게 거래하는 시스템 구축, 수요자원의 감축실적 평가방법 구축, 감축에 대한 적절한 보상체계 마련을 제시하였다.

우리나라는 지속적인 전력수요 증가로 인해 공급위주의 기존 전력수급정책이 한계에 부딪히게 되었고 수요측 자원의 중요성이 부각되면서 수요반응의 필요성이 대두되었다. 2012년 7월부터 전력거래소에서는 지능형 수요관리(DR)를 처음 도입하여 AMI, 에너지관리시스템(EMS: Energy Management System) 등 스마트그리드 기술을 이용하여 1시간 이내(30분전 지시+30분 이내 이행) 감축하는 시스템을 구축하고 시범적으로 운영하였다.

이후 정부는 2013년 8월경 ICT 기반 에너지 수요관리 방안을 발표하였으며, 2014년 1월에는 ‘제2차



(그림 1) 전력시장 변화 개념도

(출처: 산업통상자원부 ‘수요자원 거래시장 운영방안’ 2014.11)

에너지 기본계획'을 통해 시스템적인 수요관리를 강조하였다. 이에 따라 2014년 4월 29일 전기사업법 개정안이 통과되면서 수요자원이 전력시장에서 거래될 수 있는 법적 기만이 마련되어 2014년 11월에는 수요자원 거래시장(일명, 네가와트(Negawatt) 시장)이 개설되어 지능형 DR 기반 시장이 본격화 되었다.

기존에는 한전이 전하나 문자를 통해 감축지시를 내리던 형태와 달리 지능형 DR은 전력거래소가 양방향 통신망이 구축된 스마트그리드 환경 아래서 감축지시를 내리고, 한전의 감축지시에 수동으로 반응했던 기존 수요관리와 달리 지능형 DR은 수요반응관리사업자들이 실시간 전력계량기, 에너지관리시스템(EMS) 등 정보통신기술(ICT) 기기를 소비자들에게 제공하여 이들 스마트그리드 인프라를 통해 자동으로 반응하는 특징을 갖는다.

소비자들의 전기소비절감을 시장에서 거래하는 역할을 맡게 되는 수요관리사업자들은 빌딩, 아파트, 공장 등의 전기사용고객이 아낀 전기를 모아 전력거래소를 경유하여 한전에 판매하고 판매수익을 고객과 공유한다. 수요관리사업자들은 수요자원 거래시장에 참여하기 위해서는 감축용량 10MW~500MW 이하로 지역구분(수도권/비수도권)하여 최소 10개 이상의 참여고객(전기소비자)로 구성해야 수요자원로 등록할 수 있다. 그리고 수요자원 거래시장은 실시간 급전시시발령에 따른 부하감축 유형과 하루전 시장에 자발적으로 입찰해 부하감축 유형 두 가지로 운영된다.

앞으로 수요자원 거래시장이 더 활성화 된다면 지능형 DR을 통해 전기를 저장하는 ESS나 에너지 사용을 관리해주는 EMS 등 스마트그리드 관련 설비들의 보급이 활성화 되고 다양한 시장이 형성될 것으로 예상된다.

3. ESS(Energy Storage System) 동향분석

에너지저장시스템(ESS: Energy Storage System)은 배터리(Battery), BMS(Battery Management System), 전력변환장치(Power Conversion System)으로 구성되며, 생산된 전력을 전력계통에 저장했다가 전력이 가장 필

요한 시기에 공급하여 에너지 효율을 높이는 시스템으로 발전, 송배전, 수송가 단계별로 저장이 가능하다. ESS는 스마트그리드에서 중요한 핵심기술로 가장 필요한 시기에 에너지를 공급하여 에너지 효율을 향상시키고 야간에 유휴전력을 저장, 주간에 사용하는 부하평준화(Load leveling)를 통해 전력운영의 최적화에 기여할 수 있는 시스템이다. 특히, 출력변동성이 심한 태양광, 풍력 등과 같은 신재생에너지 전원 출력을 고품질 전력으로 전환하여 전력망에 연계하여 전력망의 안정성과 신뢰도를 향상시킬 수 있다.

전력저장을 위한 주요 기술로는 양수발전장치(pumped hydro), 압축공기 저장장치(compressed air energy storage), 리튬이온전지(lithium ion battery), Flow 전지, Flywheel전지, 나트륨-유황(NaS) 전지 등이 있다.

