

수명감소를 고려한 주파수 조정용 에너지저장장치의 최적 클러스터링

Optimal Clustering of Energy Storage System for Frequency Regulation Service Considering Life Degradation

김 옥 원* · 김 진 오*
(Wook-Won Kim · Jin-O Kim)

Abstract - Recently, many countries have placed great attention on energy security and climate changes. Governments are promoting the construction of renewable energy projects with regulatory support in Korea. Despite an increasing penetration of renewable resources, however, the photovoltaic and wind power are underutilized due to the endemic problems such as difficulties of output control and intermittent output. The Energy Storage System (ESS) is proposed as a good solution for solving the problems and has been studied in both the private business and the government. However, because of inefficient aspects, the research has been carried out for improving high costs and a small capacity. In addition, the ESS is currently installed for using only one purpose which is frequency regulation or transmission congestion relief such that has an economic limitation. Therefore, methods which are becoming economically justifiable to increase the penetration of the ESS are required. Thus, this paper presents in terms of operation efficiency to improve economic feasibility of the ESS currently used. mainly, there are two aspects for the operation efficiency. Firstly, it is intended to improve the utilization rate through a process that can utilize the ESS for various purposes. It is necessary to be able to use for other purposes by classifying and clustering for increasing the efficiency of availability. The clustering method is proposed to conduct the grouping the ESS. Especially, it is proposed to utilize ESS for frequency regulation service which is the one of ancillary services in the power system. Through case studies, it is confirmed to secure the necessary resources by clustering small size ESS.

Key Words : Optimal clustering, Energy storage system, Frequency regulation, Life degradation

1. 서 론

전력은 일반적으로 저장이 어렵기 때문에 발전과 수요를 항상 동일하게 유지하여야 한다. 하지만 발전기의 고장 또는 급격한 부하의 변화로 인하여 발전과 수요의 불균형이 발생하면 주파수의 변화가 생기게 된다. 전기사업자는 전력거래소의 급전지시에 따라 발전력 조정 등의 방법으로 계통주파수를 평상시 $60 \pm 0.2\text{Hz}$ 의 범위 이내로 유지하여야 한다. 다만, 비상상황의 경우에는 $62\text{Hz} \sim 57.5\text{Hz}$ 범위 내에서 유지할 수 있다[1]. 만약 주파수의 변화를 방지하게 되면 발전기들이 동기속도에서 이탈하고 연쇄적인 탈락으로 이어져 광범위한 정전을 유발할 수 있다. 전력계통 운영규정에서는 이를 방지하기 위하여 3단계로 나누어 주파수의 변화를 방지한다. 첫 번째는 조속기를 통한 주파수 하락방지이다. 만약 상정사고가 일어나게 되면 10초 이내에 조속기가 동작하여 주파수 하락을 막는다. 최초 동작 시에는 빠른 반응속도를 요구하기 때문에 증발률이 높은 발전기가 역할을 담당하게 된다. 두

번째는 자동발전제어 (AGC : Automatic Generation Control)를 통한 주파수 회복으로서 30~60초 후에 주파수 회복에 필요한 만큼 자동으로 발전하여 주파수를 회복한다. 세 번째는 경제급전으로 부하를 예측하여 발전계획을 세움으로써 평상시 발전량을 적절하게 확보하여 주파수 하락을 방지한다. 전력계통의 주파수는 끊임없이 변하고 만약 기준치 이상의 주파수 변화가 발생하면 빠르게 응답하여야 한다. 이러한 관점에서 볼 때 에너지저장장치는 반응속도가 기존 발전기에 비해 매우 빠르기 때문에 주파수조정 서비스를 제공하기에 적절하다고 할 수 있다[2-6]. 하지만 주파수 조정을 위한 반복적인 사이클링은 에너지저장장치의 수명을 감소시키고 비싼 에너지저장장치의 용량당 가격으로 인하여 경제적이지 못하다. 그러므로 경제성을 제고할 수 있는 방안을 마련하여야 한다. 현재 주파수 조정용 발전기는 주파수예비력을 위해 발전량 중 5%의 여유분을 유지하여야 하고 만약 주파수 조정이 필요하면 비싼 LNG 발전기가 발전하게 된다. 만약 에너지저장장치 도입된다면 비싼 LNG발전기 대신 주파수 조정을 담당함으로써 에너지저장장치의 취약한 경제성을 제고할 수 있다. 그럼에도 불구하고 여전히 높은 가격으로 인하여 수요는 정부 및 시범사업과 같은 공공 용도에 집중되어 있다. 현재 에너지저장장치의 용량당 가격은 대규모 생산에 의해 점차 떨어지고 있는 추세이며 2015년 $400\$/\text{kWh}$ 를 기점으로 에너지저장장치의 수요가 급격하게 증가할 것으로 예상하고 있다[7, 8]. 이와 더불어 전기자동차

