

직류기반 소용량 건물 전력계 모델링 및 해석

백종복, 서갑수, 박철우, 배현수, 조보형

서울대학교 전기, 컴퓨터공학부

Modeling and Analysis of DC Based Building Power Structure

Jongbok Baek, Gab-su Seo, Chul Woo Park, Hyunsu Bae and Bohyung Cho

School of Electrical Engineering and Computer Science Seoul National University

ABSTRACT

주거·상업용 건물에 있어 최근 TV, LED 조명, 컴퓨터, IT 기기들과 같은 직류를 사용하는 부하가 점차 증가함에 따라 기존의 교류 배전 기반의 건물 전력구조에서 에너지절감을 위한 하나의 방안으로 직류기반의 건물 배전구조에 대한 도입에 대한 연구가 활발히 이뤄지고 있다. 또한 직류 형태의 전원인 태양광 발전, 연료전지 등의 신재생 에너지와 가정 및 전기자동차용 배터리의 등장은 직류 기반 전력구조가 가지는 장점을 더욱 부각시키고 있다. 직류 배전 시스템은 기존 교류 배전에서 직류부하를 위한 다중의 전력 변환 과정을 최소화함으로써 전원 및 부하에서 소모되는 에너지를 절감하여 전력시장 내 전체적인 탄소배출량 저감에 기여할 수 있을 것으로 고려되어지고 있다. 이는 직류배전 시스템의 에너지 저감 효율성 이외의 기존 교류배전 대비 부하단 부품 수의 감소에 따른 신뢰성 향상 및 가격 저감, 무효전력 고려사항의 제거 등 많은 장점을 가지기 때문이다. 본 논문에서는 소용량 건물에 직류배전 구조가 도입될 경우 실현 가능성이 높은 대표적 직류 배전 구조들을 Functional Modeling 기법을 통해 모델링하며, 시뮬레이션을 통해 기존의 교류 배전 건물과 함께 각각의 전력계 구조에 대한 효율 및 장단점들을 정성적으로 비교하고, 구현에 필요한 고려사항들을 제시한다.

1. 서론

오늘날 전기 에너지의 소비는 과거 수십 년 전에 비해 급격하게 증가하였으며 이는 에너지 고갈과 탄소배출 문제를 야기하고 있다. 이를 해결하기 위해 전 세계적으로 태양광, 연료전지, 풍력 등의 신재생 에너지에 대한 연구와 효율 향상을 위한 연구가 활발히 진행 중이다.^[1-2] 한전 통계에 의하면 2009년 한 해 동안 한국 가정에서 사용된 전기 에너지는 394TWh이며 그 중 PC, TV, LED 와 전자기기의 보급률 증가와 오디오, 휴대 장비 같은 디지털 기기의 등장으로 직류 부하가 차지하는 비율이 급격히 증가하였다고 조사된 바 있다.

이와 같이 부하와 전원의 타입이 교류에서 직류로 변환되고 있음에 따라 과거에 비해 직류 배전 시스템의 도입 가능성이 증가하고 있다. 그림 1과 같이 현재의 교류 배전 시스템에서는 태양광과 같은 신재생 에너지는 근본적으로 직류 전원을 제공하며 기존의 교류 배전 시스템과 연계될 경우 DC/DC 컨버터와 DC/AC 인버터의 이중 변환 과정을 거침으로써 변환효율이 감소되는 결과를 가져올 수 있다. 또한 PC, 각종 충전기, LED 등 최종단에서 직류 전압을 요구하는 수많은 부하들 역시 교류를

입력으로 받아 이를 정류하고 다시 원하는 직류 전압 레벨로 변환하는 과정을 거치기 때문에 변환과정에서 많은 손실이 발생할 수 있다. 하지만 직류 배전 시스템이 적용될 경우 그러한 변환 과정이 줄어들 수 있거나 고효율의 컨버터가 제작, 대기전력의 감소 이유로 시스템 전체의 에너지 소비를 줄일 수 있다. 이러한 이유로 DC 배전 시스템에 대한 연구가 많이 진행되고 있으며 특히 Data Center의 경우 그 효과를 가장 잘 볼 수 있어 실제 Intel, NTT, 국내의 경우는 KT와 같은 기업에 적용되어 전체 시스템의 효율 및 성능향상과 부피 저감을 이룬 사례도 있다.

