수용가 직류서비스 및 마이크로그리드

장길수 / 고려대학교
손광명 / 동의대학교

에너지부분의 자유화와 지속적인 에너지 공급의 추구는 전기부분에 있어 많은 변화를 촉진하였다. 소용량의 지속가능한 에너지 기술들이 분산전원에서 차지하는 비중을 늘여가고 있다. 이러한 변화에 따라 직류서비스가 현재 산업계에서 중요하게 고려되고 있는데 이는 부분적으로 HVDC를 이용한 현존하는 송전망의 효율성 증가와 효율적인 AC/DC, DC/AC, DC/DC 변환기술의 실용화에 기인한다. Variable-speed 전동기 사용의 급증과 태양광, 연료전지를 포함하는 지역 DC 발전, 저전압레벨의 직류를 사용하는 기기 사용의 급증으로 인해 직류가 각광을 받고 있다. 예로는 12V 할로겐 조명, 에너지 절감형 램프, 통신장비와 컴퓨터, 무선 또는 충전식 기기들이 있다.

전기의 생산과 저장을 위한 분산형 기기들의 도입은 전기 공급 체계에 극적인 변화를 가져올 것이다. 이는 전력망의 특성을 변화시켜 백업 시스템의 기능을 가지게 될 것이며 추가적인 신뢰도와 편의성을 제공하여 서비스에 부과될 가격에도 반영될 것이다. 전기의 생산과 저장이 마지막 사용자 단계에서 이뤄지고 완전한 직류배전 시스템이 기술적으로 또한 경제적으로 가능하게 된다면 정류기에 장착된 60~70% 효율의 수많은 변압기들을 모두 제거할 수 있으며 소용량의 variable-speed 전동기도 직접 DC 네트워크에 접속시킬 수 있다.

DC Vs. AC 전압

가정과 사무실에는 230V 교류(AC)를 낮은 전압의 직류로 바꾸어 주는 어댑터들이 많다. 또한 직류를 사용하는 기기들의 사용은 점점 증가하고 있다. 배전에 교류방식이 선택은 1880년대에 Tesla와 Edison 사이의 치열한 논쟁에서 이루어졌다. Tesla 는 교류의 실제적인 장점을 강조하였다. 변압기를 이용하면 교류전압의 승압이 쉬워져서 작은 손실로 장거리 송전이 가능하였다. 직류는 이러한 방식을 쉽게 사용할 수 없기 때문에 송전과정에서 많은 손실이 발생하였다. 하지만 Edison은 직류가 덜 위험하다고 느꼈으며 동물실험을 통해 이점을 입증했다. Tesla의 현실적인 논점이 최소한 일정기간동안은 이러한 논쟁의 결정적 요소였다.

기술 발전

Tesla와 Edison 이 후로 50V이하와 1000V까지의 전

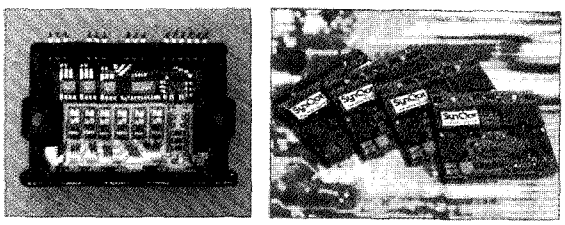

그림 1 DC 전력을 변환, 절환, 제어하기 위한 지능형/고효율 전자회로

압레벨에서 직류기술은 크게 발전하였다. 소형의 집적회로로 전압을 쉽게 제어 할 수 있게 되었으며 직류를 위한 전력전자기술이 효율적이고 정밀한 전력제어를 가능하게 하였다.

추가적으로 직류 시스템은 변압기를 갖는 교류시스템보다 공간을 적게 차지한다. 또 다른 장점은 직류를 사용하였을 때 같은 송전선을 이용하여 더 많은 전력을 송전할 수 있다는 점이다. 이것은 네트워크를 좀 더 효율적으로 사용할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 직류의 사용이 보다 유리할 수 있다.

