

그린빌딩을 위한 저압 직류배전기술

이 경 호

(삼성물산 건설부문 건축기전팀 전력 담당 부장)

최근 그린에너지 시대의 급작스런 도래와 더불어 전력산업의 패러다임 변화에 따라 전기에너지의 고효율 사용과 지능형 전력망 기술인 스마트그리드가 국가차원의 저탄소 녹색성장의 중추 산업분야가 될 전망이다. 이와 더불어 그린홈, 그린빌딩, 그린ICT, 신재생에너지 및 전기자동차를 망라하는 고효율 에너지 네트워크 인프라로 직류배전이 부각되고 있다. 최근 태양광, 연료전지 등 직류 기반의 분산전원 보급의 활성화, 정보화 확산으로 인해 직류를 필요로 하는 정보통신기기의 대폭확대, 전기자동차 보급에 따른 전력저장장치의 확산, LED와 같은 조명부하의 확대 등 변화된 환경 속에 전체 시스템 에너지 효율화, 전력품질의 개선을 위해 교류(AC)가 아닌 직류(DC)로 공급하는 직류배전의 도입 연구가 진행되고 있다. 본고에서는 미래 직류전력시스템의 예측 및 당사가 2009년 말 그린홈에 직류배전을 구축한 실증사례를 소개하고 현재 조기 상용화를 목표로 기술개발을 진행 중인 그린빌딩 적용을 위한 저압 직류배전기술의 개념 및 구현기술을 제안하고자 한다.

1. 미래 전력시스템의 예측

백여 년 전 에디슨과 테슬라는 직류와 교류의 전기시스템에 대한 논쟁이 있었고 전압의 변경이 자유롭지 못해 장거리 송전이 어렵다는 이유로 교류시스템이 채택되어 사용되고 있다. 교류시스템은 직류와 달리 변압기를 사용하여 높은 전압을 만들어 원거리 지역까지 보내어 원하는 장소에서 다시 전

압을 낮춘후 일반 수용가에 공급할 수 있는 장점을 보유하고 있었다. 그러나 현재의 교류에 의한 발전/송전/배전시스템은 1890년대부터 사용되고 있는 성숙된 기술이지만, 교류를 전제로 한 시스템 기술혁신에는 한계 상황에 있다. 2003년 미국과캐나다의 대정전 사태에서 경험했듯이 복잡한 대규모 교류계통에 안정도를 유지하면서 제어(예: 전력계통 안정화장치(PSS)와 각종보상장치)할 만족스러운 기술이 없는 실정이다.⁽¹⁾ 교류와 직류를 비교하여 보면 표 1처럼 직류는 많은 장점(특히 에너지전송능력 탁월)을 가지고 있다. 전력변환기술의 발달로 교류 전원의 장점이 점점 줄어드는 반면, 지금까지 직류시스템은 HVDC의 경우 500km이상의 가공송전선로, 25km이상의 지중송전선로, 초고압 교류계통분할과 발전소/변전소 및 건축물의 저압 비상전원용의 일부 적용에서 대규모 신재생에너지를 연계한 고압직류 슈퍼그리드(Super Grid), 저압을 이용한 그린홈, 그린빌딩, 그린팩토리 등으로 폭넓게 적용될 전망이다.⁽²⁻⁵⁾

그렇다면 미래의 전력시스템의 모습은 어떻게 변화될 것인가 관심이 아닐 수 없다. 2005년 Fanglin Luo박사는 저손실이며 기하급수적으로 DC전압을 승압, 강압할 수 있는 Ultra-Lift 컨버터기술을 그림 1과 같이 제안했다.⁽⁶⁾

이 Ultra-lift컨버터와 후단에 일반적인 DC-DC컨버터를 조합, 배치(DC Chopper장치)하여 단말전압을 안정적으로 승압 및 강압을 할 수 있다. 이를 사용하여 직류발전기로 생산된 전력을 DC Chopper장치에 의해 초고압 승압시키고 HVDC송전을 거쳐 수용가에게 DC Chopper장치에 의해서

