



[2017-6-SG-001]

산업용 수용가의 에너지저장장치(ESS)를 이용한 수요자원 거래시장 참여 전략

강병오¹⁾ · 황병국²⁾ · 권 균²⁾ · 정재성³⁾*

Operational Strategy of Energy Storage System (ESS) to Participate in Demand Response (DR) Market for Industrial Customer

Byung O Kang¹⁾ · Byung Guk Hwang²⁾ · Kyoon Kwon²⁾ · Jaesung Jung³⁾*

Received 26 October 2016 Revised 4 April 2017 Accepted 3 June 2017

ABSTRACT An operational strategy of an Energy Storage System (ESS) to participate in the Demand Response (DR) market for industrial customers is proposed. First, two ESS operations currently installed in different industries are compared. The paper then shows the different benefits of peak-shaving and arbitrage based on their load pattern. In addition, the additional cost-benefit when ESS participates in the DR market is estimated. Finally, the operational strategy is proposed to effectively respond to the DR command in conjunction with its own operations, including peak-shaving and arbitrage. The simulation result shows that the proposed operation increases the annual cost-benefit of the ESS by successfully participating in the DR market.

Key words Energy Storage System(에너지저장장치), Industrial customer(산업용 수용가), Peak Shaving(피크절감), Arbitrage(차익거래), Demand Response(수요반응)

1.

국내 전체 전력소모량의 50% 이상을 차지하는 산업용 수용가의 효율적인 수요관리를 위해 ESS 보급 필요성이 증진되고 있다. 이에 정부도 에너지 효율성 증대, 에너지산업 확대, 온실가스 감축 등을 위하여 산업용 ESS 보급 방안을 마련하고 정책적으로 지원하고 있다.^[1-2]

기존 산업용 수용가의 ESS 설치 목적은 자체 부하 관리

를 통한 전력 요금 절감을 극대화 하는 것이다. 이를 위해 수용가 부하 및 전력 사용 환경을 고려하여 적절한 ESS 설치 용량을 산정하고 효과적으로 ESS를 제어하기 위한 선행 연구들이 진행되었다.^[3-4] 또한, 산업용 ESS는 에너지산업 확대에 따른 자체 부하 관리 외에도 시장 참여를 통한 추가 수익을 가질 수 있다.^[2]

그러므로 본 논문은 산업용 수용가 ESS가 전력 요금 절감을 위한 자체 부하 관리와 동시에 수요반응(Demand Response, DR) 시장에 참여할 수 있는 운전 전략을 제안한다. 우선, 산업용 수용가 ESS의 기존 운전 전략인 피크 절감과 차익거래를 기 설치된 두 수용가를 바탕으로 분석하고 부하패턴별 편익 차이를 확인하였다. 또한, 산업용 ESS가 현재 개설된 DR 시장 중 급전감축 시장 참여 시의 예상

1) Dong-A University

2) Hyundai Electric & Energy System

3) Ajou University

*Corresponding author: jjung@ajou.ac.kr

Tel: +82-31-219-2695 Fax: +82-31-219-2208

수익과 약정 가능 용량을 산출하였다. 마지막으로 본 논문은 ESS의 기존 자체 부하 관리 기능 수행과 동시에 급전감축 지령 시 대응하기 위한 통합운전 방법을 제시하고 기 설치된 수용가를 바탕으로 시뮬레이션을 수행하여 제시된 방법의 유용성을 확인하였다.

2. 적용 수용가 비교

본지에서는 ESS가 기 설치되어 현재 운전 중인 수용가 A(태양광셀 공장)와 B(배터리 소재 공장)를 선정하여 각 수용가의 전력 사용 패턴을 기반으로 분석하였다.

우선, 수용가들의 부하 패턴을 비교하기 위해 2015년 11월 23~29일 일주일 동안 각 수용가 시간당 부하를 일일 피크로 나누어 정규화(Normalization)하였다. Fig. 1과 2는 수용가 A와 B의 평일(월~금) 평균, 토요일, 일요일의 부하를 비교하였다. 수용가 A 부하의 경우 평일과 토요일 오전(10~12시) 및 오후(14~17시)에 피크가 있는 M형태의 패턴을 보이며 일요일은 상대적으로 낮고 평탄한 패턴을 보