태양전지, 연료전지 등의 거의 대부분의 지속가능한 에너지원을 이용한 소용량의 발전에서는 직류를 이용하여야 한다. 만약 이러한 에너지원들을 현재의 230V 배전시스템에 연결한다면 직류를 교류로 바꾸는데 추가적인 에너지가 필요하게 되며 에너지가 사용될 때 다시 저전압의 직류로 변환되어야 하므로 효율이 매우 낮아진다.

만약 저장 시스템이 큰 역할을 하게 된다면 배전비용은 더 낮아질 수 있고 시스템의 전체적인 효율은 향상될 것 이다. 제어와 정보 시스템을 포함하는 관련기술들의 빠른 발전이 이를 가능하게 할 것이며, 이로 인해 전력전송용량을 줄일 수 있을 뿐 아니라 손실도 줄어들고 첨두부하도 감소하게 된다. 또한 지역발전(local generation)과 저장장치가 사용된다면 공공 전력망이 지금처럼 높은 신뢰성을 유지할 필요가 없게 된다.

해결책으로서의 저전압 직류

많은 장치들이 내부적으로 직류를 사용하기 때문에 AC/DC 변환을 필요로 한다. 현재 일반적으로 사용되는 작은 변압기를 사용하여 전력을 공급할 때는 효율이 60~70%정도이다. 펌프, 진공청소기나 환기용 팬 등에 사용되는 많은 모터 또한 전자제어의 단순화를 위해 직류를 사용한다. 배터리나 휴대전화, 방범시스템, 무선공구와 같이 전기를 저장하는 장치를 가지고 있는 기기들도 직류를 사용한다.

저전압 직류배전을 설치함으로써 이러한 많은 변환과정이 생략되고 현재 사용되는 어댑터들도 불필요해진다. 더욱이 가정 내 배전을 위해 설치되는 새로운 시스템에서는 제품 코드의 길이와 수가 현저히 줄게 될 것이다. 어떤 코드가 어떤 어댑터에 연결됐는가를 찾는 것은 과거의 일이 될 것이다. 벽속에 전선을 설치하는 대신에 배전기(flat distribution strip)를 벽면을 따라 설치하여 고정된 위치에 전기단자에 구애받지 않도록 할 수 있다. 이런 저전압 배전기는 벽에 쉽게 설치 할 수 있으면 방을 재배치 할 경우 손쉽게 재구성 할 수 있다.

배전 과정에서 생기는 손실은 전압의 크기와 전류가 이동하는 거리에 크게 좌우된다. 직류를 절연에 관계된 특별한 예방책 없이 안전하게 사용하기 위해서는 전압이 50V를 넘지 않아야 하며 단락을 막기위한 장치가 필요하다. 기본개념은 손실을 줄이기 위해 교류 Y-

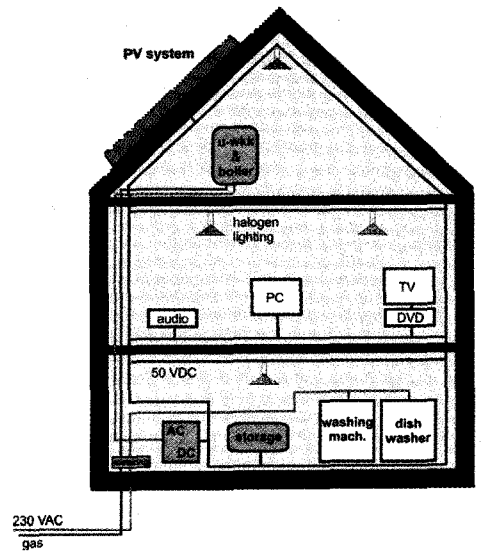

그림 2 하이브리드(50V DC와 230V AC)시스템이 설치된 가정의 전기시스템 개념도

결선 시스템 대신 직류 링 시스템을 사용하는 것이다. 더불어 AC/DC 변환은 제거되어야 한다. (대신에 고효율의 DC/DC 변환이 필요할 수도 있다.) 가정이나 사무실에서 사용되는 기기들의 대부분이 적은 전력만을 필요로 하거나 짧은 시간동안만 많은 전력을 소모한다. 이런 기기들은 일시적인 전력을 공급하는 배터리 시스템에서 전력을 공급할 수 있다. 긴 시간동안 많은 전력을 소비하는 식기세척기나 에어컨 같은 일부의 예외적인 기기들만 전통적인 교류를 필요로 한다. 이런 방식으로 보다 에너지 효율이 높고 지역 신재생 에너지원의 이점을 최대한 이용할 수 있으며 전기자동차를 위해 개발된 42V DC 시스템과 연계가 가능한 하이브리드 시스템이 가능해 진다. 에너지 효율성의 향상과 더불어 환경 친화 건물 개념에 잘 들어맞으며 신뢰도와 이용성도 확연하게 향상된다.

