

데이터센터용 분산형 DC 전원공급장치의 도입에 따른 경제성 평가에 관한 연구

박찬욱, 최성문, 한병길, 김기영, 노대석
한국기술교육대학교

e-mail : chanwook0929@koreatech.ac.kr

A Study on Economic Evaluation on Distributed DC Power Supply in Data Center

Chan-Wook Park, Sung-Moon Choi, Byeong-Gill Han, Gi-Young Kim and Dae-Seok Rho
Dept. of Electrical, Electronic & Communication Engineering, Koreatech

요약

최근, 정부의 탄소중립 정책으로 산업·건물·운송 분야에 대한 에너지 절감 및 수요관리가 요구되고 있으며, 단일 시설 중 가장 많은 전력을 소모하는 데이터센터의 효율 개선에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 여기서, 기존의 데이터센터 전원공급방식은 중앙집중형 AC 전원공급장치를 구내 메인 수배전반에 대용량으로 설치하여, AC/DC 변환 후 다시 DC/AC 변환을 통해 수천대의 IT 부하 장비에 AC 전원을 일괄적으로 공급한다. 또한, IT 장비에는 다양한 DC 전원으로 변환하는 소형 전원공급장치가 개별적으로 내장되어 있으므로, 전력손실이 매우 큰 문제점이 발생한다. 따라서, 본 논문에서는 데이터센터 전원공급장치의 효율 개선을 위하여, 전력손실이 비교적 많은 기존의 중앙집중형 AC 전원공급 방식의 대안으로, 분산형 DC 전원공급방식을 제안하고, 이에 따른 타당성 평가를 수행하기 위하여, 경제성평가 모델링을 제시한다. 또한, 제안한 모델링을 바탕으로 설치용량에 따른 ROI를 분석한 결과, 분산형 DC 전원공급장치의 설치용량이 클수록 기존의 중앙집중형 AC 전원장치보다 경제적으로 더 유리함을 확인할 수 있었다.

1. 서론

최근, 전 세계적으로 기후변화 대응의 시급성과 심각성이 커지면서 ‘2050년 탄소중립’은 최우선의 목표가 됐다 [1]. 우리나라도 탄소중립을 달성하기 위한 여러 방향의 정책을 세우고 있는 가운데 산업·건물·수송 분야에서는 고효율 기기·제품 보급뿐만 아니라 수요관리 강화를 통한 에너지 효율 제고를 권고 하고 있다. 한편, 수천대의 IT 장비가 24시간, 365일 중단 없이 운영되고 있는 데이터센터는 건물 부문에서 단일 시설로는 최대 규모의 전력을 소비하고 있어 에너지효율에 대한 관심이 급증하고 있다. 여기서, 기존의 데이터센터 전원공급방식은 중앙집중형 AC 전원공급장치를 구내 메인 수배전반에 대용량으로 설치하여, 비상용 연속전지의 충전을 위한 AC/DC 변환 후 다시 DC/AC 변환을 통해 수천대의 IT 부하 장비(서버, 네트워크 장치)에 AC 전원을 일괄적으로 공급한다. 또한, IT 장비에는 AC 입력 전원을 내부에 필요한 다양한 DC 전원으로 변환하는 소형 전원공급장치가 개별적으로 내장되어 있으므로, 전력손실이 매우 큰 문제점이 발생한다. 따라서, 본 논문에서는 데이터센터 전력공급장치의 효율 개

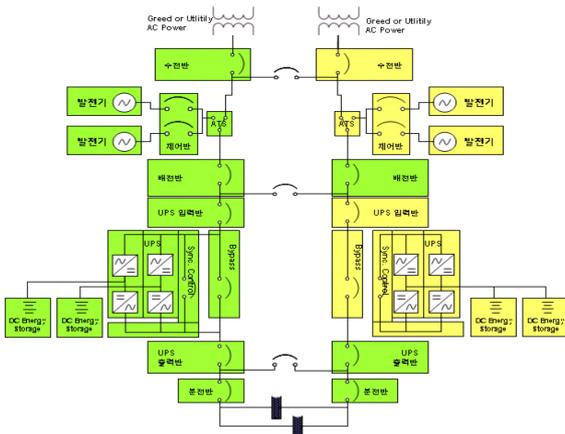
선을 위하여, 전력손실이 비교적 많은 기존의 중앙집중형 AC 전원공급 방식의 대안으로, 상기 메인단에서의 이중 전력변환 요소가 제거되고, 서버랙 단위로 소용량 AC/DC 컨버터와 비상용 리튬이온 배터리가 설치되어 IT 장비에 DC 전원을 직접 공급하는 분산형 DC 전원공급방식의 도입을 제안한다. 또한, 이러한 DC 전원공급장치의 도입에 따른 경제성평가를 수행하기 위하여, 본 논문에서는 비용요소, 편익요소 및 현재가치환산법으로 구성된 경제성평가 모델링을 수행하고, 이를 바탕으로 설치용량에 따른 ROI를 분석한 결과, 9MW보다 낮은 용량의 분산형 DC 전원공급장치를 도입할 경우, 경제성이 낮지만, 9MW 이상의 용량을 설치할 경우, 기존의 중앙집중형 AC 전원장치를 사용한 경우보다 경제적으로 유리함을 확인할 수 있었다.

