

특집 : 직류배전기술

전력공급자 측면에서 DC 배전 기술개발 전망

김 주 용

(한국전력공사 전력연구원 송배전연구소 선임연구원)

전세계적인 에너지 효율 향상의 일환으로 직류전원공급과 이용기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 디지털 부하가 밀집한 수용가를 중심으로 직류전원 기반의 수전설비를 확대하기 위한 연구와 실증시험이 진행중에 있다. 이와 같이 직류전원을 사용하는 수용가가 증가할 경우 국가적인 차원에서 DC 전원을 공급하는 인프라를 구축하는 것이 바람직할 것이다. 따라서 본 고에서는 전력공급자 측면에서 DC 전원 수요증가에 대한 DC 전원 인프라 구축과 이를 위해 필요한 기술개발 방안에 대해 검토하였다.

너지 효율 향상을 도모하고 있으며, 최근에는 표준화 사업이 진행중에 있다. 그리고 DC 배전을 위한 다양한 실증시험과 표준화 연구가 일본과 미국을 중심으로 진행중에 있다. 하지만 전력사 관점에서 수용가의 이러한 요구에 대응하기 위한 노력은 미흡한 실정이다. 이에 따라 KEPCO에서는 수용가의 직류전원 수요에 적절히 대응하고 새로운 비즈니스 모델을 창출하기 위한 검토를 시작하였다. 본 고에서는 국내외 DC 배전 기술개발 동향 분석을 통해 전력사측면에서의 향후 대응전략을 제시하고자 한다.

1. 서론

디지털 부하가 지속적으로 증가함에 따라 DC 전원의 수요가 증가하고 있으나, 전력공급이 교류로 이루어짐에 따라 여러번의 전력변환 과정을 거친후 DC 전원이 사용되고 있다. 이에 따라 많은 수의 전력변환기가 사용되고 변환손실이 증가하고 있다. 또한 신재생에너지원의 설치가 증가하면서 DC 전원을 출력으로 발생하는 전원장치가 증가하고 있으나, 주전원과의 연계 및 부하와의 연결을 위해서 AC로 변환해야 함에 따라 낮은 신재생에너지원의 이용 효율을 더욱 저하시키는 원인으로 작용한다. 이에 따라 최근에는 직류전원을 직접 디지털기에 공급하기 위한 DC 배전에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 직류 배전에 대한 연구와 적용이 가장 먼저 검토된 것은 IDC(Internet Data Center)이다. 국내에서도 KT에서 IDC의 내부 전력망을 직류망으로 구성함으로써

2. DC 배전 기술개발 동향

현재 그림 1과 같이 다양한 분야에서 직류전원이 이미 사용되고 있으며, 전기자동차, LED 등 그 사용범위는 더욱 확대될 것으로 예상된다. 특히 일본에서는 '09년부터 "DC Home" 실증사업을 추진중에 있으며, AC/DC Hybrid wiring house 개념과 이에 사용되는 각종 콘센트 등 기자재의 표준화와 DC 표준전압 선정을 추진하고 있다.

미국 EPRI(Electric Power Research Institute)에서는 직류 배전에 있어서 장애요인으로 직류전원 공급 비즈니스 모델이 불명확함에 따른 관련기업의 참여 기피, 시스템 변화에 대한 거부감, 안전과 보호규격 미흡, 설계, 설치, 유지보수 규격의 미성숙, 전압레벨 표준화 미흡 등을 제시하고 이를 극복하기 위해 HVDC, DC 마이크로그리드, 전력용 반도체 응용 변압기, Direct PV, PHEV 연구를 추진중에 있다. 또한 미국

CPES(The Center for Power Electronics Systems)에서는 에너지 소비에서 빌딩이 차지하는 비중이 높다는 점을 바탕으로 직류 48VDC와 300VDC 배전기반의 “제로 에너지 빌딩”의 개념을 설계하고 실증시험을 진행하고 있다.

이러한 수용가 측면에서의 직류전원 공급체계 구축 움직임과는 달리 핀란드에서는 배전망 운영자 측면에서의 DC 배전의 효용성 검토가 진행중에 있다. 핀란드 LUT(Lappeenranta University of Technology)에서는 2006년 9월부터 2009년 12월까지 “Power Electronics in Electricity Distribution and DC distribution” 연구를 수행하여 DC 배전이 전력공급 품질 향상, 배전시스템 구축 비용절감, 소규모 발전원 계통연계 지원이 가능함을 제시한 바 있다. 그리고 배전전압은 현재 철도분야에서 주로 사용되고 있는 1,500V 또는 750V의 사용을 제안하고 있다. 특히 그림 3과 같이 다양한 DC 배전 토폴로지를 제안하고 이에 따른 경제성 평가를 실시하였다.