대부분의 전기를 소비하는 방은 주방과 거실이다. 미래의 집에서는 이런 방들이 지속가능한 에너지원에 가깝게 위치한다. 이러한 곳으로는 태양광 패널이 설치되는 지붕 바로 밑이나 마이크로 CHP plant 근처가 될 것이다. 전기오븐이나 전자레인지, 세탁기나 건조기 등 전력을 많이 소비하는 기기들이 많은 곳은 주방이며 이런 곳에는 교류가 공급되어야 한다. 컴퓨터가 지역전기에너지의 생산과 소비를 제어하고 최적화 하게 된다. 이러한 발전은 공공배전시스템에 영향을 주고 그 역할을 변화시킬 것이다.

당면 과제

KEMA에서 저전압 DC 서비스를 신축 또는 기존의 건물에 설치하는 것이 가능한지 평가해본 결과 기존의 기구(conductor strip)를 이용하여 가능하다는 결론을 내렸다. (그러나 이 기구는 지능적인 원격제어 컨버터보다는 12V 할로겐램프 같은 전기기구의 설치를 위한 것이다.) 이러한 50V 직류 시스템이 부분적으로 기존의 교류시스템을 부분적으로 대체하고 확장해 나간다고 할 때 가정에 설치될 전기시스템의 비용이 약 50% 정도 증가할 것이다. 자동차 분야에 사용되는 시스템과 비교해 볼 때 이러한 가정이나 사무실의 배전 시스템은 매우 구형이다. 이것은 가격에도 반영되어 가정의 경우 2~5%인데 반해 자동차의 경우에 15~20%가 된다.

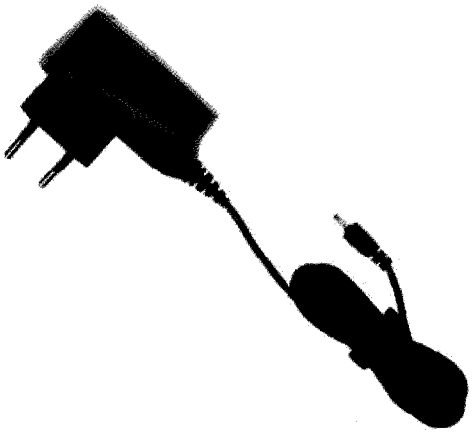

그림 3 넓은 범위의 교류와 직류전압에서 사용할 수 있는 어댑터

여러 나라들이 서로 다른 전압레벨을 선택한다면 기기에 대한 국제기준의 제정을 어렵게 하고 완전히 새로운 종류의 어댑터들을 사용하거나 스스로 외부 전압에 따라 자동으로 전압을 조절하고 설정을 최적화하도록 기기를 개발해야 하기 때문에 국제적으로 직류 전압에 대한 협약이 만들어져야 할 것이다. 이런 협의들이 그림3과 같은 넓은 범위의 교류와 직류에서 사용가능한 어댑터를 사용하고 있는 통신이나 컴퓨터 분야에서는 이미 이루어지고 있다.