표 1 교류와 직류의 비교

| 항 목 | 교류 시스템 | 직류 시스템 |
|------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 전압변환 | 변압기를 이용하여 용이 | 전력변환장치 필요 |
| 송전방식 | 회전기를 위한 3상송전 | 2극송전 |
| 송전효율 | 표피효과, 안정도 문제로 송전효율 낮음 | 교류 대비 송전효율이 매우 높음 |
| 보호기기 | 아크소호에 유리 | 아크소호에 불리 |
| 절연비용 | 직류보다 1.4배이상 절연 필요 | 교류보다 저렴 |
| 계통연계성 | 위상, 주파수, 크기, 회전방향 대하여 동기화 필요 | 전압크기에 대한 동기화 필요 |
| 전력품질 | 2단계 전력변환에 따른 EMC증가 | 1단계 전력변환으로 인한 EMC 감소 |
| 에너지변환 | 구내 전기기기는 대부분 직류사용으로 전력변환시 손실증가 | 전력변환 단계축소 손실 감소 |
| 분산전원 연계 | 계통연계 복잡 | 직류로 발전하는 분산전원시스템과 계통연계 용이 |
| 예비전원 | UPS를 통한 상시 비상전원 준비 | 축전지를 직접연결 설치용이 신뢰도 10배이상 증가 |
| LED, 형광등조명 | 2단계 전력변환 필요 | 1단계 전력변환 또는 불필요 |
| 인체안전 | 50/60Hz 주파수에 의한 심실세동 위험증가 | 주파수가 없으므로 심실세동 위험 감소 |
| 전자파의 영향 | 근접기기의 유도장해 | 유도장해 없음 |

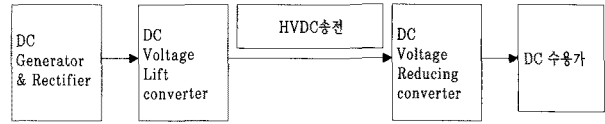


그림 2 완전(발전/송전/배전)한 직류전력시스템

로 대용량 직류전력을 생산할 수 있을 것이다. 한편 수용가 측의 30-40%에 해당하는 유도전동기 부하는 직류를 직접 공급받을 수 있는 브러쉬가 없는 영구자석전동기(PM Motor)로 대체 될 것이다. 미래의 완전한 직류배전시스템은 에너지 절약을 근간으로 안전성, 신뢰성, 안정성, 유연한 전력공급체계로서 점진적으로 교류전력시스템을 대체하여 21세기내 실현될 수 있을 것으로 예측된다.

현재 현실적으로 즉시 적용 가능한 분야는 그린에너지 산업 기반 구축을 위해 직류를 생산하는 신재생에너지원과 직류전원을 소비하는 디지털 부하가 많이 존재하는 수용가에 최적화된 직류전원을 활용하는 수용가모형을 개발하는 것이 급선무일 것이다. 따라서 직류전력시스템은 먼저 수용가에 저압 직류배전이 보급 확산되고 점차 대규모 분산전원을 포함하는 직류 송배전망으로 변경된 다음 최종적으로 발전 단계 대규모 직류발전원이 개발되어 적용되어지는 순서로 진행될 것으로 사료된다.

2. 그린홈 구현사례⁽³⁾

그린홈(일명 그린투마로우)는 당사의 친환경 가치를 기술로 승화시킨 자연과 인간이 공존하는 미래 가치공간이다. 건물 생애주기에 걸친 지속가능성에 근간을 두고 건물의 환경부하와 에너지 부하를 줄이는 동시에 생활편의를 도모하고자 하였다. 이를 위해 Zero Energy(건물 효율화(고성능 단열과 창호, 자연환기, 자연채광, 상변환축열재, 옥상녹화)를 통하여 에너지 사용량을 큰 폭으로 저감한 후, 신재생에너지를 통해 사용량 이상의 에너지를 생산하여 에너지 수지를 '0' 또는 '+'로 유지), Zero Emission, Green IT의 개념을 정의하였으며, 이 세 가지 개념은 서로 보완작용을 하여 그린투마로우 구현의 틀을 완성하였다. 이들 기술 개념은 기술통합과 최적화를 통해 그 가치를 더욱 제고하였다.