2. 데이터센터용 전원공급장치의 운용특성

2.1 중앙집중형 AC 전원공급장치의 운용특성

기존의 중앙집중형 AC 전원공급장치는 그림 1과 같이, AC/DC 컨버터, 인버터, 연속전지 및 바이패스 회로로 구성된다. 여기서, AC/DC 컨버터는 연속전지의 충전을 위하여,

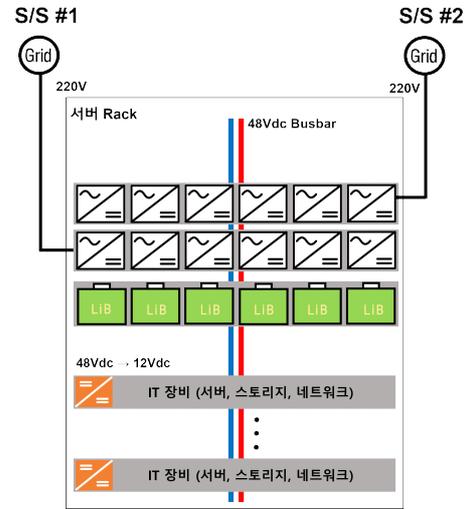
구내 변전소로부터 수전 받은 380V의 AC 전력을 DC 전력으로 변환하고, 인버터는 연속전지의 DC 전력을 데이터센터의 IT설비용 380V/220V의 AC 전력으로 변환하는 역할을 수행한다. 또한, 연속전지는 비상시 데이터센터의 IT설비의 무정전 운전을 위하여, 비상발전기가 투입되는 시간동안 전력을 공급한다. 따라서, 기존의 중앙집중형 AC 전원공급장치는 AC 전력을 DC로 변환한 다음 다시 AC로 변환하는 과정으로 인하여, 약 4%이상의 전력손실이 발생하게 되는데, 이로 인하여 365일 24시간 가동하는 데이터센터의 특성에 따라 비용적인 측면에서 매우 큰 손실이 발생할 수 있다.



[그림 1] 데이터센터용 중앙집중형 AC 전원공급장치의 구성

2.2 분산형 DC 전원공급장치의 운용특성

기존의 중앙집중형 AC 전원공급장치의 전력손실에 대한 문제점을 해결하기 위하여, 본 논문에서는 분산형 DC 전원공급장치를 그림 2와 같이 AC/DC 컨버터와 리튬이온 배터리 기반의 백업장치로 구성한다. 여기서, AC/DC 컨버터는 각 서버의 랙에 장착되어, 상용전원으로부터 공급받는 380V의 AC 전력을 12V의 서버기기에 DC 전력으로 변환하여 서버에 공급하는 역할을 하고, 최소 10분 동안 서버기에 전력을 공급할 수 있는 용량의 리튬이온배터리로 구성된 백업장치 또한 각 서버랙에 장착되어 비상시 비상발전기가 투입될 때까지 해당 랙의 서버기에 전원을 공급하는 역할을 수행한다. 이러한 구성에 따라, 분산형 DC 전원공급장치는 랙별로 전원을 공급할 수 있으므로, 백업장비의 고장으로 인한 사고 파급을 최소화 할 수 있고, AC/DC 및 DC/AC의 이중 전력변환장치를 필요로 하지 않으므로, 기존의 중앙집중형 AC 전원공급장치에 비해 전력손실이 매우 적다. 따라서, 본 논문에서는 분산형 DC 전원공급장치의 도입에 따른 경제성 평가 모델링을 수행하고, 이를 바탕으로 기존의 중앙집중형 AC 전원공급시스템과의 비교를 통하여, 상업적인 측면에서의 타당성을 평가한다.