Multi-Modal Service를 위한 AC/DC 마이크로그리드

디지털 경제가 요구하는 전력 서비스 품질기준을 디지털 등급 전력(digital-grade power)이라 하고, 이는 직류 서비스를 구현하는 하나의 옵션이기도 하다. Mult-Modal Service(수용가에 전력을 직류와 교류 두 가지 모두 공급하는 방식)를 통하여 직류 서비스를 제

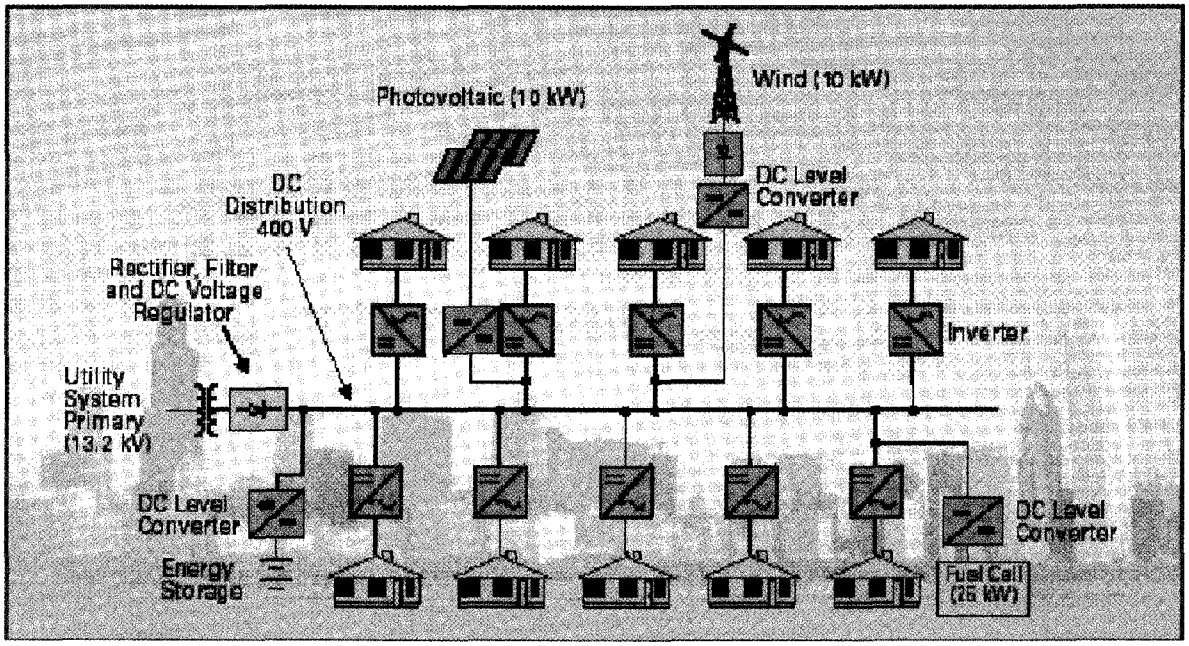

그림 4 AC/DC 마이크로그리드(AC/DC Micro-Grid)의 개념도

공하려는 노력으로 새롭게 제안되고 있는 서비스 혁신 기술인 AC/DC 마이크로그리드(AC/DC Micro-grid) 기술 등이 있다. AC/DC 마이크로그리드(AC/DC Micro-grid)은 다음과 같은 특성을 가지는 분리운전이 가능한 전력 전송 시스템이다.

- 단일 수용가 혹은 복수 수용가를 대상으로 서비스
- 분산전원(distributed energy resources; DER)을 포함하며 대용량의 송배전망과 연결하거나 분리가 가능
- 하나의 송전망에서 다른 송전망으로의 연결전환이나 AC/DC 멀티 모드 서비스 변환 같은 다양한 운영 모드의 선택이 가능

이와 같은 AC/DC 마이크로그리드(AC/DC Micro-grid)은 그 규모가 단일 수용가 규모에서 작은 도시 규모에 이르기까지 광범위이다. 또한, AC/DC 마이크로그리드(AC/DC Micro-grid)은 송배전 전력망과 완전 분리되어 상시 운영되기도 하고, 정상상태에서 송배전 전력망에 직렬로 연결되어 파트타임 운영되거나, 대규모 장애 발생에 의한 비상상태에서는 망과 완전하게 분리되어 독립망(islands)으로 동작한다. 마이크로그리드(Micro-grid)은 비루프 구조로 운영되기도 하지만 루프 구조로 운전되면 개별 노드에 2개의 공급경로를 제공할 수 있기 때문에 더 높은 신뢰도를 보장한다. 마이크로그리드(Micro-grid)은 기존 전력 시스템과 비교해서 에너지 수송 효율, SQRA를 향상시키고 운전비용을 절감시킨다. 마이크로그리드(Micro-grid)은 또한 송전용량 증설의 어려움을 극복하는 대안이기도 하다.