건물의 전력 에너지 효율을 높이기 위해서 그린투마로우는 국내 최초로 100% 직류배전시스템을 그림 4와 같이 구축하고 가전기기(LED TV, 컴퓨터, 모니터, 프린터, 노트북, 냉장고, 김치냉장고, 세탁기 및 소형 디스플레이 장치), LED조명기기, 조리용기기(스마트 오븐, 인덕션 조리기), 전기차 충전시스템 및 냉난방기기(지열구동 히트펌프, 순환펌프, 급탕, 배수펌프 등) 모두 전기에너지를 사용하는 全電化 주거공간으로 설계되었다. 그린투마로우에서는 조명 에너지 저감을

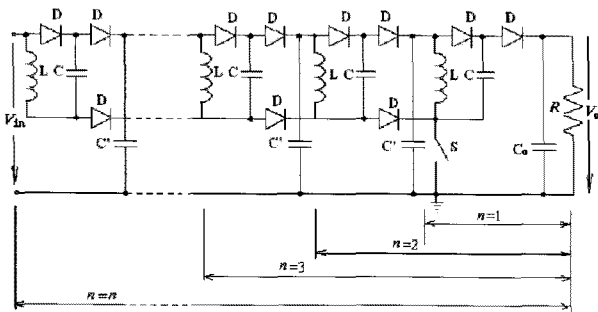


그림 1 전압승압을 위한 주회로

고압, 저압으로 공급하는 완전한 직류전력시스템을 그림 2와 같이 구축할 수 있다. 현재 가능한 발전기로는 선박에 성공적으로 설치 운영 중인 다상발전기와 다상정류기를 조합 형태

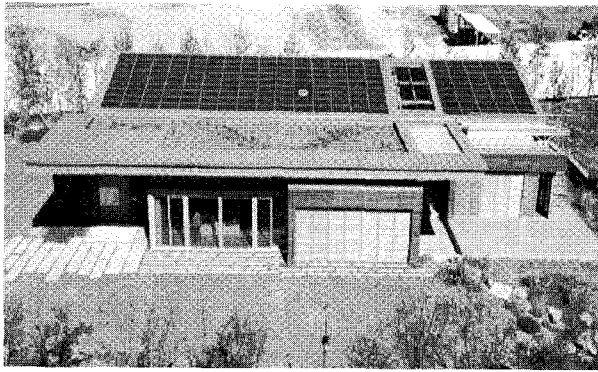


그림 3 그린홈(그린투마로우) 전경

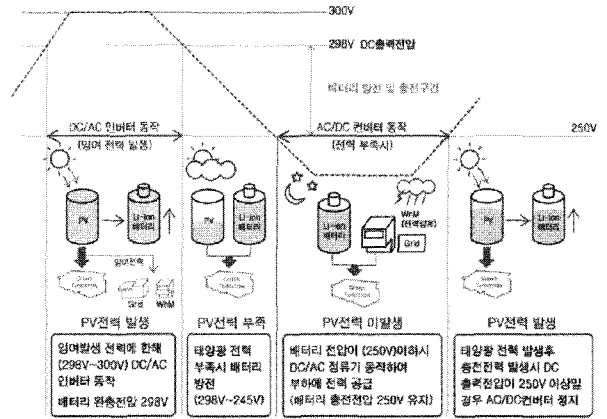


그림 5 그린투마로우 직류제어

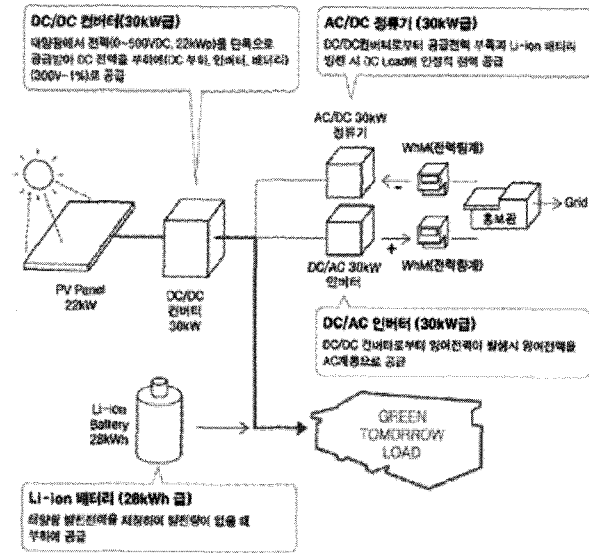


그림 4 그린투마로우 직류배전 구성도

위하여 고효율의 LED소자를 직류 드라이버로 구동시키고 구 내 광 손실이 최소화 된 조명기구를 사용하였다. 일반적인 교류LED드라이버와 본 건물에 적용하기 위해 제작된 교안정도 직류모듈을 제작하였다. 실험결과 교류대비 직류드라이버는 20W LED모듈 구동 시 교류드라이버에 비해 약13% 향상된 효율을 확인할 수 있었다.