미국 캘리포니아 주에서는 2010년 9월 ESS 설치 의무화 법안을 승인하고, 최근 5년간 평균 공급전력의 2.25% 이상을 ESS를 이용하여 2014년부터 공급하고, 이를 2020년까지 5% 이상으로 확대하기로 하였다. 또 공공기관, 벤처기업 및 대형 전력회사를 중심으로 기술개발 및 실증사업을 적극 추진하기로 하였다.

일본은 250kW 이상의 ESS 설치시 초기설치비의 1/3 수준의 보조금을 지원하고 있으며, 가정용 ESS와 신재생에너지 발전용 ESS 등의 분야에서 다양한 기술개발을 추진하고 있으며 특히 LiB와 NaS 등에서 기술적 강세를 보이고 있다.

우리나라는 2011년 11월 발표한 K-ESS 2020 전략에 의하면, 정부는 중대형 ESS 기술개발 및 산업화 정책을 추진하기로 하였다. 이에 따라 에너지저장 R&D 투자를 확대하여 원천기술 확보 및 글로벌 시장 선도가 가능한 기술에 집중투자하기로 하였다. 또 2014년 1월 발표한 제2차 에너지 기본계획에 의하면 에너지정책이 공급중심에서 수요관리 중심으로, 또한 원전 중심에서 분산형 발전 및 저장장치로 정부 정책을 전환하게 된다.

현재 보급사업을 중심으로 ESS 시장을 형성하고자 하고 있는 단계로, 다양한 실증·시범 사업들이 다양하게 진행되었다.

[표 1] 국내 ESS 보급 및 실증 추진 현황

사업명	구축설비 (사업기간)	사업모델
제주 스마트그리드 실증사업 (Smart Place 분야)	3kWh~30kWh (‘09~’13)	부하평활화 피크절감
제주 스마트그리드 실증사업 (Smart Transportation 분야)	150kWh (‘09~’13)	충전소보조
제주 스마트그리드 실증사업 (Smart Renewable 분야)	35kWh~1MW (‘09~’13)	풍력 보조
10kW급 LiB 대규 실증	3kW/10kWh*100 (‘10~’13)	부하평활화 피크절감
신재생에너지 연계형 LiB 조전 변전소 실증	4MW/8MWh (‘11~’14)	부하평활화 피크절감 풍력 보조
스마트그리드 보급지원사업	250kW/500kWh (‘12)	수요반응
고창변전소 ESS 실증	50MW (‘13~’16)	송배전망
CAES 군산해상풍력 연계실증	100MW (‘13~’17)	풍력보조

(출처: 전력저장장치(ESS)와 국내의 ESS 정책)

일반적으로 수요조절용 전력저장시스템에 필요한 기술로는 배터리 설계 및 제조 기술, 충·방전 전력변환 기술, 통신연계 계량 기술, 수요조절 운영 및 설계 기술 등으로 구분될 수 있다. 여기서 배터리 설계 및 제조 기술은 앞으로 확대될 고압수용가의 적합한 용량을 갖고 수요조절 패턴에서 최적의 효율을 갖아야 한다. 충·방전 전력변환장치 기술은 수요조절용으로 사용되는 계통 연계형과 무정전 전원공급장치를 위한 독립 운전형으로 구분될 수 있는데, 현재는 각각 상용화되어 있다. 하지만, 계통연계 운전과 독립 운전 모두 가능한 장치는 국내에서는 상용화된 제품이 없고, 일부 선진 외국에서만 상용화되어 보급되고 있다.

통신과 연계해 계량하는 기술과 관련해서는 지능형 전력량계 등이 상용화되어 있고, 계통운영자와의 통신 기능, 데이터 저장, 알림기능 등 다양한 기능을 갖추고 있으며, 건물에 사용되는 수요조절용 BESS 시스템에 필요한 기술도 개발된 상태이다. 반면, 최종적으로 확보되어야 할 수요조절용 ESS를 위한 운영시스템은 부하 예측, 신재생전원 출력예측, 최적 충·방전 스케