[그림 2] 데이터센터용 분산형 DC 전원공급장치의 구성

3. 분산형 DC 전원공급장치의 도입에 따른 경제성 평가 모델링

3.1 비용요소 모델링

중앙집중형 AC 전원공급장치의 전체 비용요소는 식 (1)과 같이, AC/DC 컨버터, 인버터, 절연변압기 및 연속전지에 대한 가격과 연속전지의 교체비용 등으로 구성된다. 여기서, AC/DC 컨버터, 인버터, 절연변압기의 비용은 각 항목에 대한 단가의 합에 설비용량을 곱하여 산정하고, 연속전지의 비용은 용량별 단가에 전체 연속전지의 용량을 곱하여 구한다. 또한, 연속전지의 전체 교체비용은 교체 횟수에 1회 교체 시의 비용을 곱하여 산정한다. 한편, 분산형 DC 전원공급장치의 전체 비용 요소는 식 (2)와 같이 AC/DC 컨버터와 리튬이온배터리에 대한 가격과 리튬이온 배터리의 교체에 따른 비용 등으로 구성된다. 여기서, AC/DC 컨버터의 비용은 용량에 따른 컨버터의 가격에 설비용량을 곱하여 산정하고, 리튬이온배터리의 비용은 용량별 단가에 전체 리튬이온 배터리의 용량을 곱하여 구하며, 리튬이온배터리의 전체 교체비용은 교체 횟수에 1회 교체 시의 비용을 곱하여 산정한다.

$$C_{AC} = P_{AC} \cdot (C_{conv} + C_{inv} + C_{trans}) + Q_{AC} \cdot C_{bat} + C_{replace} \cdot N + C_{build} + C_{oper} \quad (1)$$

여기서, C_{AC} : 중앙집중형 AC 전원공급장치 총 비용(원), P_{AC} : 총 설비용량(MW), C_{conv} : AC/DC 컨버터 설비비용(원/MW), C_{inv} : 인버터 설비비용(원/MW), C_{trans} : 절연변압기 설비비용(원/MW), C_{bat} : 연속전지 설비비용(원/MWh), $C_{replace}$: 연속전지 교체비용(원), N : 전지 교체 횟수, C_{build} : 건축비용(원), C_{oper} : 공사비용(원)

$$C_{DC} = P_{DC} \cdot C_{conv} + Q_{DC} \cdot C_{bat} + C_{replace} \cdot N + C_{Oper} \quad (2)$$

여기서, C_{DC} : 분산형 DC 전원공급장치 총 비용(원), P_{DC} : 총 설치용량(MW), C_{conv} : AC/DC 컨버터 설비비용(원/MW), C_{bat} : 리튬이온전지 설비비용(원/MWh), $C_{replace}$: 리튬이온전지 교체비용(원/Km), N : 전지 교체 횟수, C_{oper} : 공사비용(원)

3.2 편익요소 모델링

분산형 DC 전원공급장치의 편익요소는 효율 개선에 따라 절감된 전기요금으로, 본 논문에서는 계절별 경부하, 중간부하 및 최대부하 시간대에 따른 전기요금단가를 고려하여 1년 동안의 편익을 산정하고, 이를 바탕으로 전체 평가기간 동안의 편익을 누적하여 계산한다. 여기서 효율 개선에 따른 전기요금의 편익은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_{SMP}(y) = t_{year} \cdot SMP(y) \cdot Q_{PV} \cdot U_{PV} \quad (3)$$

탄소배출권 요금은 절감시킨 온실가스양에 따라 정부기업에게 제공하는 인센티브 요금이며, 일일 탄소배출량(tCO₂)과 온실가스 감축분(CER, certified emission reductions)의 단가를 곱하여 식 (4), 식 (5)와 같이 산정된다.

$$B_{co_2}(y) = \sum_{t=1}^{365} tCO_2(t) \cdot UC_{CER}(t) \quad (4)$$

$$tCO_2(t) = P_{DG_n} \cdot F_{co_2} \quad (5)$$

여기서, $B_{co_2}(y)$: 해당연도의 탄소배출권 요금(원), $tCO_2(t)$: 일일 탄소배출량(ton), $UC_{CER}(t)$: 일일 온실가스 감축분(CER) 단가(원/ton), P_{reduce} : 일일 에너지 절감량(kWh), F_{co_2} : 탄소배출계수(tCO₂/kWh)

3.3 현재가치 환산법

경제성평가를 위한 비용과 편익은 미래에 발생하는 가치로서, 식 (6)과 같이 해당연도에 대하여 할인율을 적용하여 현재의 가치로 환산한다.