본 논문에서는 소용량 건물에 직류배전 구조가 도입될 경우 실현 가능성이 높은 대표적 직류배전 구조를 Functional Modeling 기법을 통해 모델 하였으며 기존 교류 배전 시스템과의 비교를 통하여 그 효율성을 검증하였다. 또한 실제 직류 배전 시스템 구성 시 고려할 사항을 연구함으로써 직류 배전 시스템의 설계 및 실증을 위한 지침이 되도록 하였다.

2. 모델링

새로운 시스템의 효과적인 구성을 위해서 각 시스템의 구성 요소에 대한 분석을 통한 재구성 및 검증하는 절차가 필수적이다. 전체 시스템 구성을 위해 전원단, 부하단, AC/DC, DC/DC, DC/AC 와 같은 전력 변환기, 배선, 차단기 및 전력 분배함 등의 모델링이 우선적으로 이루어져야 한다. 입력 전압과 출력 전류를 입력 단자로 출력 전압과 입력 전류를 출력 단자로 정의하고 내부에 손실 모델을 삽입하여 각 구성요소를 Matlab을 이용하여 모델링 하였으며 DC/DC 컨버터의 경우 그림 2와 같이 정격과 부하량에 따른 효율을 구할 수 있다. 전체 시스템 구성을 위해 요구되는 부하의 특성 및 정격은 참고문헌 [3]을 참조하여 모델링하고 시뮬레이션 하였다.

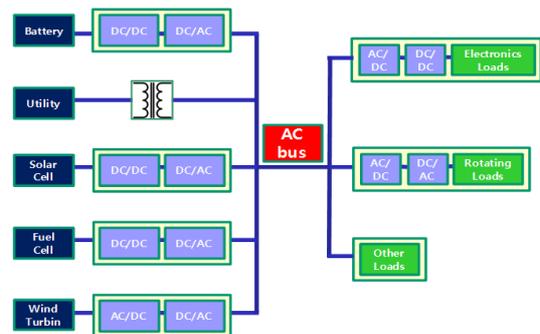


그림 1 현재 교류 배전 시스템 구조

Fig. 1 Schematic of current AC distribution system

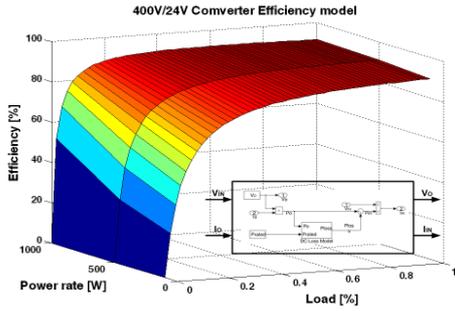


그림 2 부하와 정격에 따른 400/24 컨버터의 효율
Fig. 2 Efficiency against power ratings and load

3. 직류 배전 시스템

직류 배전 시스템을 구성하는 과정에서 적절한 직류 전압 레벨을 선정하는 일은 안정성, 효율 등과 직결되는 중요한 부분이다. 효율적인 측면에서 볼 때 이는 부하의 특성과 용량에 관계되며 일반적으로 저전력의 LED 조명이나 IT, AV 시스템 및 보안 장비가 부하의 대부분을 차지하는 사무실이나 상가의 경우 저전압(Low Voltage)이 유리할 수 있으며 대전력의 IT 또는 공조시스템이 있는 경우 전압강하와 손실측면에서 중전압(Medium voltage)이 유리할 수 있다. 하지만 실제 다양한 종류의 부하가 존재하기 때문에 신중히 고려되어야 한다. 또한 안전성을 고려할 때 저전압일수록 인체에 대한 안전성이 확보되며 60V 이하에서는 감전에 대한 안전규제가 없다는 장점이 있다. 반면 수백 Volts의 중전압인 경우 안전성과 커넥터의 접점에서 아크 발생 등의 문제가 있을 수 있다. 따라서 이를 바탕으로 직류배전 시스템 구성 시 가능한 대표적인 구조를 그림 3과 같이 선정하여 현재 적용되고 있는 교류 배전 시스템과 비교하였으며 표 1에 모델을 이용한 예상 효율과 함께 다양한 고려사항을 비교 제시하였다. 그 밖의 장점으로 직류 배전 적용 시 하모닉 규제가 없으며 대기전력저감의 효과 등이 있다.