구내 직류배전을 구축하기 위해서는 전압과 배선망을 결정하여야 한다. 전압이 낮으면 배전 시 케이블 저항손실이 커지므로 케이블이 굵어지고 케이블 등 자재비 단가 상승요인이 된다. 반면 전압을 높이면 안전 문제를 고려하여야 하나 구내 배전에 안전상 400V DC까지 가용하다. 220V AC 배선망 및 기존 전자기기를 수정 없이 사용할 수 있도록 220V AC를 정류하여 나오는 300V DC를 적용하였다. 현재 구내 직류배전에서 접지시공방식에 대한 명확한 기준이 없으므로 누전시

접지방식 보다 인체에 안전한 비접지 방식을 채택하였다. 직류 누전차단기가 상용화 되어 있지 않으므로 절연감시 장치를 통해 기능을 대체하여 준다. 순간 절연 감시 장치를 통해 저항을 측정하고 10kΩ 이하일 때 배선용차단기에 신호를 보내어 트립이 되도록 분전반을 구성하였다.

모듈의 음영과 음영 등에 의해 발전 생산량이 저하되고 모듈이 소손을 방지하기 위해 직렬22, 병렬 8로 시스템을 구축하여 전력 생산의 안전화를 도모하였다. 현장의 일평균 일조시간이 3.5시간 정도임을 고려한 22kWp의 발전용량을 설치하여 그린투마로우의 전체 전력 사용량 100%를 담당하도록 하였다. 적용된 구내 직류배전 시스템은 그림 4와 같이 태양광모듈에서 생산된 직류전원을 교류로 변환하지 않고 직류로 구내에 직접 급전하는 전력 시스템이며, DC/DC컨버터장치, AC/DC정류장치 그리고 입출력 분배회로와 연결단자로 구성되며 연계된 장치로 태양광모듈, 리튬이온전지, 계통 연계형 인버터로 구성되어 있다. 그린투마로우에서는 DC/DC컨버터에서 각 기기별 전압제어를 통해 운전 및 정지하도록 구성하였다. 부하 공급 전압은 리튬이온전지의 전압에 연동된다. 각 전압의 상태에 따른 동작은 그림 5와 같다.

연간 운영시의 교류와 직류 간 효율성을 비교하기 위하여 그린투마로우 용량을 기준으로 다양한 환경구성에서 측정된 기초자료를 바탕으로 효율 시뮬레이션을 수행하였다. 교류의 Best-effort(고가 고효율 교류장비) 구성 대비 직류 체계에서 효율은 7.6% 개선되었으며, 보편적인 교류체계를 기준으로 하는 경우 22%가 개선되었다.⁽⁷⁾ 특히 저장 장치의 활용도가 높아질수록 직류 체계의 효율이 더욱 증가하는 것으로 확인되었다. 현실적으로 교류체계의 Best-effort 도입에는 한계가 있으므로 분산전원 및 저장장치가 없는 경우에도 직류체계의 효율 개선효과가 상당히 (빌딩 17.7%, 주거시설 9.5%) 존재한다.⁽⁸⁾

3. 저압 직류배전기술

3.1 그린 직류배전의 개념

그림 6은 상업용 시장에서 가용한 컨버터(AC-DC, DC-DC)용량에 따른 효율을 조사⁸⁾한 것이다. 이 그림을 고찰하면 AC-DC 및 DC-DC 컨버터의 효율은 용량이 커질수록 효율이 향상됨을 알 수 있다. 그린 직류배전기술은 구내 전자기기를 다 사용되는데 효율이 낮은 어댑터나 내장된 스위칭 서플라이의 AC-DC 부분들을 큰 하나의 고효율 AC-DC컨버터로 재배치함으로써 에너지 효율 및 전력품질을 향상시키는 기술이다. 시스템이 단순한 직류배전은 교류-직류 변환 횟수를 줄여 줄 뿐만 아니라 고효율의 변환을 통해 소비전력도 절감할 수 있게 해준다. 이는 그린 직류배전개념의 근거를 제공한다.