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University, Korea

E-mail : jokim@hanyang.ac.kr

* Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University, Korea
Received : November 15, 2015; Accepted : March 18, 2016

와 HEMS(Home Energy Management System)과 같은 소규모 에너지저장장치의 보급도 확대될 것이다. 만약 이러한 분산된 소규모 에너지저장장치를 주파수 조정과 같은 전력보조서비스에 활용할 수 있다면 경제성을 제고할 수 있을 뿐만 아니라 이로 인한 보급의 확대에도 도움이 될 것이다. 소규모 에너지저장장치를 주파수 조정서비스에 이용하기 위해서는 먼저 이를 가상발전소(VPP : Virtual Power Plant)와 같이 소규모 자원을 결집하여 하나의 가상발전기와 같은 형태로 만들어 자원을 확보하는 한편 관리의 용이성을 확보하는 작업이 필요하다[9]. 본 논문에서는 이를 위하여 에너지가 제한되어 있는 에너지저장장치의 특성 반영하기 위하여 분산된 소규모 저장장치의 각기 다른 사용패턴을 고려한 클러스터링 기법을 제안한다. 또한 클러스터링된 에너지저장장치를 주파수조정 서비스에 활용할 때 수명비용을 최소화할 수 있는 운영전략을 제안한다.

2. 본 론

2.1 주파수 제어용 에너지저장장치의 클러스터링

에너지저장장치를 클러스터링은 그림 1과 같이 이루어진다. 먼저 다수의 소규모 에너지저장장치를 적절한 그룹으로 분류하기 위하여 과거 사용패턴에 따라 사용가능량 패턴을 산출하고 패턴에 따른 클러스터링을 이용하여 그룹별로 분류한다. 주파수 조정이 필요하게 되면 가용량에 따라 그룹을 선정하여 그룹 내에서 적합도 산정을 통하여 적합도가 가장 낮은 순서대로 수요만큼 충/방전하고 차후 사용패턴을 갱신한다. 이러한 수행과정을 통하여 먼저 특정시간에 필요한 에너지량을 확보할 수 있고 적합도 산정을 통한 최소비용발전으로 비용적인 측면에서도 유리하게 작용한다.