AC 마이크로그리드은 전력시스템의 신뢰도 향상을 위한 단기적이며 동시에 장기적인 해결책이다. 단기적으로는, 예를 들어 해저케이블 등을 통해 육지의 대규모 전력망과 연결, 운전되고 있는 도서지역의 교류 전력시스템은 대정전과 같은 비상시에 그 자체로 독립의 마이크로그리드(Micro-grid)이 되어 육지 시스템과 분리, 운전될 수 있다. 이런 정도는 현재의 기술을 그대로 적용하는 정도로도 충분히 구현이 가능한데, 다만

적절한 설계 및 분석기법을 사용하는 것이 필요하다. 장기적으로는, 차세대 배전 자동화를 통해서나 대규모 전력계통의 전략적인 운영을 위한 핵심 수단으로써 분산전원(DER)이 있든 없든 간에 AC 마이크로그리드(Micro-grid)이 보다 광범위하게 그리고 적절하게 활용될 것이다.

DC 마이크로그리드(DC Micro-Grid)는 다음 세 가지 이유로 채택되어야 한다.

- 많은 분산전원(DER)이 직류전원이거나 직류출력에 더 적합하다.
- DC 전력에 의해 동기화 문제와 기존 교류 발전기의 안정도 문제를 해결할 수 있다.
- 직류부하는 급증하고 있으며, 이는 향후 DC 마이크로그리드이 우월해짐을 의미한다.

그럼에도 DC 마이크로그리드이 도입되고 이에 근거한 직류 서비스 제공이 일반화되기 위해서는 직류 전압의 변압 효율 개선, 고압 직류 배전 시스템의 사고 검출 문제, 영점(zero crossing point) 소실로 인한 직류 보호 계전기술 개발 필요, 교류 기기들의 활용 등과 같은 선결해야 할 과제들이 있다. 그러나 저압 DC 마이크로그리드(Micro-Grid)은 낮은 전압을 사용하는, DC 마이크로그리드의 일종으로 직류 전압의 변압과정에서 발생하는 비효율 문제를 피할 수 있다. 또한 저압 배전망에서 같은 크기의 전선을 사용하는 교류시스템보다 전압강하를 개선해 서비스 범위를 약 50~100% 증대시킬 수 있다. 특히 AC/DC 마이크로그리드(AC/DC Micro-grid)은 분산전원 통합운용을 위한 강력한 플랫폼 제공이라는 측면에서도 크게 주목되고 있다. 특히 대규모 정전 상황과 같이 긴급 전력 공급이 필요한 경우 분산전원의 강점이 극적으로 나타나며, 이런 분산전원의 강점은 분산전원이 연계된 망이 독립적으로 운전될 때에만, 즉 마이크로그리드을 형성할 때만 실현될 수 있다. AC/DC 마이크로그리드(AC/DC Micro-grid)은 전체 전력 시스템에서 급전이 가능한 독립망(islands)으로 작용하며 이는 송전설비에 요구되는 정격용량을 낮추는데 이용되기도 한다.

결 론

새로운 기술들이 직류전압, 지속가능한 지역에너지원과 저장시스템 분야에서 개발됨에 따라 가정과 사무실에서 사용되는 전기의 일정 부분을 직류의 형태로 효과적으로 공급하는 것이 기술적으로 가능해 졌다. 교류와 직류가 혼합된 시스템의 높은 가격에도 불구하고 이것은 현실적으로 고려해 볼만한 선택사항이 되었다. 전기에 대한 의존성이 높아지고 편리함, 지속성, 단순성에 대한 높은 욕구로 인해 직류서비스의 설치는 금전적인 가치를 갖게 되었다. 인구의 고령화 추세를 고려해 볼 때 직류 서비스가 제공하는 전기 공급 시스템의 신뢰성, 안전성, 편의성은 큰 장점을 가진다. 따라서 앞으로의 배전시스템은 AC/DC 마이크로그리드에 의한 Mult-Modal Service 로 변화해 갈 가능성이 크다고 사료된다.