3.2 직류안전과 배전손실 저감

인체감전의 영향에 관한 국제표준으로 전기적 안전요건을

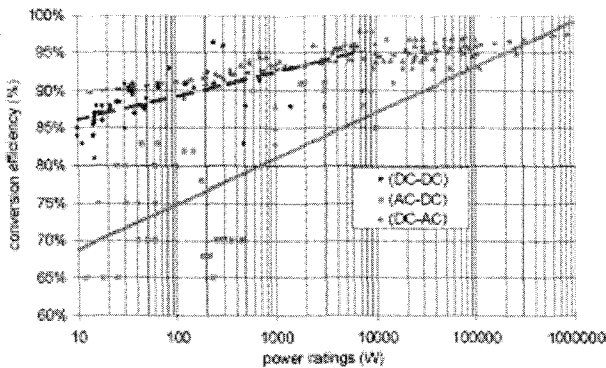


그림 6 컨버터용량과 효율과의 관계

설정하기 위해 사용하는 IEC60479-1 “인체감전의 생리학적 현상”의 일반적인 양상으로서 인체의 임피던스와 상용주파 교류와 직류전류에 대한 인체의 생리학적 현상을 다루고 있다. 감전보호를 실시할 경우 가장 중요한 지표는 감전전류이다. 감전전류는 감지전류, 불수의 전류, 심실세동 전류의 3종류로 크게 나눌 수 있다. 인체에 전류가 흐르더라도 단지 감지하는 정도라면, 불쾌감만이 남을 뿐 사망에 이르는 않는다. 문제가 되는 것은 인체에 전류가 흘러 호흡곤란과 근육수축이 발생함으로써 몸을 움직일 수 없는 경우와 심실세동으로 인해 심장이 멈춤으로써 사망에 이르는 경우이다. 교류와 직류의 인체안전곡선을 비교해 보면 직류에 의한 사고는 교류보다 움직인 부분의 이탈이 용이하고 심장주기보다 더 장시간의 감전 기간에 대하여 심실세동 한계전류가 교류의 경우보다 상당히 높으므로, 상대적으로 안전하다는 사실이다.

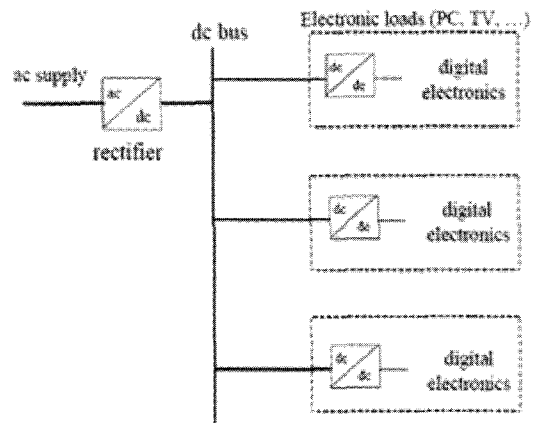


그림 8 직류공급체계(대표도)

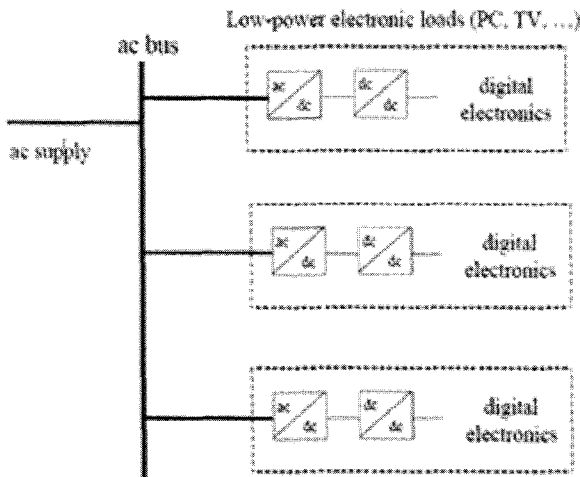


그림 7 기존 교류공급체계(대표도)