$$C_{pw}(y) = \frac{C_{flow}(y)}{(1+d)^y} \quad (6)$$

여기서, $C_{pw}(y)$: 해당연도의 현재가치, $C_{flow}(n)$: 해당연도의 현금흐름

4. 경제성평가 결과 및 분석

4.1 경제성평가 조건

분산형 DC 전원공급장치의 도입에 따른 경제성평가를 수행하기 위하여, 비용 및 편익에 대한 시뮬레이션 조건은 표 1과 같이 상정한다. 여기서, 경제성 평가기간은 15년, 연축전지와 리튬이온배터리의 교체년도를 각각 3년, 7년으로 상정하고, 초기 비용은 15년 균등 상환하는 것으로 가정하며, 교체비용은 교체시기로부터 남은 경제성평가 기간에 대해 균등 상환하는 것으로 상정한다. 또한, 해당연도에 저감되는 탄소에 따른 탄소배출권 요금을 고려하기 위하여, 온실가스 배출계수는 0.46625(tCO₂/MWh), 탄소감축분 단가는 20,000(원/ton)으로 적용하였다.

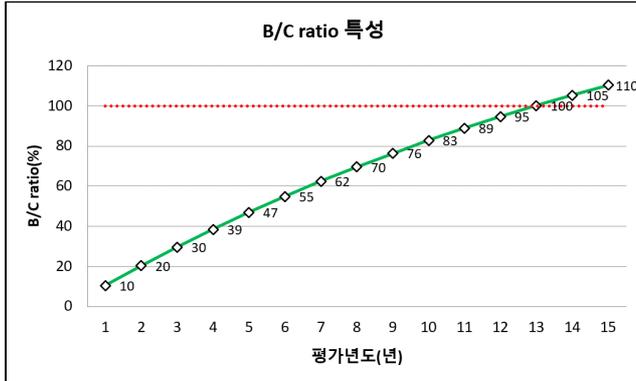
[표 1] 경제성평가 조건

항목	AC전원공급장치	DC전원공급장치
평가기간[년]	15	
총 설치용량 [MW]	Case 1	3
	Case 2	10
배터리 용량 [MWh]	Case 1	0.5
	Case 2	1.667
배터리 교체 횟수 [회]	4	1
AC/DC 컨버터 설비비용 [천원/MW]	90,000	220,000
인버터 설비비용 [천원/MW]	90,000	0
배터리 설비비용 [천원/MWh]	450,000	3,000,000
변압기 설비비용 [천원/MW]	60,000	0
건물 구축비용 [천원]	Case 1	210,000
	Case 2	700,000
공사 비용	설비 비용의 20%	설비 비용의 10%
종합 효율 [%]	88%	92%
초기 투자비 대출 상환기간(년)	15	
배터리 교체비용 대출 상환기간(년)	3	
이자율[%]	4.29	
할인율[%]	5.5	
배터리 사용연수(년)	3	8
상환방식	원금균등	
운영비[%]	2.5	
온실가스 배출 계수(tCO ₂ /MWh)	0.46625	
탄소저감 단가(원/ton)	20,000	

4.2 설치용량이 3MW인 경우에 대한 경제성평가

상기의 경제성평가 조건을 바탕으로, 전체 설비용량이 1MW인 경우에 대하여 ROI를 분석하면 그림 1과 같다. 여기서, 기존의 3 [MWh]급 중앙집중형 AC 전원공급장치의 경우, 초기투자비용은 1,386,000 [천원]으로 MWh당 2,772,000 [천원]이고, 연축전지에 대한 1회 교체비용은 236,250 [천원]이며 평가기간동안 총 4번 수행하여, 총 945,000 [천원]의 비용이 발생한다. 또한, 3 [MWh]급 분산형 DC 전원공급장치의 경우, 초기투자비용은 1,551,000 [천원]으로 MWh당 6,204,000 [천원]이므로, AC 전원공급장치에 비해 약 2.2배 높은 것을 알 수 있다. 한편, 리튬이온배터리에 대한 1회 교체비용은 1,281,250 [천원]이며 평가기

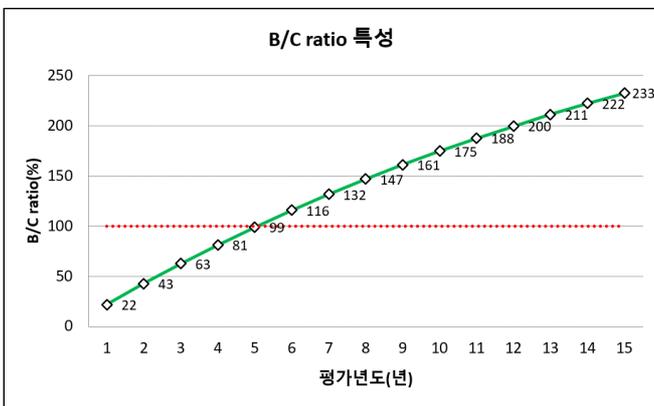
간 동안 총 1번 수행하므로, 교체 횟수는 연속전지보다 더 적지만 전체 교체비용은 약1.3배 더 높음을 알 수 있다. 이를 바탕으로 3MW급 DC 전원공급장치의 도입에 따른 B/C ratio를 나타내면 그림 3과 같이 손익분기점이 발생하기까지 13년이 소요되므로 경제성이 낮음을 알 수 있다.