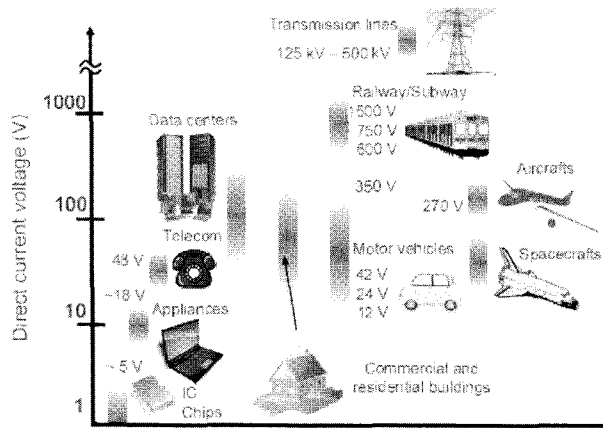


그림 1 DC 전원 적용분야(일본 전기학회)

그 결과 Bipolar $\pm 750\text{VDC}$ 와 unipolar 900VDC가 가장 경제적인 것으로 평가되었다. 이때 LVDC용 전력전자기기의 수명은 15년으로 간주하고 기존 아날로그 기기의 수명은 40년으로 추정하였다. 그리고 그림 4와 같이 기존 20kV 선로중 부하가 60kW 정도이고 2-4km 정도이 단공장 분기선로를 Bipolar $\pm 750\text{VDC}$ 시스템으로 대체할 경우 배전선로 운영 비용을 표 1과 같이 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 그리고 이러한 경제적 이익은 컨버터 가격하락과 효율 향상 및 수명 향상시에 더욱 증가할 것으로 전망하고 있다.

3. DC 배전 핵심기술

현재 다양한 분야에서 직류전원이 사용되고 있기 때문에 직류 배전선로를 구성하고 운영하는데 있어서 기술적으로 어려운 부분은 많지 않을 것으로 예상된다. 한편 2010년 일본전기학회 전국대회 자료에 따르면 DC 배전에서 가장 중요하게 검토되고 있는 것은 표 2와 같이 표준화이다. 그리고 IEC에서는 이를 위해 2009년에 1,500V까지의 직류 배전시스템 표준화 검토를 위해 SG4 (LVDC distribution system up to 1,500V DC relation to energy efficiency)를 구성하였다. 여기에는 현재 15개국 이 참여하고 있으며 주요 표준화

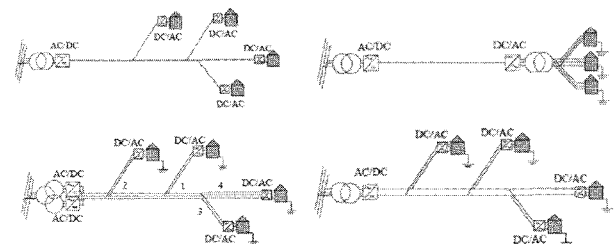


그림 3 DC 배전망 구성방법(핀란드 LUT)

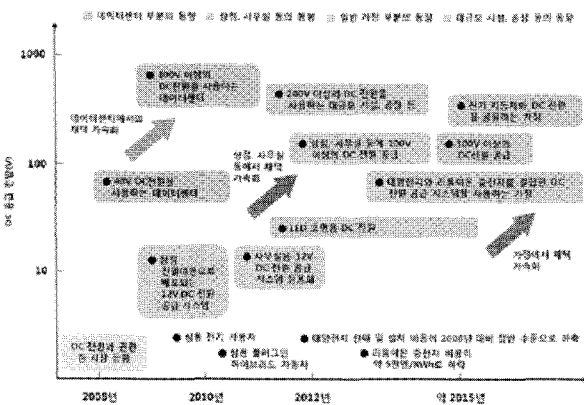


그림 2 일본의 DC 사업 로드맵

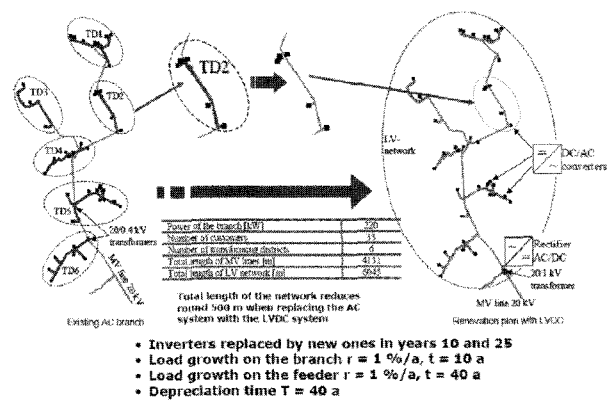


그림 4 DC 배전망 구성 모의사례(핀란드 LUT)