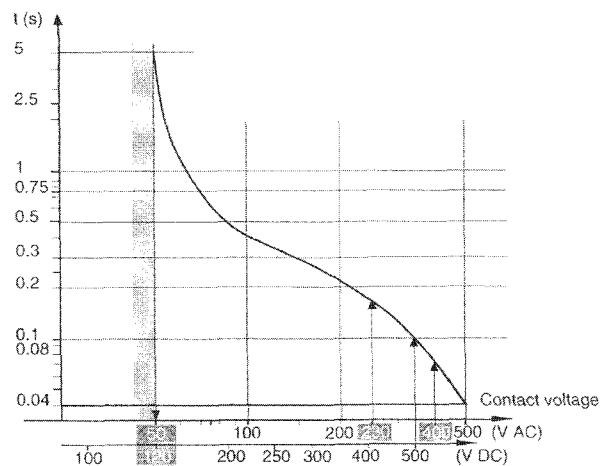


그림 9 통전시간과 교류/직류 접촉전압과의 관계

그림 6은 규격에서 제시한 인체안전곡선을 합성한 것으로 교류230V는 직류 400V와 안전상 등가 관계를 나타내고 있으므로, 구내 직류배전의 경우 배전 효율측면에서 교류(220-230V)전압 보다 높은 직류(300-400V)전압을 활용할 수 있는 장점이 있다. 따라서 직류(300-400V)전류의 크기는 교류(220-230V)전류보다 항상 작으며 배전선에 발생하는 손실이 직류로 배전 할 때 더 적은 것을 확인 할 수 있다.

동일 손실조건에서 동일 전력용량을 전송하기 위한 직류 케이블 굵기는 교류의 50%이하로 계산⁽⁹⁾ 되므로 그린빌딩의 경우 배전의 경제성을 크게 도모할 수 있다.

4. 표준직류전압 선정

국제적으로 60V DC이하의 경우 전기안전 규제가 없으므로 우선 말단부하를 48V DC(미국의 Emerge Alliance는 24VDC로 표준화 진행)로 공급하는 것이 적당할 것이다. 하지만 대용량의 경우 배전 손실을 줄이기 위하여 전압을 300-400V DC로 적용하여야 할 것이며, 최적의 전압과 안전에 대한 규격 등의 전 세계가 단일화 된 국제표준화가 이루어져야 한다.

미국전기연구원(EPRI)와 일본NTT는 이 표준화 주도권을 잡기 위하여 최근 IEC직류표준화 회의에서 공칭전압 380V DC, 정격전압 400V DC, 전압변동범위 260-400V DC를 표준으로 제시하였으며 이를 이미 실증하였다.⁽¹⁰⁻¹¹⁾

이 전압의 근거를 들면 다음과 같다.

- 1) IEC61000-3-2(기기의 고조파방출 제한)규격을 만족시키기 위해 역률제어(PFC)단계에 이 전압이 일반적으로 존재하며 380V DC에서 역률개선이 용이함.
- 2) 현재 기술로 신뢰성(200-1000%) 있고 15% 경제적인 부하전원장치(PSU)를 만들 수 있음.
- 3) 직류시스템의 에너지효율을 7-15% 개선할 수 있음.(안전 한계 내 가능한 높은 DC전압을 사용하는 것이 낮은 전압보다 에너지효율을 올릴 수 있음.)
- 4) 기존 부품 소자(예: 전해캐패시터)의 정격범위가 400-450V DC로 만족함.
- 5) 적절한 접지를 통해 110V 교류보다 인체에 안전하게 사용가능함.
- 6) 태양광발전과 전기자동차 충전과의 연계가 용이함.

이 전압의 문제점을 고찰하면 일반적인 전원공급장치의 최대치인 $(240V+10\%)\sqrt{2}=373V$ DC를 초과하여 기존 전자 기기와 호환성 문제가 발생된다.(이에 따라 일부 유럽회사는 350V DC를 표준으로 제시) 220-230V AC를 정류하여 나오는 전압인 311-326V DC전압(KT는 300V DC를 표준으로 제시)의 경우 호환성면에서 유리하다. 그러나 이 안에 대한 국내의 IEC국제표준화 대응조치가 취약한 실정인어서 국제

표준으로 400V DC가 채택될 가능성이 매우 높다.

따라서 향후 저압 직류배전에서 기존기기의 적용 호환성을 무시하고, 전체 시스템의 에너지효율을 위하여 국제표준화 추진 중인 정격전압 400V DC에 대응하는 새로운 시스템 및 전자기기의 개발을 추진하여야 할 것이다.