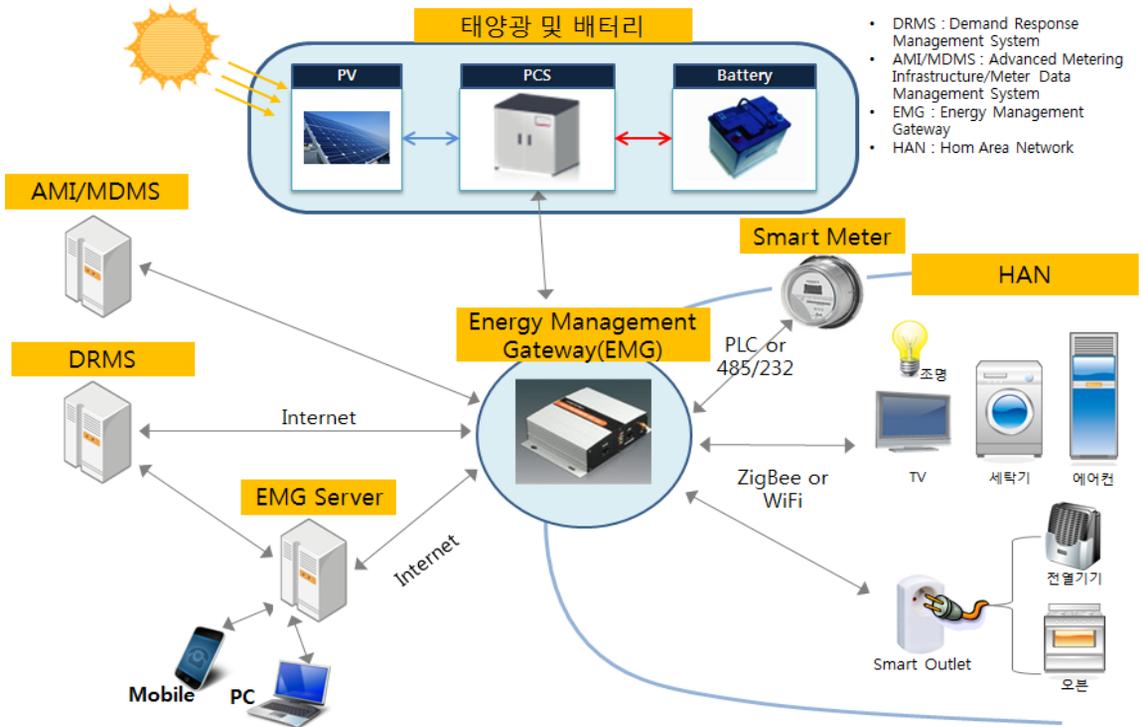
줄링, 실시간 운전, 비상운전 등의 S/W 핵심 기능을 필요로 한데, 아직 국내에서는 상용화된 제품이 없는 것으로 파악되고 있다. 운영 기술이 확보되어야 기술적인 측면뿐만 아니라 보급 활성화의 단초가 되는 수익성 확보에 결정적으로 기여하게 될 것으로 예상된다.

4. 중소용량 ESS의 수요반응 서비스 적용 구성

정부의 에너지정책의 일환으로 개별 홈 및 사무 공간, 소규모 공장시설 등의 공간에 신재생에너지와 ESS 등의 설치가 활발히 진행되고 있고, 수요자원의 적극적인 관리를 목적으로 DR 시장의 도입과 수요반응 사업자를 육성하는 등의 정책을 지속적으로 추진하고 있으나, 신재생에너지 및 ESS(전력저장시스템)과 연계하여 수용가 수요관리를 위한 구체적인 비즈니스 모델이 없었으며, 최적운영 및 관리를 위한 수요조절용 운영시스템에 대한 연구 개발이 미흡하다.

AMI 시스템이 전력수용가의 소비전력정보를 수집하여 소비전력 전반에 대한 다양한 통계와 발전 및 송배전의 의사결정을 가능케 하지만 비교적 많은 수의 저압 일반수용가의 전력 소비 절감에 결정적인 역할을 담당하기에 어려움이 있다. 그리고 저압 일반 수용가 및 중소규모 건물에 설치되고 있는 태양광 발전 및 배터리 장치는 발전 또는 비상전력으로 사용되고 있을 뿐 연동성 등에 대한 기능이 미비한 실정이다. 현장에 설치중인 중소규모의 신재생에너지원과 ESS를 효과적으로 운영하기 위해서는 이러한 장치를 적극적으로 DR 자원화 하는 노력이 요구된다.

본 논문에서는 에너지관리게이트웨이(EMG; Energy Management Gateway)를 이용하여 중소형 규모의 신재생에너지와 ESS 장치를 효과적으로 결합하고 필요에 따라 수용가의 에너지소비정보를 반영한 안정성 기반의 DR 자원으로 활용할 수 있는 구성안을 제시하고자 한다.