표 1의 효율 비교에서는 신재생 에너지의 결합은 고려하지 않았으며 신재생 에너지와 배터리의 결합이 추가 될 경우 변환 과정이 생략되는 부분으로 인해 그 효율성이 더욱 증가할 것을 예상할 수 있다. 또한 EMS를 통하여 관리가 가능할 경우 추가적인 에너지 효율의 상승을 예상할 수 있으며 이는 기존의 교류 배전 시스템에서도 같은 장점을 갖는다. 그림 4는 모델링 과정을 통해 설계된 시스템의 일주일간 에너지 사용을 모의 실험

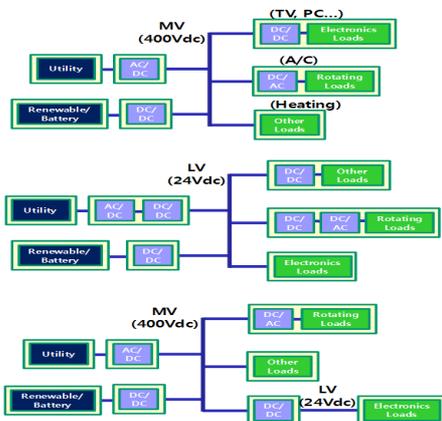


그림 3 다양한 직류 배전 시스템 구조
Fig. 3 Schematic of different DC distribution system

표 1 배전 시스템 비교

Table 1 Comparison of distribution systems

	MV	LV	MV+LV	AC
기존시스템 적용 용의성	○	X	△	○
안전성	X	○	△	X
효율	90.5%	76%	85.7%	78.8%
확장성(신재생에너지 적용)	○	△	○	X
도선 비용(동일 손실기준)	○	X	△	○
복잡도	○	△	X	○
전력 품질	△	○	○	△

한 결과를 보여주며 저전압 컨버터의 경우 효율 상승 가능성은 포함되지 않았다. 효율 비교는 모델링에 의한 것이므로 실험 검증이 요구되며 이는 차후 실험을 통해 보완할 계획이다. 실제 직류 배전 시스템 설계 시 구조적 측면에서는 직렬/병렬, 전력 변환 구조에 따라 다양한 구성이 가능하며 교류 부하를 고려할 때 교류 배전과 직류 배전을 모두 사용한 하이브리드 구조도 가능하다. 또한 실제 구현 시 직류 차단기나 커넥터, 접지, 배선 방법 등의 기술적 문제가 보완되어야 한다.

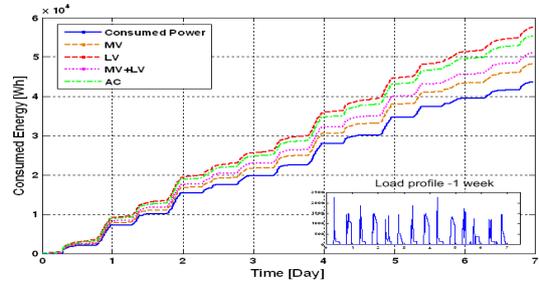


그림 4 일주일간 에너지 사용 모의실험 결과
Fig. 4 Simulation result of energy usage during one week

4. 결론

본 연구에서는 기존의 DC 배전 설계를 위한 모델링을 실시하였으며 이를 기반으로 실현 가능한 대표적 직류 배전시스템을 제시하였다. 기존 교류 배전 시스템과 모의실험 비교를 통한 효율 비교에서는 최대 11.7%의 향상이 가능함을 보였으며 직류 배전 시스템을 적용할 경우 효율 향상뿐만 아니라 그 외에 얻을 수 있는 여러 장점들에 대하여 논하였다. 또한 안전성, 연결부, 적정 전압 레벨 등 설계 및 실증을 위한 고려 사항에 대해 조사함으로써 앞으로 직류 배전 시스템의 설계 및 실증을 위한 지침이 되도록 하였다. 나아가 부하에 대한 연구가 추가될 경우 이는 가정용 배전 시스템뿐 아니라 제시된 모델링을 통하여 상업용 건물 및 sustainable 건물의 설계 시에도 이용될 수 있도록 확장성을 갖도록 하였다.

이 논문은 지식경제부(10030491-2010-01)와 KD파워의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] Daniel Nilsson and Ambra Sannion, "Efficiency analysis of low- and medium- voltage dc distribution systems", PES2004, pp. 2315-2321 Vol. 2, 2004.
- [2] Giovanna Postiglione, "DC Distribution System for Home and Office", Goteborg, Sweden, Chalmers University of Technology, Department of EPE, Report, pp.1401-6176, 2001.
- [3] 서갑수, 백종복, 박철우, 배현수, 조보형, "직류기반 그린스마트홈의 전력계 설계를 위한 부하 패턴 연구", 2010 전력전자학회, 2010.