5. 그린빌딩의 직류계통구성

저압 직류배전의 실용화에 가장 적합하게 단순한 부하군과 신재생에너지 발전원 구조로 구성된 곳은 그린빌딩이다. 당사 사옥(30층규모)의 빌딩에너지관리시스템(BEMS)로 측정된 작년 연간 부하별 전력소비구성을 보면 당장 직류를 적용할 수 있는 조명부하, PC 및 전산부하, 공조(HVAC)부하, 엘리베이터 등이 전체 약 80%를 차지하고 있어 그린빌딩 적용이 적합함을 알 수 있다.

기존의 상전압 220V AC(선간전압 380V AC)를 대체하여 그린빌딩에 적합한 400V DC 직류계통으로 다음과 같이 외부전력 공급원, 내부에너지원, 에너지저장장치, 각 부하들을 조합하여 그림 10과 같이 구성한다. (현재 DC공급이 불가능한 부하는 별도AC공급함.) 이 구성은 약 30층, 100m높이의 빌딩에 적용하여 교류체계 대비 에너지 절약, 배전손실 감소, 신뢰도 및 전력품질이 향상될 것으로 예상된다.

직류배전에 따른 DC Bus 연계 방법은 다음과 같다.

- 1) 계통연계: 외부 AC전원을 DC로 변환 공급
AC/DC 전압원컨버터(VSC) 혹은 PFC & DC/DC컨버터

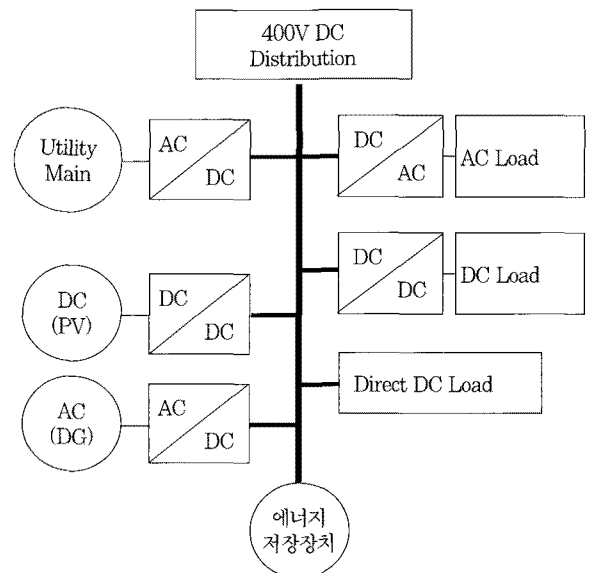


그림 10 그린빌딩 직류계통구성

를 적용함.

적합한 AC/DC 컨버터 선정을 위하여는 다음사항을 고려하여야 한다.^[12]

- 요구되는 전력품질(PF, CF, THD, 전압 리플)
- 직류출력전압 (일정, 변동)
- 전력조류(단방향, 양방향)
- 출력직류 (절연, 비절연)
- 부하형태 (선형, 비선형)
- 가격, 크기, 중량
- 효율, 정격용량
- 노이즈 수준(EMI, RFI)
- 신뢰도
- 설치환경

그림 11은 승압형 3상 컨버터와 양방향 DC-DC 컨버터를 결합한 형태로, 양방향 DC-DC컨버터를 이용하여 승,강압이 가능하기 때문에 교류 입력전압에 따른 직류 제어전압의 제한범위를 크게 할 수 있는 장점을 갖는다.

- 3) 디젤발전기 비상전원: AC/DC정류기로 연계
- 4) 축전지: DC-DC로 연계
신재생에너지원의 에너지 충전/방전,
엘리베이터의 회생제동 충전/방전
- 5) 그린조명: LED조명의 경우 AC-DC와 DC-DC 두단계 변환에서 DC-DC 한단계로 변환 축소,
형광등의 경우 AC-DC와 DC-AC 두단계에서 DC-AC 한단계로 변환 축소
- 6) 그린컴퓨팅: 컴퓨터 및 서버의 경우 AC-DC와 DC-DC 두단계 변환에서 DC-DC 한단계로 변환 축소,
노트북의 경우 AC-DC정류기에서 DC-DC컨버터로 변경
- 7) 인버터 전동기제어:
AC-DC와 DC-AC 두단계에서
DC-AC 한단계로 축소
- 8) 전기자동차(EV):
DC직접 혹은 DC/DC 연계 에너지 충전/방전
- 9) 히터, 쿠키: DC직접공급