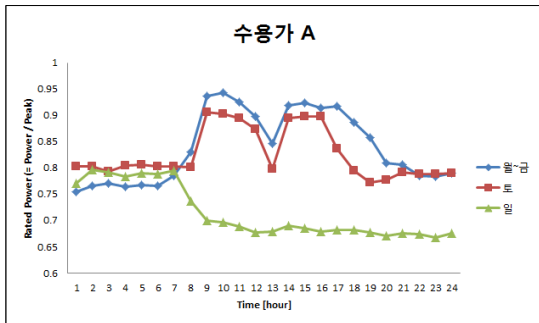


Fig. 1. 수용가 A의 요일별 부하 패턴

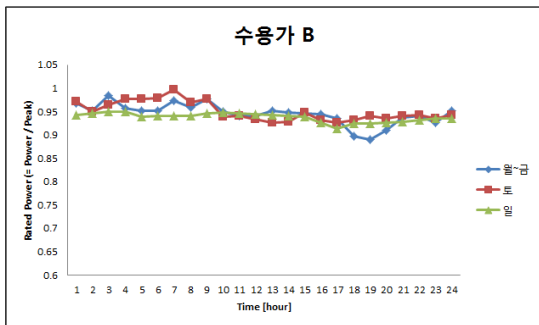


Fig. 2. 수용가 B의 요일별 부하 패턴

인다. 반면, 수용가 B의 경우 요일에 구분 없이 전반적으로 평탄하다. Table 1은 수용가 A와 B의 부하 패턴, 피크 부하, 설치 시스템을 비교하였다.

3. 기존 ESS 운전 전략

3.1 피크절감 및 차익거래

기존 산업용 수용가의 ESS는 전력 요금 절감을 위한 피크절감과 차익거래 운전을 수행한다. 현재 산업용 수용가의 전력 요금은 시간대별 차등 요금제(Time of Use, TOU)에 기본요금 제도를 도입하여 (1)과 같이 산정한다.^[5]

$$C_{month} = 1.137 \{ C_{basic} P_{peak} + \sum (C_{usage} E_{usage}) \}$$

C_{basic} : 기본요금 [원/kW]
 P_{peak} : 피크전력 [kW]
 C_{usage} : 사용량요금 [원/kWh]
 E_{usage} : 전력사용량 [kWh]

당월피크는 15분 평균전력을 측정하여 해당 월에 가장 높은 값으로 결정한다. 그러므로 P_{peak} 는 계약전력 고려 해당 월을 포함 최근 12개월 중 피크 중점관리기간(7~9월, 12~2월)동안 가장 높은 15분 평균전력으로 결정된다. C_{usage} 는 계절별 및 시간별로 차등 적용된다. 또한, 기본요금과 사용량 요금의 합계에 10%의 부가가치세 및 3.7%의 전력 산업기반기금이 부과된다.

피크절감은 ESS가 설정된 피크를 넘지 않게 관리하여 P_{peak} 를 낮추는 것을 우선시 하는 기능이다. Fig. 3과 같이 수용가의 사용 부하가 낮고 TOU 요금제 상 경부하 시간대에 ESS를 충전 후 오전/오후 피크 시 ESS를 방전하여 연중 최대 피크를 관리할 수 있다. 그러므로 당일 피크전력을

Table 1. 수용가 A와 B의 피크 및 시스템 비교

구분	수용가 A	수용가 B	
피크 부하	약 10,000kW	약 4,800kW	
시스템	PCS 용량	1MW	0.5MW
	배터리 용량	1MWh	1MWh
	변압기	380V/6600V 1기	-
	설치년도	2014	2015
	설치장소	실외	실내

관리하는 방법을 통해 전체 피크전력을 관리할 수 있고 이로 인해 전력 요금을 절감할 수 있다.

차익거래는 TOU 요금제를 활용하여 값싼 시간대의 전력을 ESS에 저장해 놓았다가 상대적으로 비싼 시간대에 방

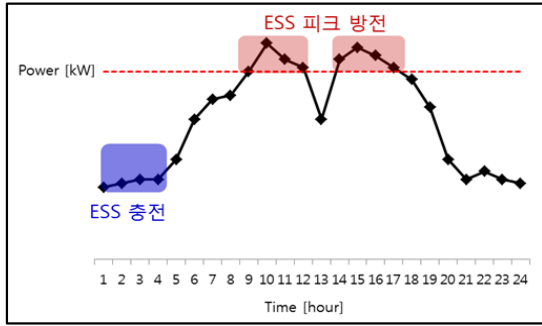


Fig. 3. 피크절감 기능

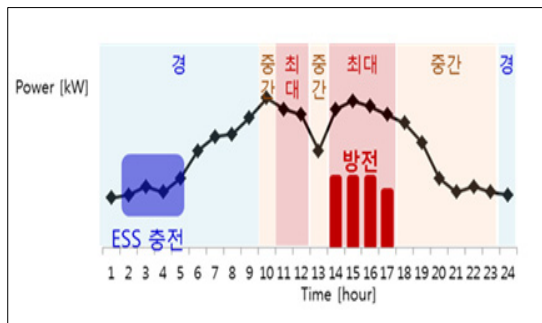


Fig. 4. 차익거래 기능

Table 2. TOU 요금제 계절별 시간 구분^[5]