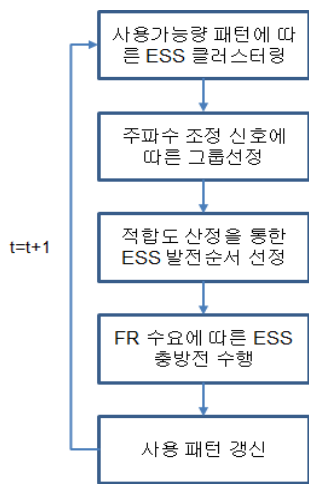


그림 1 클러스터링 수행 과정
Fig. 1 Progress of clustering

2.2 에너지저장장치 클러스터링 기법의 선정

K-평균 알고리즘(K-means algorithm) 클러스터링은 프로그

래밍으로 구현하기에 쉬우며, 클러스터링 기법으로 오래전에 개발되었기 때문에 기술적 진보가 많이 이루어진 반면 각 데이터의 중심을 이용해서 클러스터링을 구하는 방식으로, 다른 클러스터링 기법에 비해서 오차가 크다는 단점이 존재한다. Spectral 클러스터링은 방향성을 가지는 데이터의 분류를 하는 것에 적합한 반면 유사행렬 및 고유치를 구하는 연산 과정이 복잡하고 코딩에 상당히 많은 시간을 요구한다. EM(expectation Maximization) 클러스터링은 데이터들을 기대치와 우도를 통해서 계산하기 때문에, 오차가 많이 줄어든다는 장점을 가지는 반면 우도와 기대치를 구하는 과정이 복잡하다는 단점이 존재한다. SVM(Support Vector Machine)은 각 데이터의 중심을 통해서 최적의 초평면을 구하는 방법이기 때문에, 오차율이 다른 클러스터링 기법에 비해서 작은 반면, 데이터를 2개의 집단으로 나눌 수밖에 없다.

주파수조정의 경우 정확한 에너지를 예측하기 힘들기 때문에 미리 유사한 패턴을 가지는 에너지저장장치를 그룹화 하여 자원을 확보하여야 한다. 이는 단순히 두 그룹으로 나누기 힘들기 때문에 SVM은 제외된다. 또한 빠른 계산 속도를 요구하기 때문에 복잡한 클러스터링 기법은 적절치 않다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 다양한 에너지저장장치를 클러스터링하기 위한 기법 중 K-평균을 이용한 클러스터링 기법을 적용한다.

2.3 K-평균 알고리즘

K-평균 알고리즘은 주어진 데이터를 k개의 클러스터로 묶는 알고리즘으로, 각 클러스터와 거리 차이의 분산을 최소화하는 방식이다. k를 클러스터링 개수(군집 개수)라 하면, K-평균 clustering을 구하는 과정은 다음과 같다. 먼저 k 개의 cluster를 임의로 선택하고, 남아있는 n-k 샘플들에 대해서는 가장 가까이 있는 중심점을 찾는다. 그 다음 가장 가까이 있는 데이터를 기존의 cluster 샘플에 포함시킨 후 추가된 데이터가 포함된 샘플의 중심점을 다시 계산한다. 계산과정에서 중심점과 새로운 데이터를 찾는 것은 한번씩 처리한다. 각 샘플은 데이터의 모든 값을 더하여 데이터의 개수로 나누어 중심점을 찾는다. 샘플의 중심점이 데이터의 값과 상이할 경우에는 중심점의 값과 가장 유사한 데이터를 중심점으로 설정한다. 이 과정을 반복히 정리해 보면, j 번째 클러스터의 중심을 μ_j , 클러스터에 속하는 점의 집합(샘플)을 S_j 라고 할 때, 전체 분산은 다음과 같이 계산된다.

$$V = \sum_{i=1}^k \sum_{j \in S_i} |x_j - \mu_i|^2 \tag{1}$$

여기서, x_j 는 j 번째 데이터, S_j 는 클러스터에 속하는 점의 집합이며, 이 값을 최소화하는 S_j 를 찾는 것이 알고리즘의 목표가 된다.

2.4 클러스터링을 위한 사용가능량 선정

각각의 에너지저장장치는 시간에 따른 사용 패턴이 다르며 t 시간에 보유하고 있는 에너지와 그때의 SOC의 변화에 의해 출력

을 나타낼 수 있다. i 번째 에너지저장장치의 t 시간에서 충전상태(SOC : State of Charge)를 $SOC_{i,t}$ 라고 하고 그 때의 용량을 C_i 라고 하면, 에너지저장장치의 t 시간의 출력($P_{i,t}$)는 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$SOC_{i,t} \times C_i = P_{i,t} \quad (2)$$

에너지저장장치의 클러스터링을 수행하기 위해서는 (2)에 나타난 출력이 아닌 사용가능량이 필요하다. 각각의 에너지저장장치가 주파수 조정수요가 있을 때 발전 가능한 최대출력의 산정이 필요하며 이를 사용가능량이라 정의한다. 사용가능량은 에너지저장장치가 저장할 수 있는 에너지가 사용이력에 따라 달라지기 때문에 현재 얼마만큼의 출력이 가능한지에 대한 지표이며 이는 t 시간의 SOC에 의해 결정된다. 사용가능량($V_{i,t}$)에 대한 식을 (3)에 나타내었다.