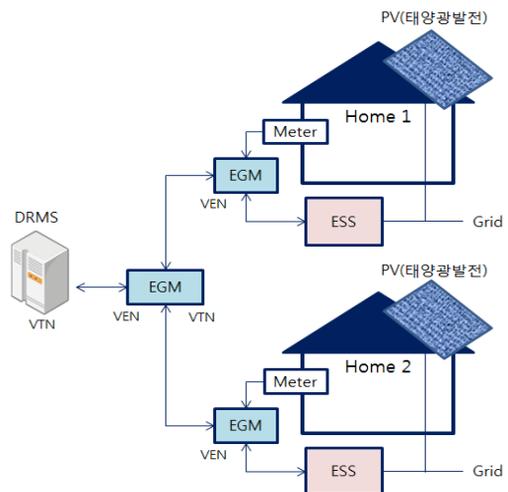


[그림 2] 시스템 구성

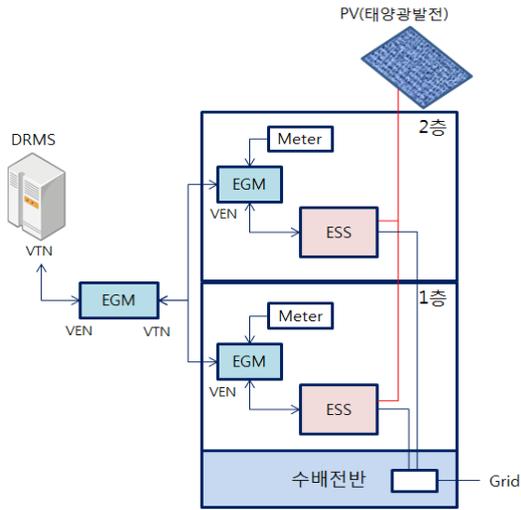
위의 [그림 2]는 EMG를 이용한 신재생에너지/ESS 기반의 수요반응 관리를 위한 시스템 구성으로 신재생에너지 및 ESS 중 적어도 하나가 설치되며 각각의 EMG가 설치된 수용가, 수용가들에게 수요반응 서비스를 제공하는 DRMS, 수용가의 원격검침 전력정보를 제공하는 AMI/MDMS, EMG를 통해 제공되는 정보들을 관리 및 Mobile, PC로의 모니터링 정보를 제공하는 EMG Server로 구성하는 수요반응 관리방법이다. 기본적인 EMG의 역할과 기능은 OpenADR 2.0 및 EI(Energy Interoperation)에서 정의하고 있는 상대 노드(node)간 연동 모델을 기반으로 상위노드는 VTN(Virtual Top Node), 하위노드는 VEN(Virtual End Node)으로 역할을 규정한다.

[그림 2]는 단독주택의 단일 ESS로 구성된 수용가를 대상으로 한 경우 적용 가능한 구성이며, 아래의 [그림 3]과 [그림 4]는 다수의 단독 주택 또는 단일 건물의 각 층에 분산 설치된 ESS와 태양광 설비를 관리하기 위해 여러개의 EMG를 설치한 형태의 시스템

구성이다. 이러한 구성으로 다수의 단독주택 또는 다세대 건물에 EMG를 추가 설치하여 분산 설치된 ESS 및 태양광 설비를 하나의 그룹으로 관리할 수 있다.



[그림 3] 복수 주택의 시스템 구성



(그림 4) 다세대 건물의 시스템 구성

EMG는 중소용량 태양광 및 ESS의 충전 전력을 기반으로 수요반응 서비스 참여를 제공하는 역할을 수행하기 위해 아래와 같은 수요반응 동작을 수행한다.

- DRMS(수요반응관리시스템)로부터 EMG에 수요반응 정보가 전달되면 EMG는 ESS 및 PV의 발전 상태를 수집하고 수집된 정보를 확인하여 수요반응 정보에 포함된 감축목표를 달성할 수 있는지를 여부를 확인한다.
- EMG는 DRMS로부터 수신한 수요반응정보를 통해 목표 감축량을 달성할 수 있는 경우 수요반응 서버에 수요반응에 참여할 것임을 통보한다.
- EMG는 참여하기로 결정한 수요반응 이벤트에 해당하는 ESS의 운전모드와 지속시간을 ESS에 전달한다.
- ESS가 수요반응 운전모드로 동작을 시작하여 일정기간 후 동작을 완료하면 EMG에 수행완료에 대한 정보를 전달한다.
- EMG는 ESS의 수요반응 수행 완료 후 해당 수용가의 미터로부터 미터링 정보를 수집하여 ESS가 수요반응 감축목표를 달성했는지 확인한다.
- EMG는 수요반응 수행에 따른 결과를 수요반응 서버에 전달한다.