구분	여름철, 봄·가을철	겨울철
경부하 시간대	23:00 ~ 09:00	23:00 ~ 09:00
중간부하 시간대	09:00 ~ 10:00	09:00 ~ 10:00
	12:00 ~ 13:00 17:00 ~ 23:00	12:00 ~ 17:00 20:00 ~ 22:00
최대부하 시간대	10:00 ~ 12:00	10:00 ~ 12:00
	13:00 ~ 17:00	17:00 ~ 20:00 22:00 ~ 23:00

Table 3. 산업용(을) 고압A 선택^[5]

기본 요금 (원/kWh)	시간대	사용량 요금(원/kWh)		
		여름철 (6~8월)	봄 가을철 (3~5, 9~10월)	겨울철 (11~2월)
8,320	경부하	56.1	56.1	56.1
	중간부하	109.0	78.6	109.2
	최대부하	191.1	109.3	166.7

전함으로써 전력요금을 절감하는 기능이다. Fig. 4와 같이 수용가 A의 경우 하절기 새벽 경부하 시간대에 ESS를 충전하고 최대부하 시간대인 14~17시 사이에 전량 방전함으로써 kWh당 약 135원의 차익을 가질 수 있다. Table 2는 TOU 요금제의 계절별 시간 구분을 나타내고 Table 3은 수용가A와 B에게 적용되는 요금제인 산업용(을) 고압A 선택 II를 보여준다.

3.2 피크절감 및 차익거래 전략

피크절감과 차익거래 기능은 ESS의 일정한 배터리 용량 내에서 유기적으로 동작 되어야 한다. 우선 Table 3에서 확인할 수 있듯이 기본요금은 사용량 요금보다 상대적으로 높기 때문에 기본요금 상승을 억제하기 위한 피크목표값 유지가 차익거래 보다 우선시 되어야 한다. 그러므로 Fig. 5와 같이 피크절감 기능을 우선 수행 나머지 배터리 용량으로 차익거래 하는 것이 효과적이다.

ESS의 일별 충·방전 패턴은 충·방전을 1회만 진행하는 single-cycle운전과 다수의 충·방전을 진행하는 multi-cycle운전으로 구분된다. Table 4는 수용가 B 시스템의 일별 충·방전 운전 패턴에 따른 전력 요금 절감 금액을 보여준다. 비교를 위해 피크절감 기능을 차익거래 기능보다 우선으로 하였다. 기타 절감효과는 피크절감과 차익거래를 통한 부가가치세 및 전력산업기반기금 절감을 나타내고, 역률요금은 미포함 하였다. 비교결과, multi-cycle 운전

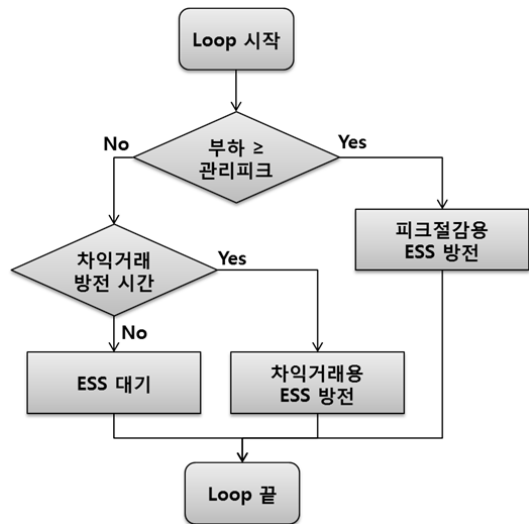


Fig. 5. 피크절감 및 차익거래 순서도

Table 4. 수용가 B의 충·방전 패턴별 전력 요금 절감 효과 비교 [천원/년]

항목	Single-cycle	Multi-cycle
피크절감	20,375	20,375
차익거래	27,150	41,295
기타 절감효과	4,702	6,116
총 절감효과	52,227	67,786

이 single-cycle 운전보다 피크절감 효과는 동일하지만 차익거래에서 더 높은 절감효과를 보였다. 하지만 multi-cycle 운전은 single-cycle 운전보다 배터리의 충·방전 cycle 증가에 따른 수명 감소 단점이 존재한다.

3.3 적용 수용가 피크절감 및 차익거래

수용가 A와 B의 연간 전력요금 절감을 비교하기 위해 우선 1년간의 부하데이터를 기반으로 각 수용가별 절감 가능한 피크목표값을 설정하고, 설정된 목표값 기준 피크절감 기능을 차익거래보다 우선시 하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션은 iSmart에서 다운로드한 각 수용가의 15분 부하 1년치(365일)를 Matlab® 기반으로 수행하였고 설정 조건은 아래와 같다.