$$V_{i,t} = \begin{cases} C_i/\Delta t & : SOC_i < P_i^{max} \times \Delta t / C_i \\ P_i^{max} & : SOC_i \geq P_i^{max} \times \Delta t / C_i \end{cases} \quad (3)$$

이 때 에너지저장장치의 사용가능비($A_{i,t}$)은 정격출력($P_{i,max}$)와 사용가능량($V_{i,t}$)의 비로 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$A_{i,t} = \frac{V_{i,t}}{P_{i,max}} \quad (4)$$

(4)의 사용가능비 식을 통하여 에너지저장장치의 사용가능량패턴이 결정되고 패턴이 유사한 에너지저장장치들끼리 k -평균 알고리즘을 이용하여 클러스터링 한다.

2.5. 적합도 산정

주파수제어 신호가 들어왔을 때 에너지저장장치의 출력 분배를 위하여 적합도 산정을 통한 발전순서가 결정된다. 다수의 에너지저장장치가 존재할 때 각 에너지저장장치들은 각각의 용량 및 출력이 다르기 때문에 같은 양을 출력하더라도 수명이 감소되는 정도가 다르다. 특히 주파수제어는 빈번하게 이루어지기 때문에 에너지저장장치의 수명비용은 민감한 사항일 것이다. 본 논문에서는 각 에너지저장장치의 현 상태에서 단위 출력(kW) 당 수명감소 정도를 판별하여 발전순서를 결정한다. 이를 위해서는 먼저 에너지저장장치의 상태를 나타내는 평균 SOC와 SOC의 변동치(SOC swing)에 관하여 정의되어야 한다. 평균 SOC는 (5)와 같이 나타내며 전체 T 시간동안에서의 평균 SOC를 나타낸다.

$$S_i^{AVG} = (SOC_{t+1} + SOC_t) / 2 \quad (5)$$

SOC swing의 경우 에너지저장장치의 충전과 방전의 깊이를 나타내며 그림 2와 같이 개념적으로 표현할 수 있고 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_i^{SW} = |\Delta SOC_t| = |SOC_{t+1} - SOC_t| \quad (6)$$

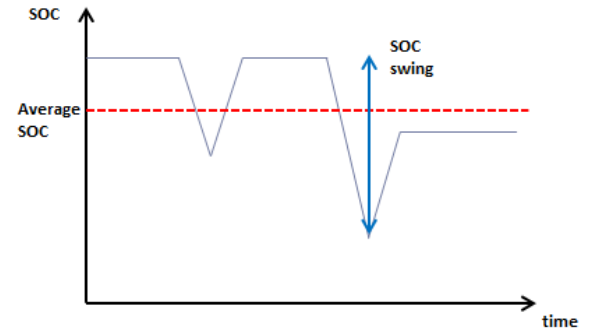


그림 2 평균 SOC와 SOC swing의 개념
Fig. 2 Concept of average SOC and SOC swing

에너지저장장치는 종류에 따라 총 사용할 수 있는 cycle수가 다르다. 본 논문에서는 리튬이온 배터리로 가정하였으며 평균 SOC와 SOC swing에 따른 총 사이클의 변화는 그림 3과 같이 나타낼 수 있다.

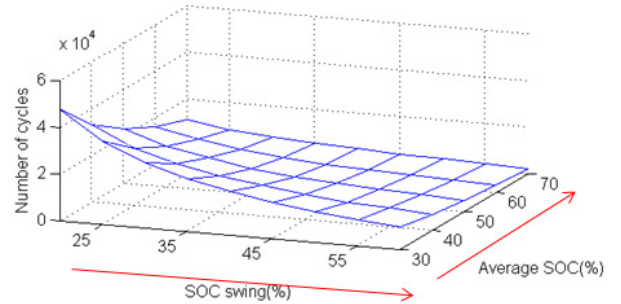


그림 3 평균 SOC와 SOC swing 따른 총 사이클
Fig. 3 Total cycle of average SOC and SOC swing

그림 3은 실험을 통하여 얻어지는 값이며 리튬이온 배터리의 경우 낮은 평균 SOC에서 작은 SOC swing일수록 수명이 증가하는 것을 볼 수 있다. 그림 3을 회귀분석을 통하여 식으로 나타내면 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\ln N(S^{SW}, S^{AVG}) = -1.453 \ln S^{SW} - 3.6 S^{AVG} + 9.547 \quad (7)$$