[그림 3]과 [그림 4]와 같이 EMG가 복수 레벨로 구성이 되더라도, EMG의 동작 일관성을 위해 상위

EMG는 연계된 하위 EMG를 수요반응 자원으로 간주하여 동일한 매커니즘으로 동작하며 상위 EMG는 하위 EMG에 DRMS와 같은 동작을 수행하여 동작 방식의 일관성을 갖도록 한다.

5. 결 론

산업 발전에 따른 전력 수요가 해마다 증가함에 따라 그리고 지속적인 전자기기의 증가에 따라 수용가에서 사용되는 전력량은 기하급수적으로 증가하고 있다. 그러나 전력 생산 설비를 증가시키는 것은 현실적으로 상당한 한계가 있다.

이에 따라, 국가적 차원에서는 에너지정책의 일환으로 개별 홈, 사무 공간, 소규모 공장시설 등 수용가의 공간에 신재생에너지와 에너지 저장 시스템(ESS : Energy Storage System) 등의 설치를 장려 및 지원하는 정책을 지속적으로 추진하고 있다. 그러나 신재생에너지 또는 ESS는 단순히 전력을 발전시키거나 전력을 저장 및 방전할 뿐 수용가별 다양한 전력사용량에 따른 차별적 대책이 없다.

특히, 대형 건물의 경우에 에너지 변동 폭이 크기 때문에 고정용량의 ESS 등을 사용하는 경우 건물 일부의 전력사용이 급격히 증가하는 상황에서, 건물전체 예비전력이 위험수준까지 떨어져서 건물전체에 블랙아웃 현상까지 발생할 수 있어 이로 인하여 업무 또는 일상생활에 지장을 주는 문제점이 발생하게 된다. 반면, 중소규모 건물 및 개별 홈은 에너지의 변동 폭이 상대적으로 적으며 중소규모 ESS를 에너지소비가 많은 부분에 집중적으로 배치하는 등의 방법을 통해 비교적 쉽게 안정적인 전력공급이 가능하도록 설계가 가능하다. 또한 신재생에너지가 연계된다면 이를 통해 비교적 빠른 시간에 충전이 가능하기 때문에 배터리 충전을 위한 비용이 발생하지 않을 수 있다.

본 논문에서 제시하는 중소형 ESS의 운영 시스템 구성안은 대용량 ESS가 가지는 문제점들을 감안하여 이루어진 것으로 수용가에 설치된 다양한 용량의 신재생에너지 및 ESS를 상황에 따라 결합할 수 있도록 구성하여 수요반응 자원화하고 EMG를 통해 수요반응 서비스하는 것이다.

이러한 구성을 통해 많은 수의 중소규모 빌딩 및 홈을 수요관리 자원으로 활용할 수 있게 됨으로서 적은 비용으로 단시간에 많은 수의 안정된 수요반응 자원을 확보할 수 있으며 이를 통해 조기에 수요자원 거래시장의 활성화와 안정적인 운영에 기여할 수 있을 것이다. 또한, 태양광 발전 및 배터리 장치의 효과적인 운영에 대한 의사결정을 가능케 하여 이를 통해 수용가 전력소비 감축의 효율성과 전력계통의 안정성에도 기여할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] 지능형전력망협회, “스마트그리드 AMI 기술동향 보고서”(2012)

[2] 지능형전력망협회, “스마트그리드 ESS 기술동향 보고서”(2012)

[3] 손범석, 전력수요 증가와 수요관리 정책, 2014.04 녹색기술센터 Green Tech Review 2014-APRIL-01

[4] 2015 스마트그리드 연감, 전력기반센터 / 제작 : 한국스마트그리드협회, 전력신문

[5] “OpenADR 2.0 Profile Specification B Profile”, OpenADR Alliance

[6] “Energy Interoperation Version 1.0”, OASIS (Advancing open standards for the information society)

[7] 김웅상, 전력저장장치(ESS)와 국내외 ESS 정책,

[8] 전기평론

● 저 자 소 개 ●



김 혜 영

2005년 경상대학교 정보통계학 학사
 2007년 성균관대학교 대학원 통계학 석사
 2008년~ (주)우암코퍼레이션 선임연구원
 관심분야: 지능형시스템, IT정책 및 서비스, IT융합



송 혜 자

1990년 숭실대학교 전산학 학사
 1998년 이화여대 정보과학 대학원 수료
 2001년 서울대 행정대학원 정보통신방송정책과정 수료
 2014년 숭실대 벤처경영학과 학사
 2014년~ 숭실대학교 IT정책융합대학원 석·박사과정
 1993년~ (주)우암코퍼레이션 대표이사
 관심분야 : IT정책 및 서비스, 멀티미디어, IT융합