- Single-cycle 운전
- ESS 충전 및 방전 효율 : 95%
- SOC 사용 범위 : 10~90%
- 차익거래 충·방전 출력 : 250kW(0.25C)
- 최대 가능 충·방전 출력 : 500kW(0.5C)

본 분석에서는 양 시스템 모두 최대 충·방전 가능 출력을 500kW(C-rate 기준 0.5C)로 제한하였다. 이는 두 수용가의 PCS 용량이 상이하기 때문에, PCS 용량에 따른 시스템 최대 충·방전 가능용량을 동일하게 하여 두 시스템이 같은 조건으로 운전되도록 설정하였다. 또, multi-cycle 운전에 따른 배터리 수명감소를 고려하여 ESS의 single-cycle운전을 선택하였다.

피크절감 기능을 위한 관리피크는 아래의 절차에 따라 설정되었다. 우선, 공휴일 및 일요일(경부하 시간대 제외)을 제외한 1년간 부하데이터를 기반으로 각 날마다 ESS의 single-cycle 운전으로 절감 가능한 관리피크를 임시로 계

Table 5. 수용가 A와 B의 연간 전력 요금 절감 효과 비교 [천원/년]

항목	수용가 A	수용가 B
피크절감	30,263	20,375
차익거래	30,127	27,150
기타 절감효과	6,039	4,702
총 절감효과	66,429	52,227

산하였다. 그리고 계산된 일간 관리피크 중 가장 높은 값을 최종 연간 관리피크로 설정하였다. 그러므로 ESS 운전은 Fig. 5와 같이 부하가 관리피크보다 높을 시 피크절감 기능을 우선 수행하고, 낮은 시에는 차익거래 기능만 수행한다.

수용가 B(Fig. 2)의 경우 일부 피크부하가 오전 경부하 시간대에 발생하였다. 하지만 산업용 전력요금 체계에 따라 중간부하 및 최대부하 시간대에 발생한 피크만 기본요금으로 적용되기 때문에, 경부하 시간대 최대피크는 무시할 수 있으며 이 시간대 ESS 충전으로 인한 피크증가에 대한 걱정 없이 수용가 A와 동일한 충·방전 전략을 적용할 수 있다.

Table 5는 수용가 A와 B의 연간 전력요금 절감 효과를 나타낸다. 수용가 A는 연간 약 6천6백만원의 절감효과를 기대할 수 있는 반면 수용가 B는 연간 약 5천2백만원의 효과를 기대할 수 있다. 동일한 1MWh 배터리 용량 기준으로 수용가 A가 상대적으로 약 20% 더 높은 절감효과를 보여 주며, 특히 차익거래 보다 피크절감에서 상대적으로 더 큰 차이를 보인다.

이는 수용가 A의 M자 형태 부하패턴이 수용가 B의 평탄한 부하 패턴보다 전력 요금 절감 효과가 더 크기 때문이다. M형태의 패턴은 보통 최대부하 시간대에 피크를 보이기 때문에 피크절감 효과가 크고, 새벽 경부하 시간대에 ESS를 충전하는 차익거래 모델을 적용하기 용이하다.

4. DR 시장 참여 경제성

4.1 국내 DR 시장 개요

국내 DR 시장은 연중 60~80시간의 국가 전력 첨두 피크 관리, 전력 공급비용 절감 및 발전설비 투자 인플레이션, 순발력 있고 신뢰성 높은 수급균형 유지 수단 확보 등의 필요성에 의해 전기사업법 개정을 통한 2014년 11월 25

일 출범하였다. DR 시장은 급전감축(신뢰성DR)과 계획감축(경제성DR)로 구분된다.^[6]

급전감축은 최대부하시간대에 부하를 감축 및 이전하여 전력수급 안정화를 목표로 한다. 이러한 급전감축은 단기적으로 대규모 발전기 고장 및 수요예측 오차에 신속하게 수요를 조정하여 계통신뢰도를 향상시키고, 중장기적으로 발전설비 투자 회피 및 노후발전기 퇴출 등의 효과를 가진다. 반면, 계획감축은 수요자원이 하루 전 전력 시장에 입찰하고 발전자원과 경쟁하여 전력시장가격(System Marginal Price, SMP)을 낮추어 결과적으로 계통운영자의 전력공급 비용을 절감시킨다.^[6] Table 6은 수요자원인 급전감축 및 계획감축과 발전자원의 비교를 보여준다.

4.2 급전감축 참여 효과

본 분석에서는 ESS 전용 DR 시장이 아직 준비 중에 있기 때문에 현재 개설된 수용가의 수전단 아래 전체 부하로 판단하는 수요반응 시장을 기준으로 효과를 계산하였다. 또, DR 시장 중 급전감축 참여만 고려하였다. 급전감축은 시장참여 계약 시 약정한 감축용량에 따라 매월 기본정산금 및 감축이행률에 따른 감축정산금을 수령하기 때문에 약정용량만 정해지면 수익 예측이 가능하다. 반면, 계획감축의 경우 해당 수용가의 특수한 상황에 따른 감축가능 용량을 예상하여 시장에 입찰해야 하고, 또 입찰 후 해당 수요자원이 전력거래소에서 낙찰 받아야하기 때문에 급전감축 보다 상대적으로 객관적 분석이 어렵기 때문에 제외하였다.