이를 평균 SOC 및 SOC swing의 2변수 함수로 정리하면 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$N(S^{SW}, S^{AVG}) = (S^{SW})^{-1.453} \times e^{-3.6 S^{AVG}} + 14003 \quad (8)$$

에너지저장장치는 한 사이클에 충전과 방전을 모두 포함하므로 총 2번 동작한 것으로 할 수 있다. t 시간에는 충전 또는 방전이 한번만 일어난다고 가정하면 그때의 손실은 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$C_t^{LOSS} = \frac{1/2}{N_t(S_t^{SW}, S_t^{AVG})} \quad (9)$$

일반적으로 리튬이온 배터리의 수명은 최초 용량대비 80%까지 감소한 것을 의미한다. 이를 이용하여 손실을 고려한 t 시간에서 용량은 (10)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 C_0 는 최초의 용량을 의미한다.

$$C_t = C_0 \times \left(1 - 0.2 \times \sum_{i=1}^{t-1} C_i^{LOSS}\right) \quad (10)$$

결과적으로 t 시간에서 i 번째 에너지저장장치의 가격감소 (Aging Cost: $AC_{i,t}$)는 (11)과 같이 설비비용(IC_i)과 손실의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$AC_{i,t} = C_{i,t} \times IC_i \quad (11)$$

3. 사례 연구

3.1 사례 연구 배경

본 논문에서는 주파수조정용 에너지저장장치 클러스터링의 사례 연구를 시행하였다. 먼저 에너지저장장치는 서로 다른 사용패턴을 가지고 있는 소규모 에너지저장장치가 500개 있다고 가정하였다. 이러한 서로 다른 과거 사용패턴을 가진 에너지저장장치를 각 시간대에 사용가능 에너지 패턴별로 클러스터링 하여, 주파수 조정이 필요할 시 적합한 가용량을 가진 그룹을 선정한다. 주파수조정 서비스를 위해서는 제어신호가 감지되면 10초 이내에 반응하여야 한다고 가정하였으며 출력가능량은 200W 이상, 발전 지속시간은 15분 이상 되어야 한다. 사례연구에 사용된 에너지저장장치의 정규화된 사용패턴을 그림 4에 나타내었다.

3.2 클러스터링 사례 연구

그림 4의 500개의 에너지저장장치를 유사한 사용패턴에 따라 k-평균 알고리즘을 이용하여 그림 5와 같이 5개의 그룹으로 분

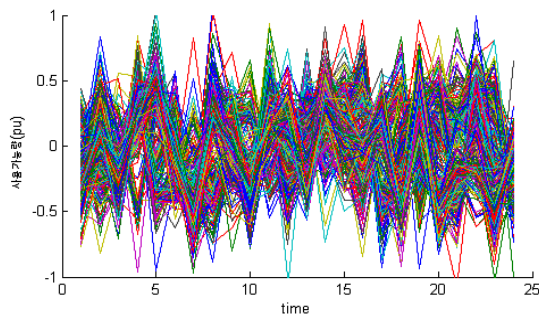
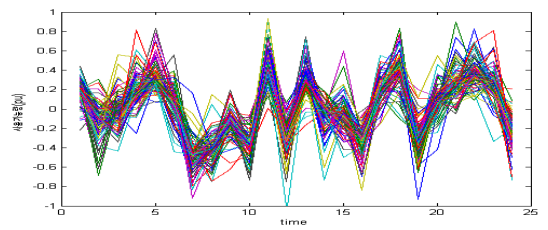
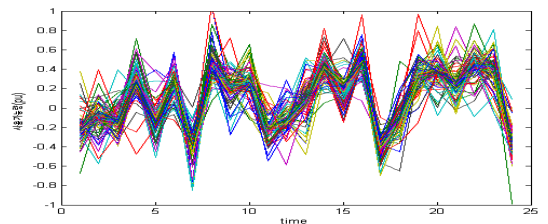