[그림 3] 설치용량이 3MW인 경우의 B/C ratio 특성

4.3 설치용량이 10MW인 경우에 대한 경제성평가

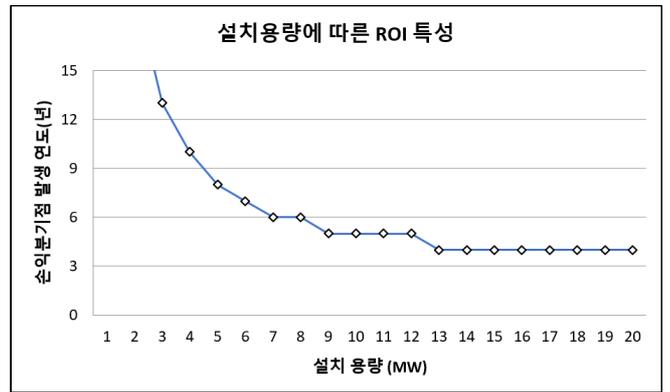
상기의 경제성평가 조건을 바탕으로, 전체 설비용량이 10MW인 경우에 대하여 ROI를 분석하면 그림 4와 같다. 여기서, 기존의 10 [MWh]급 중앙집중형 AC 전원공급장치의 경우, 초기투자비용은 4,620,000 [천원]으로 MWh당 2,772,000 [천원]이고, 연속전지에 대한 1회 교체비용은 787,500 [천원]이며 평가기간동안 총 4번 수행하여, 총 3,150,000 [천원]의 비용이 발생한다. 또한, 0.25 [MWh]급 분산형 DC 전원공급장치의 경우, 초기투자비용은 1,551,000 [천원]으로 MWh당 6,204,000 [천원]이므로, AC 전원공급장치에 비해 약 2.2배 높은 것을 알 수 있다. 한편, 리튬이온배터리에 대한 1회 교체비용은 4,267,250 [천원]이며 평가기간동안 총 1번 수행하므로, 교체 횟수는 연속전지보다 더 적지만 전체 교체비용은 약1.3배 더 높음을 알 수 있다. 이를 바탕으로 3MW급 DC 전원공급장치의 도입에 따른 B/C ratio를 나타내면 그림 4와 같이 손익분기점이 발생하기까지 13년이 소요되므로 경제성이 낮음을 알 수 있다.



[그림 5] 설치용량이 10MW인 경우의 B/C ratio 특성

4.4 종합분석

상기의 경제성평가 방법과 동일하게 설치용량이 1 ~ 20 [MW]인 경우의 ROI 특성을 분석하면 그림 6과 같다. 여기서, 3 ~ 20MW의 설치용량으로 상정하는 경우 ROI가 평가기간 동안 발생하고, 설치용량이 1 ~ 9[MW]인 경우, 손익분기점이 발생하는 연도의 변화가 비교적 크지만, 9 [MW]이상의 용량으로 설치할 경우의 변화는 매우 적어 손익분기점이 발생하는 연도는 4년째로 수렴하는 것을 알 수 있다. 따라서, 9 [MW] 이상의 용량을 가지는 데이터센터에 분산형 DC 전원공급장치를 설치할 경우, 경제성이 우수하게 나타나는 것을 알 수 있다.



[그림 6] 설치용량에 따른 ROI 특성

5. 결론

본 논문에서는 데이터센터에 설치되어 있는 기존의 중앙집중형 AC 전원공급장치를 대체하여 분산형 DC 전원공급장치를 도입하였을 경우의 타당성에 대해 평가하기 위하여, 경제성평가 모델링을 수행한다. 제안한 모델링을 바탕으로 설치용량에 따른 ROI를 분석한 결과, 3MW급 DC 전원공급장치의 도입하였을 경우, 손익분기점이 발생하기까지 13년이 소요되므로 경제성이 낮지만, 10MW급 DC 전원공급장치의 도입하였을 경우, 손익분기점이 발생하기까지 6년이 소요되므로 기존의 중앙집중형 AC 전원장치를 사용한 경우보다 경제적으로 유리함을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구(No.20214910100010)로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] “2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향”, 대한민국 정책브리핑, 2021.10.18