수요자원 거래시장 시장운영규칙에 따르면 감축시작시

점부터 최대 4시간의 대응이 필요하다. 그러므로 1시간 기준 배터리 실사용 용량과 PCS 최대출력을 비교하여 상대적으로 작은 값의 25%를 약정용량으로 설정하면 최대 수익을 얻을 수 있다. 예를 들어, ESS 배터리 용량이 1MWh 및 실사용 SOC 구간이 10~90% 경우 1시간 기준 배터리 실사용 전력은 0.8MW(h)이다. 1MW PCS의 경우 배터리 실사용 전력값이 상대적으로 작기 때문에 0.8MW(h)의 25%인 200kW로 설정하고, 0.5MW PCS의 경우 PCS 최대출력이 상대적으로 더 작기 때문에 PCS용량의 25%인 125kW로 참여가 가능하다.

급전감축 참여 예상 수익은 2014년 11월 25일부터 2015년 11월 24일까지 시장에 참여했던 수용가 중 하나의 실례를 바탕으로 월별 기본정산금(Table 7)과 기준감축정산금(Table 8)으로 나누어 계산하였다. 계산 결과, 연간 기본정산금 37,785.23원과 100% 감축이행 기준 감축정산금 1,103.72원 총 38,888.95원/kW의 수익이 발행하고 부하관리사업자의 관리비용 20%를 제외한 31,111.16원/kW이 급전감축 참여 예상 수익으로 예상된다.

Table 7. 급전감축 월별 기본정산금

기간	금액 [원/kW]	기간	금액 [원/kW]
'14.11.25 ~ 30	321,23	'15.6월	4,135,23
'14.12월	1,766,60	'15.7월	5,022,77
'15.1월	4,209,30	'15.8월	4,320,23
'15.2월	3,423,95	'15.9월	3,370,47
'15.3월	4,031,40	'15.10월	1,743,02
'15.4월	1,412,84	'15.11.1 ~ 24	2,845,81
'15.5월	1,182,28	합계	37,785,23

Table 6. 수요자원(급전감축, 계획감축)과 발전자원 비교^[6]

구분	급전감축 (신뢰성DR)	계획감축 (경제성DR)	발전기 (LNG)
감축가능 시간	평일 9 ~ 20시 (주말, 공휴일, 점심시간 제외)	평일 24시간	24시간 (고장/정비 제외)
응동시간	1시간 전	하루 전	1시간 전
의무시간	연간 60 ~ 80시간	입찰 결과	연속
감축지속 시간	최소 2시간 최대 4시간		최소 2시간 최대 연속
감축횟수	최대 2회/1일		운영발전계획
신뢰성	경제적 배상을 통한 고신뢰성		고장발생 확률

Table 8. 급전감축 실례 및 감축정산금

일자	시간	금액[원/kWh]
'14. 12. 18	9:00 ~ 10:00	166.11
	10:00 ~ 11:00	164.47
	11:00 ~ 12:00	164.47
'15. 2. 10	9:00 ~ 10:00	143.42
	10:00 ~ 11:00	134.50
	11:00 ~ 12:00	139.92
'15. 7. 24	14:00 ~ 15:00	96.24
	15:00 ~ 16:00	94.59
합계	8시간	1,103.72

5. 통합운전

5.1 통합운전 제안

위 분석결과, 급전감축 참여 시 수용가는 kW당 30,000 원 이상 효과를 기대할 수 있으며 이는 전력 요금 절감(피크절감 및 차익거래)의 단위용량 효과보다 상대적으로 크다. 그러므로 본지는 ESS의 기존 용량 전체를 전력 요금 절감으로 사용함과 동시에 급전감축에 대응하기 위한 통합 운전 방법을 아래와 같이 제안한다.

첫째, Fig. 6과 같이 ESS는 일상적으로 피크절감 및 차익거래 운전을 수행하고 급전감축 지령 시 충전이 필요하다면 급전감축 시작시점까지 1시간 동안 배터리의 부족분을 충전하여 급전감축에 대응한다. 단, 충전 시 피크절감 목표 피크값을 넘지 않아야 한다. DR시장 운영규칙(Table 7 참조)에 따르면 전력거래소는 감축시작 1시간 전에 최소 2시간에서 최대 4시간의 급전감축을 발령할 수 있다. 그러므로 감축통보시점부터 실제 감축시작시점까지 1시간 동안 필요한 에너지를 충전하고 감축이행기간인 2~4시간 동안 ESS를 방전하는 전략이 가능하다.

둘째, ESS는 급전감축 수행 신뢰성을 높이기 위해 피크절감 기능은 그대로 대응하되 차익거래 기능의 최대부하시간대 방전 시간을 최대한 늦춘다. ESS가 정격(0.25C)으로 방전 시 약 4시간이 소요되지만 Table 2에 따르면 일일 최

대부하 시간대는 총 6시간이다. 그러므로 새벽 경부하 시간대에 충전한 전력을 최대한 늦게 방전함으로써 급전감축 발령 시 대응하기가 더 용이하다.