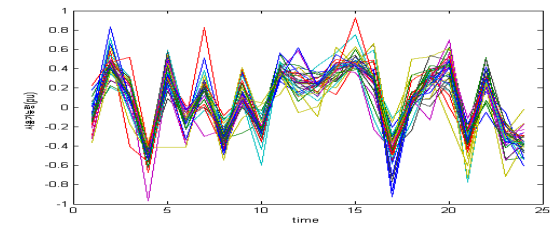
그림 4 에너지저장장치의 사용가능량 패턴
Fig. 4 Generation ability patterns of ESS



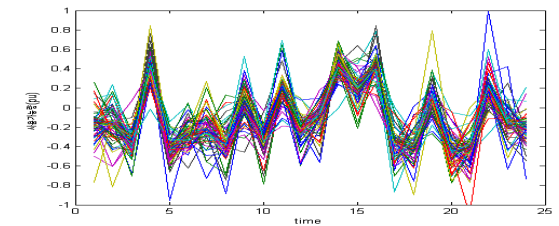
(a) 그룹1



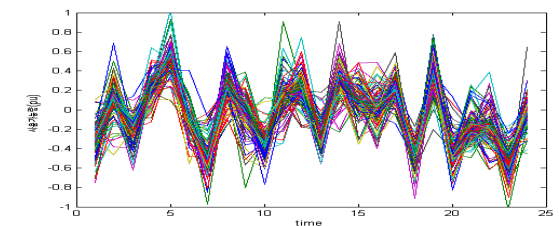
(b) 그룹2



(c) 그룹3



(d) 그룹4



(e) 그룹5

그림 5 클러스터링된 에너지저장장치

Fig. 5 Clustered ESSs

류하였으며, 각각의 그룹은 124개, 100개, 37개, 88개, 151개의 에너지저장장치를 가진다. 그림 6은 각 그룹별 에너지저장장치의 시간별 총 사용가능량을 나타내고 있다. 주파수조정 신호는 8시에 최초 20kW 만큼 발생하였다고 가정하였고 사용가능량이 가장 높은 그룹 2가 선정되었다. 각 그룹의 8시 사용가능량은 표 1에 나타내었다.

표 1 각 그룹의 8시 사용가능량

Table 1 Generation ability of each group at 8

	그룹1	그룹2	그룹3	그룹4	그룹5
사용가능량(kW)	-50.85	44.4	-11.68	-31.29	32.54
ESS 개수	124	100	37	88	151

그림 5와 같이 클러스터링이 기준에 의해서 에너지저장장치가 그룹화 되면 전체 에너지저장장치에 대한 발전순서를 (11)을 활용하여 단위발전량당 비용이 적은 순서대로 순서를 매긴다. 이를 그림 6에 나타내었다.

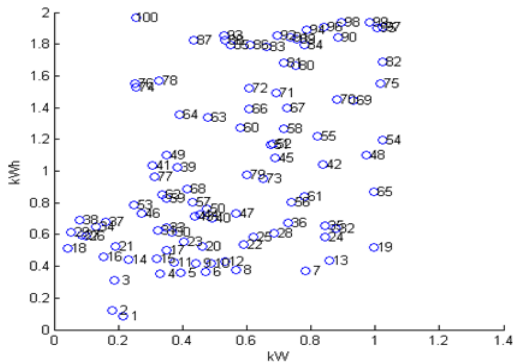


그림 6 에너지저장장치(그룹 2)의 발전 순서

Fig. 6 ESS Group 2 generation order

주파수 제어 신호를 받게 되면 주파수조정서비스의 제약조건으로부터 클러스터링된 에너지저장장치 내에서 비용이 낮은 순서대로 발전한다. 이는 그림 7에 나타내었다. 여기서 발전순서가 정해진 에너지저장장치들은 SOC가 낮은 상태의 에너지저장장치가 선정됨을 볼 수 있다. 이는 그림 3의 수명 특성에 나타난 것처럼 SOC가 낮은 상태에서 충전과 방전을 수행하는 것이 배터리의 수명에 유리하다는 것을 의미한다. 15분 후 클러스터링된 에너지저장장치가 주파수 수요에 의해 발전하게 되면 사용된 에너지저장장치의 SOC는 감소하게 된다. 그 다음 감소된 SOC를 적용한 에너지저장장치들을 다시 적합도 순서를 결정하고 다음 시간에 필