- Inverters replaced by new ones in years 10 and 25
- Load growth on the branch $r = 1\%/a, t = 10 a$
- Load growth on the feeder $r = 1\%/a, t = 40 a$
- Depreciation time $T = 40 a$

표 1 DC 배전에 따른 경제적 효과(핀란드 LUT)

Parameter	Value
Lifetime [a]	40
Lifetime of power electronic devices, 1 st generation [a]	10
Lifetime of power electronic devices, 2 nd generation [a]	15
Interest rate [%]	5
Power factor	0.97
Time of load growth in supply network [a]	40
Time of load growth in LV network and branch line [a]	10
Peak operating time of losses [h]	1000
Efficiency of power electronic devices [%]	0.96
Interruption time in permanent fault [h]	1

System	Traditional	Bipolar
	20/0.4 kV System [k€]	± 750 VDC system [k€]
Investment - network	168.41	85.60
Investment - power electronic devices	0.00	160.37
Power losses - network	16.27	15.23
Power losses - power electronic devices	0.00	20.61
Outages	118.32	0.20
Maintenance and repair	25.25	6.05
Total costs	328.25	288.06

표 2 DC 배전 기술개발 우선순위(일본전기학회)

순위	일본(*)	미국(**)
1	전압 표준·규격화	전압 규정
2	차단기, 차단용 소자	DC400V용 차단기
3	직류 대응 부하기기	직류 콘센트
4	비용의 효율성, 편의성	비용 대 효과
5	신형 소자, 회로 기술 등	회로 구성 등

내용은 분산전원 설비, 차단/개폐/퓨즈 등 보호기분야, ICT와 디지털 전자기기, 조명기기, 기전 및 부하설비, EMC와 절연 및 화재 방지기술 등이다.

이상과 같은 내용을 바탕으로 향후 DC 배전계통 구성 및 운영을 위해 검토되어야 할 핵심기술을 정리하면 다음과 같다.

- 전압레벨의 표준화
- 대전력 고효율 전력변환기술(AC/DC, DC/DC)
- 고조파 필터 및 차폐기술
- AC/DC 배전망 연계 운영기술
- 과전류 차단기술
- 접지 및 인체 보호기술
- 에너지 저장장치 이용기술
- 에너지관리시스템 운용기술

· 직류배전 계통구성기기 설계 및 제작기술

4. DC 배전시스템 구축전략

직류 배전시스템은 154kV 변전소 2차측에 AC/DC 전력변환 설비를 설치하여, 22.9kV 교류 배전선로를 직류선로로 대체하고, 전압변환을 위한 변압기 대신 AC/DC 전력변환기를 적용하여 지역변전소 이하 배전망을 모두 직류화 하는 구성 방식이다.

이와 같이 기존 교류 배전시스템을 직류 배전시스템으로 변환할 경우, 교류 배전시스템에서 발생하는 전로 말단 저전압 문제, 전압변동 및 순간정전과 같은 전력품질 문제를 획기적으로 개선할 수 있으며 직류부하 및 신재생전원 도입증대에 따른 에너지 효율을 증가시켜, 막대한 사회적, 경제적 이익을 발생시키게 된다. 그러나, 현실적으로 154kV 변전소 이하 모든 교류 배전시스템을 일시에 직류 배전시스템으로 변환하는 것은 불가능하므로 다음과 같은 단계별 적용방안이 필요할 것으로 판단된다.

4.1 (1단계) DC Home 구성

1단계에서는 기존의 단일 수용가 내부 급전설비를 모두 직류로 변환하는 과정이다. 주로 아파트, 사무용 빌딩 등의 단일 수용가가 그 대상이다. 이 경우, 수용가의 인입구에 AC/DC 전력변환 장치를 설치하여 교류를 직류로 변환하여야 하며, 이 때 전력변환기 출력 직류전압은 300V~400V 정도가 될 것으로 예상된다. 또한 직류 차단설비와 플러그 등의 전기설비가 함께 개발되어야 한다.