셋째, 급전감축 후 최대부하시간대가 아니면 ESS를 다시 충전하여 이후 필요한 피크절감 및 차익거래 기능을 수행한다. 역시 재충전 시 피크절감 목표피크값은 넘지 않아야 한다.

5.2 통합운전 예시

수용가 A 시스템에 실제 급전감축 사례들 기준으로 위에서 제시한 통합운전 방법을 적용했다. 급전감축 약정용량은 PCS 출력을 500kW로 고정하고 4.2에서 제시된 방법에 따라 125kW로 설정하였다. Fig. 7은 2015년 02월 10일 9~12시의 급전감축 사례(Table 8 참조)를 기준으로 통합운전을 적용한 결과이다. 해당일 수용가 A 시스템은 새벽 경부하 시간대에 충전한 전력을 급전감축 발령과 함께 9~12시 3시간 동안 시간당 약정용량 125kW 만큼 방전하여 급전감축을 이행하였다. 또, 12~13시 중부하 시간대 재충전한 전력을 최대부하 시간대(17~20시 및 22~23시)에 방전하여 차익거래 기능을 수행하였다.

Fig. 8은 2015년 7월 24일 14~16시의 급전감축 사례를 적용한 결과이다. 해당일 ESS는 오전 8~9시 경 수용가 부하의 목표피크값 초과를 대응하기 위해 방전을 수행하고, 13시 급전발령과 함께 14~16시 2시간 동안 급전대응 후 남은 용량은 17시까지인 최대부하 시간대에 방전하여 차익거래 기능을 수행하였다.

Fig. 7과 8 모두 기존 ESS 운전으로 인한 전력 요금 절감 효과에 영향을 미치지 않았다. Fig. 7의 경우 기존 운전은 피크절감 없이 차익거래만 수행하면 된다. 그러므로 오전 급전감축 대응 후 12~13시 재충전한 전력으로 차익거래 기능을 수행하여 동일한 차익거래 효과를 가졌다. Fig. 8 역시 기존 운전은 오전 피크절감 수행 후 남은 용량으로 차익거래를 수행한다. 그러므로 오후 최대부하 시간대에 급전감축을 대응했기 때문에 기존 운전과 동일한 효과를 가진다.

Table 9는 위 Fig. 7와 8 사례를 기반으로 일간 통합운전 효과를 비교하였다. 기본정산금 수익은 급전시장 참여 시 수용가 기준 약정용량에 의한 연간 기본정산금 수익을