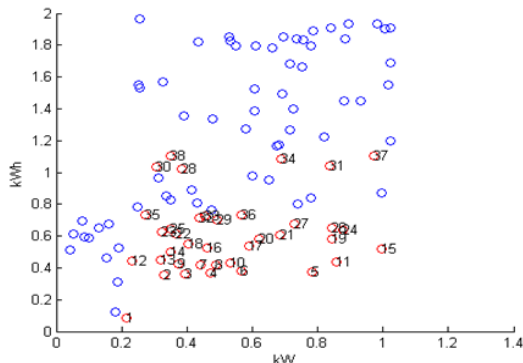


그림 7 에너지저장장치의 클러스터링발전 순서

Fig. 7 generation order of Clustered ESS

요한 양만큼 클러스터링 한다. 15분, 30분 후의 클러스터링을 그림 8과 9에 나타내었다. 그림에서 보면 최초 클러스터링된 에너지저장장치들이 발전을 통해 용량이 감소함으로써 다음 주파수 조정에서 제외되는 것을 확인할 수 있다. 이러한 과정을 통하여 소규모 에너지저장장치로부터 주파수 조정에 필요한 용량을 확보할 수 있으며 사용가능량을 활용하여 클러스터링 함으로써 에너지저장장치의 교차이용이 가능할 것으로 사료된다.

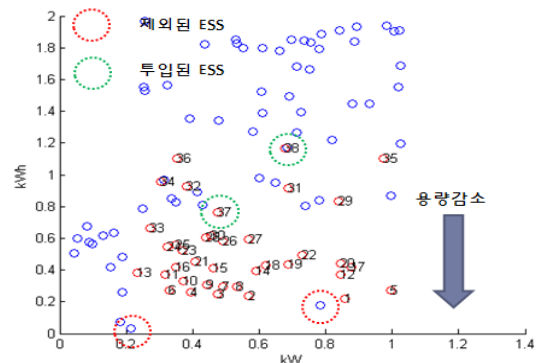


그림 8 에너지저장장치의 클러스터링(15분 후)

Fig. 8 ESS Clustering(after 15 minute)

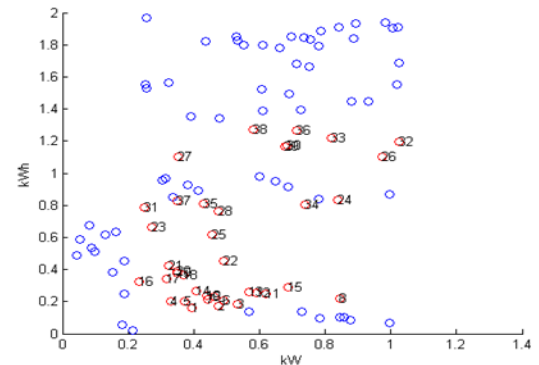


그림 9 에너지저장장치의 클러스터링(30분 후)

Fig. 9 ESS Clustering(after 30 minute)

표 2 주파수조정서비스 클러스터링 결과

Table 2 Result of clustering in frequency regulation service

	사례1	사례2	사례3	클러스터링
사용가능량(kW)	12.095	41.002	22.285	55.017
수명비용(%)	용량부족	189.9%	142.8%	100%

표 2는 주파수조정서비스에서 클러스터링 결과와 무작위 방법으로 클러스터링 하였을 때 가용량을 보여준다. 무작위 방법으로는 결과 중 일부만 표에 나타내었다. 제한한 방법의 사용가능량을 100%라고 했을 때 사용가능량은 최소 14kW에서 최대 43kW 이상 증가하는 것을 확인하였다. 또한 같은 양을 출력했을 때 수명비용도 감소하는 것을 표 2에서 확인할 수 있다. 제한한 방법

은 전체적인 가용성을 증가시킬 뿐만 아니라 수명도 증가시킨다.