4.2 (2단계) LVDC 시스템 구성

2단계에서는 기존 22.9kV/380V(220V) 주상변압기 이하의 복수 개별 수용가를 묶어 직류로 변환하는 단계이다. 주로 주택단지, 소규모 공장, 상업지구 등이 그 대상이다. 이 경우, 주상변압기를 대신하여 AC/DC 전력변환 장치를 설치하여 교류를 직류로 변환하게 된다. LVDC 시스템의 내부 선로역시 모두 직류선로로 대체되며, 각 개별 수용가 부하기기 내에 설치되어 있는 DC/DC 전력변환기를 이용하여 적절한 전압 레벨로 다시 감압하여 최종적으로 이용된다. 또한 1단계 단일 수용가에서 이용되는 전기설비들의 사양도 용량, 전압계급 등에 맞추어 개발되어야 한다.

4.3 (3단계) MVDC 시스템 구성

3단계에서는 22.9kV 배전선로 1회선 전체 혹은 분기선 일부를 직류로 변환하게 된다. 이러한 배전시스템을 MVDC라고 명명하며, MVDC 시스템 하위에는 복수개의 MVDC 직접 수전 수용가 혹은 LVDC 시스템이 존재하게 된다. 이 경

우, 154kV/22.9kV M.Tr 2차측 혹은 분기선 연계점에 AC/DC 전력변환 장치가 설치되게 되며, 이 때 전력변환기 출력 직류전압은 20kV~30kV 정도가 될 것으로 예상된다. MVDC 시스템 내부선로 역시 모두 직류선로로 대체되며, MVDC 직수용가 인입구 및 LVDC 시스템 접속점에 DC/DC 전력변환기를 설치하여 적절한 전압레벨로 다시 감압하여 이용하게 된다. 또한 기타 전기설비들도 시스템 용량, 전압계급 등에 맞추어 개발되어야 한다.

5. 결론

DC 전원 수요는 디지털 부하 밀집지역을 중심으로 발생하고 있으며, 이들 직류 부하단에서의 표준화와 저압 구내직류 배전망 구성이 이루어지고 있다. 그리고 기술적인 부분과 전력설비의 가격측면에서도 저압단에서의 직류배전시스템 구성은 경제성을 충분히 확보할 수 있는 수준에 있다. 그러므로 전력사측면에서도 직류전원을 요구하는 저압 수용가와 오피스 빌딩과 같은 디지털 부하 밀집 수용가에 대한 전력공급방안을 우선적으로 검토할 필요가 있다. 이를 위해 부하형태별 고·저압 DC 계통 모델링 및 해석, DC 마이크로그리드 모델링 및 경제성 평가, AC/DC 연계에 따른 영향 분석 등을 통한 최적 DC 배전망을 설계하고 전력공급자 관점에서의 최적 배전전압이 결정하여야 한다. 그리고 결정된 최적 배전전압에 적합한 각종 DC 배전용 기기와 운영기술을 개발하고 이들을 종합하여 성능을 검증할 수 있는 DC 배전 실증시험이 추진되어야 한다. 이에 따라 KEPCO에서는 '09년 부터 수행중인 "스마트 배전시스템"개발 연구를 통해 DC 배전시스템의 에너지효율 향상 정도를 평가하였으며 DC 배전시스템 개발을 위한 법적, 제도적 사항을 검토한 바 있다. 최근에는 최적 DC 배전 토폴로지 결정 및 핵심기술 개발 전략 수립을 위해 2010년 7월에 "DC 배전 표준모델 설계 및 핵심기술 개발 전략수립" 연구를 착수하고 전력사 측면에서 향후 대응 전략을 수립중에 있다. ■

참고 문헌

- [1] Keiichi Hirose, "Trend in Standarsization of DC Distribution Systems", 일본 전기학회전국대회, 2010. 3.
- [2] Lauri KUMPULAINEN, "VISION OF THE FUTURE POWER SYSTEM - DISTRIBUTION NETWORK 2030", CIRED2007.
- [3] Jukka LASSILA, "POTENTIAL OF POWER ELECTRONICS IN ELECTRICITY DISTRIBUTION SYSTEMS", CIRED2008.
- [4] Pasi Salonen, "An LVDC Distribution System Concept", NORPIE2008.
- [5] Clark Gellings, "Are We at the Threshold of a New Era of DC Power Systems?", EPRI DC Power Production, Delivery and Use Workshop, 2006.
- [6] Emerge Alliance, "New Building Technology Standars", 2008Frequency Power Conversion Conf, Rec. pp. 100-110, 1988.

〈 필 자 소 개 〉



김주용(金周勇)

1969년 9월 27일생. 1992년 경북대 공과대학 전기공학과 졸업. 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1994년~현재 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소 선임연구원.