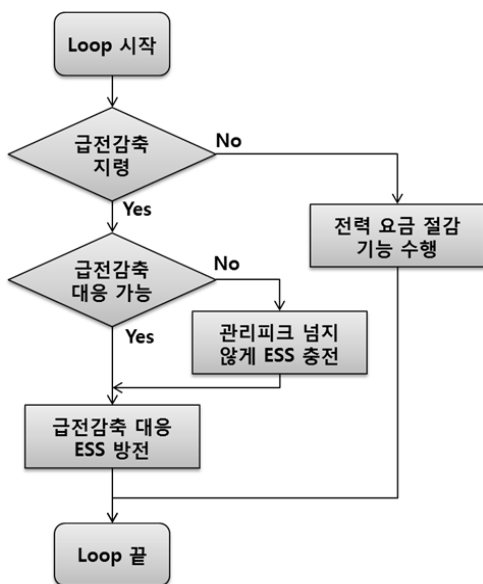


Fig. 6. 통합운전 순서도

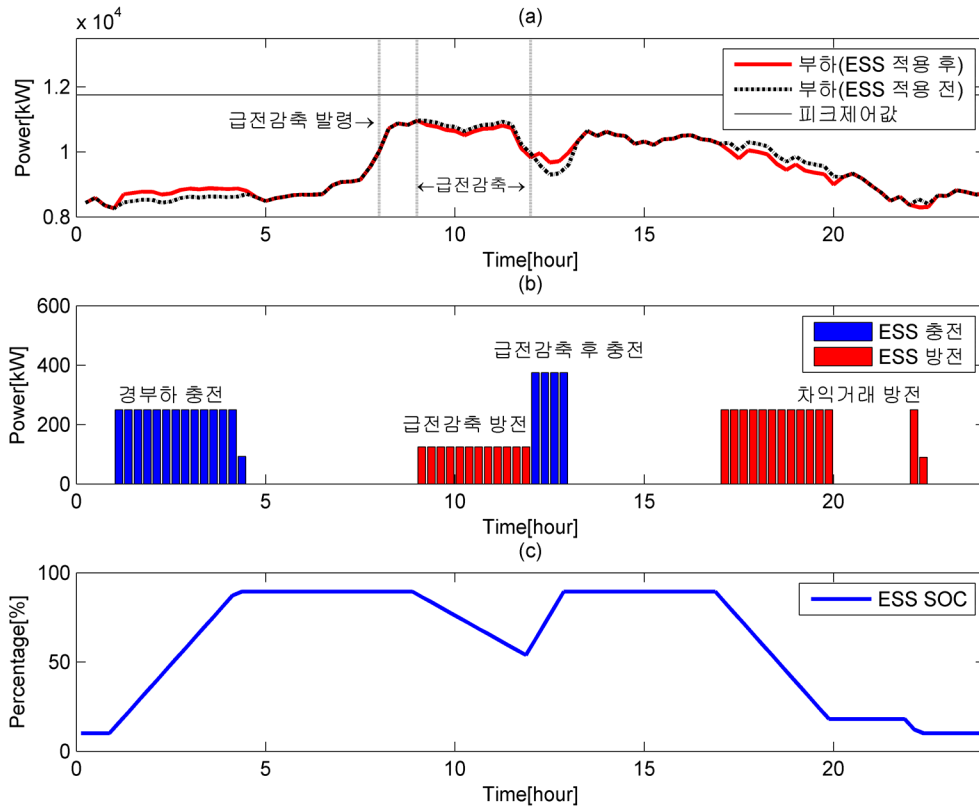


Fig. 7. 통합운전 예시 1(수용가 A, 2015년 2월 10일, 오전 급전감축 지령)

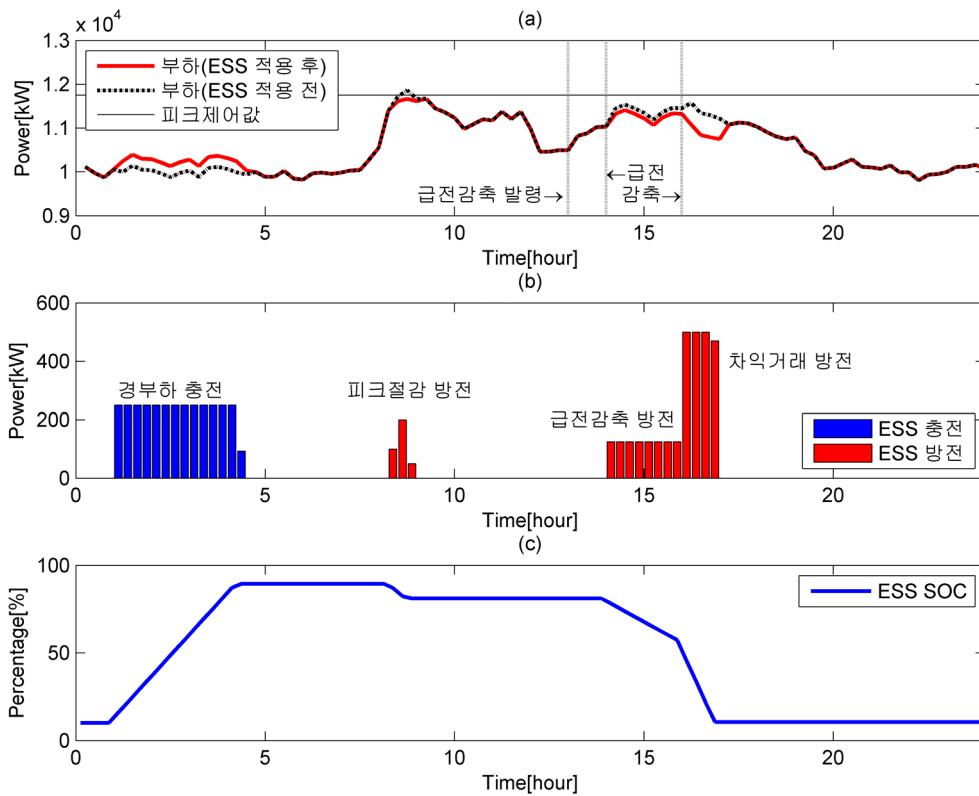


Fig. 8. 통합운전 예시 2(수용가 A, 2015년 7월 24일, 오후 급전감축 지령)

Table 9. 수용가 A 시스템 급전감축 사례 적용 일간 통합운전 효과 비교 [원/일]

항목	수용가 A	
	2015.02.10	2015.07.24
급전감축 시간	09 ~ 12시 (오전 3시간)	14 ~ 16시 (오후 2시간)
재충전 비용	-40,950	0
기본정산금 수익	10,352	
감축정산금 수익	52,230	23,854
합계	21,613	34,206

일간으로 계산한 값이다. 두 사례 모두 기본 및 감축정산금 수익으로 인한 효과를 보였고, 실제 급전감축 발령 3일을 제외한 나머지 날에는 기본정산금 수익(10,352원/일)이 발생한다.