4. 결 론

본 논문에서는 소규모 에너지저장장치를 주파수조정 서비스에 이용하기 위한 클러스터링 기법을 제안하였다. 제안한 방법을 이용한 클러스터링으로 그룹화된 에너지저장장치들은 각각 하나의 가상발전기와 같이 이용할 수 있다. 또한 사용가능량으로 그룹화함으로써 특정 시간에 가장 유리한 그룹을 선별해 낼 수 있다. 본 논문에서 사용된 배터리에너지저장장치의 경우 이용 사이클이 증가함에 따라 수명이 감소하는 특성을 가진다. 하지만 배터리의 SOC와 충방전의 깊이에 따라 같은 에너지를 방전하더라도 수명 감소 정도가 달라지기 때문에 이러한 특성을 활용하여 최적의 충방전전략을 이용하면 최소한의 수명감소를 기대할 수 있다. 본 논문에서는 이를 위한 운영전략을 제안하였으며 제안한 클러스터링 기법과 운영전략은 향후 V2G를 비롯한 소규모 전력저장장치들이 다수 도입되었을 때 이를 계통보조서비스로 이용하기 위한 기법으로 활용될 수 있을 것이라 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (NRF-2014R1A1A2058813)

References

[1] Ministry of Knowledge Economy, "Maintenance Criteria of Power System Reliability and Quality", Dec. 2009

[2] Jun Yeong Yun, Garam Yu, Kyung Soo Kook, et al., "SOC-based Control Strategy of Battery Energy Storage System for Power System Frequency Regulation", KIEE, vol.63, no. 3, pp. 622-628 May 2014

[3] Geon-Pyo Lim, Hyun-Gyu Han, Byung-Hoon Chang, et al., "Demonstration to Operate and Control Frequency Regulation of Power System by 4MW Energy Storage System", KIEE, vol.63, no.3, pp.169-177, Sept. 2014

[4] J. Dang, J. Seuss, L. Suneja, R.G. Harley, "SoC Feedback Control for Wind and ESS Hybrid Power System Frequency Regulation", IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol.2, no.1, pp.79-86, March 2014

[5] Bo Lian, Dongmin Yu, Cheng Wang, S. Le Blond, R.W. Dunn, "Investigation of energy storage and open cycle gas turbine for load frequency regulation", 2014 49th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), pp.1-6, Sept. 2-5, 2014

[6] K. Janfeshan, M.A.S. Masoum, S. Deilami, "V2G

application to frequency regulation in a microgrid using decentralized fuzzy controller", 2014 Proceedings of the 6th International Conference on Modelling Identification & Control (ICMIC), pp.361-364, Dec. 3-5, 2014

[7] Korea Industrial Economy Research, "ESS Industry trend and business strategy of domestic and foreign", Jan. 2014

[8] Seung-II Moon, "Application and Economic Evaluation of Grid Connected Large-scale ESS", Journal of Electrical world Monthly magazine, pp.44-48, Oct. 2013

[9] Sekyung Han; Soohee Han; Sezaki, K., "Development of an Optimal Vehicle-to-Grid Aggregator for Frequency Regulation," in Smart Grid, IEEE Transactions on, vol.1, no.1, pp.65-72, June 2010

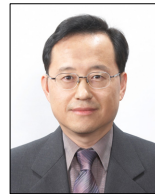
저 자 소 개



김 옥 원 (Wook-Won Kim)

1981년 6월 6일생. 2008년 8월 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 졸업. 2015년 8월 동대학원 전기공학과 졸업(박사).

E-mail : neocruser@hanyang.ac.kr



김 진 오 (Jin-O Kim)

1980년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업. 1983년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 12월 Texas A&M 대학교 전기공학과 졸업(박사). 현재 한양대학교 전기제어공학부 교수.

E-mail : jokim@hanyang.ac.kr