5.3 연간 통합운전 효과

수용가 A와 B 시스템의 연간 통합운전 효과를 비교하였다. 양 수용가 모두 급전감축 약정용량을 125kW로 설정하고 급전감축 100% 이행을 기준으로 하였고 나머지는 3.3의 시뮬레이션 설정 조건과 동일하게 하였다.

Table 10은 연간 통합운전 효과를 기존 급전감축 참여 전(Table 5)과 비교하여 보여준다. 급전감축 수익은 단순 급전감축 참여 효과에서 통합운전 기능을 위한 재충전 비용을 제외한 결과이다. 통합운전 결과 급전지령 시 수용가 별 통합운전에 따른 재충전 비용 차이는 있지만 두 수용가 모두 동일한 약정용량(125kW)으로 시장에 참여했기 때문에 비슷한 급전감축 수익을 보였다. 총 수익도 이 급전감축 수익만큼 증가하였다. 또, 급전감축 발령 시 5.1의 제안에 따른 대응 운전(예, ESS 재충전 등)에 의해 기존 전력 요금 절감 효과를 해치지 않았다.

Table 10. 수용가 A와 B 통합운전 효과 [천원/년]

항목	수용가 A		수용가 B		
	Table 5	통합 운전	Table 5	통합 운전	
전력 요금 절감	피크절감	30,263	30,263	20,375	20,375
	차익거래	30,127	30,127	27,150	27,150
	기타	6,039	6,039	4,702	4,702
급전감축 수익	-	3,945	-	3,807	
총 수익	66,429	70,374	52,227	56,034	

5. 결론

본 논문은 ESS가 기 설치된 두 산업용 수용가의 부하를 바탕으로 자체 부하 관리를 위한 운전 전략인 피크절감과 차익거래를 분석하였다. TOU 요금제 특성상 피크절감 기능을 우선하고 나머지 배터리 용량으로 차익거래 기능을 수행하는 것이 효과적이고, M자 형태의 부하패턴이 평탄한 부하패턴 보다 더 큰 효과를 보였다.

또한, ESS의 현재 개설된 수요 반응 시장 중 급전감축 시장 참여 가능 용량 및 효과도 분석하였다. 분석 결과 현재 급전감축 시장은 연중 8시간의 짧은 시간 참여에도 kW 당 30,000원 이상의 예상 수익을 가지는 효과가 있다.

마지막으로 본 논문은 ESS가 기존 피크절감 및 차익거래 기능을 수행함과 동시에 급전감축 시장에 참여할 수 있는 통합운전 방법을 제안하였다. 통합운전은 일상적인 피크절감 혹은 차익거래 운전 중 급전감축 지령 시 필요에 따라 감축 시작시점까지 1시간 동안 충전하여 급전감축에 대응한다. 이를 효과적으로 수행하기 위해 차익거래 기능의 최대부하시간대 방전 시간을 최대한 늦추고 급전감축 후 필요시 ESS를 재충전하여 기존 자체 부하 관리를 계속 수행한다. 시뮬레이션 결과 제안된 통합운전 방법은 두 수용가 모두 기존 전력 요금 절감 효과에 급전감축 참여 효과만큼 증가함을 보여준다.

향후, 산업용 수용가 ESS의 설치 투자 편익을 증가하기 위해 최근 신설된 관련 할인정책들의 반영과 제도화가 예상되는 ESS 설치에 따른 탄소배출권 인센티브 및 납축전지 UPS 대체 편익 등의 다양한 수익 모델들의 고려가 필요하다. 또, 급전감축 대응 통합운전에 따른 ESS의 재충전으로 인한 배터리 수명 감소 경제성 분석도 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2016학년도 아주대학교 정착연구비 지원에 의하여 연구되었음.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20162010103780).

수요반응 급전감축 데이터는 현대중공업과의 에너지신사

업 협력 업무협약에 따라 (주)아이디알서비스에서 제공하였습니다.

References

- [1] 에너지경제연구원, “에너지저장시스템(ESS) 수요관리 효과분석 및 시장조성 방안연구”, 기본연구보고서 14-23, 2014.
- [2] 산업통산자원부, “에너지 신산업 성과확산 및 규제개혁 종합대책”, 2016.
- [3] Kim, J., Jang, J., 2014, “A Study on the Economic Analysis of the Energy Storage System in Customer”, *New & Renewable Energy*, 10(3), 47-54.
- [4] Hong, J.-S., Chai, H.-S., Moon J.-F., 2015, “Calculation of ESS Capacity of Industrial Customer through Economic Analysis”, *Journal of KIEE*, 64(4), 273-276.
- [5] 한국전력공사 사이버지점, 2013, “전기요금표”, <https://cyber.kepco.co.kr>.
- [6] 김상일, 2014, “수요자원 거래시장의 현황과 향후 전망”, *전기저널*, 16-19.