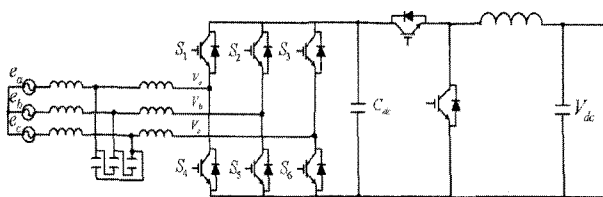


그림 11 전압원 컨버터와 양방향 컨버터

6. 계통보호 및 접지

6.1 과전류 및 단락전류보호

직류는 전류영점이 없기 때문에 직류차단기 구현에 난점이 있으나 저압에서는 표 2와 같이 적용가능한 배선용차단기가 존재한다. 이들 차단기는 직류전압이 250V DC를 초과할 경우 보다 적용전압에 따라 차단기극(Pole)을 직렬로 접속시켜야 한다. 장한시(Long-time delay)영역에서 차단시간은 열동전자식 배선용차단기의 바이메탈 센서가 실효치 전류로 작동되기 때문에 직류나 교류에서 동일하나 순시(단락)영역에서는 차단시간이 순시치의 제공에 비례하는 전자력으로 구동되어 차단되므로 직류와 교류간에 차이가 있다. 교류 트립곡선 전류는 실효치로 표시하지만 직류의 경우는 순시치이므로 사용자는 1.1-1.4의 상승계수를 적용하여 트립 곡선을 수평으로 이동시켜야 사용하여야 한다.

시스템적 관점의 직류계통 보호는 그린빌딩의 계통 시뮬레이션에 의한 보호장치 적정여부를 판단하여야 하므로 설계시 관련 전기계통 해석이 수반되어야 할 것이다.

6.2 직류 접지

국제규격 IEC60364(저압전기설비)에서는 접지계통을 전원의 접지방식(계통접지)과 수용가 전기기기의 외함 접지방식에 따라 다음과 같이 3종류로 분류된다.

- TN-계통: 기기 외함의 접지를 독립적으로 하지 않고, 보호 도체에 의해 전원의 중성점에 접속하는 방식 (중성선과 보호도체를 겸용하는 경우에는 TN-C계통이라 하며, 중성선과 보호도체가 별개로 분리되어 포설된 경우에는 TN-S계통이라 함)
- TT-계통: 전원접지(계통접지)와 기기외함의 접지를 독립적으로 시설하는 방식
- IT-계통: 전원 접지를 설치하지 않고, 기기 외함 접지 만

표 2 직류배전용 배선용 보호장치

| 형식 | 제조사 | 정격전압(V) | 정격전류(A) | 차단전류(kA) |
|------|-----------|----------|-----------|----------|
| 퓨즈 | Shawmut | 500-1000 | 1-600 | 100 |
| | IEO | 250-550 | 2-630 | 120 |
| MCCB | ABB | 250-1000 | 25-5000 | 25-65 |
| | Schneider | 250-750 | 100-630 | 50-100 |
| | Eaton | 250-750 | 15-630 | 10-42 |
| | Siemens | 250-600 | 25-630 | 20-32 |
| | LS산전 | 500-1000 | 100-800 | 42-100 |
| CB | Secheron | 900-3600 | 1000-6000 | 80 |
| | Terasaki | 800 | 1000-2500 | 30 |

을 설치하는 방식 (고저항을 접지에 연결하는 경우 고저항접지, 전혀 접지를 하지 않는 경우 Floating접지라 함.)

현재 직류계통 접지선정에 명확한 국제기준이 없는 상황이다. 그러므로 400V DC를 표준전압으로 가정할 경우 기존 안전관련 국제규격을 적용하여 인체에 대한 고장보호를 위해 심실세동이 일어나지 전에 사고전류를 자동차단 하거나 사고전류를 제어하여야 한다.

관련 규격을 검토 고찰한 결과 그린빌딩 400V DC의 접지에 관련하여 다음의 사항을 고려하여야 한다.

- 1) IEC61200-413(간접접촉에 의한 보호-전원의 자동차단)은 통전전류 350mA에 0.04초안에 차단을 요구하고 있으며, IEC60479-1에서 요구하는 인체감전의 영향이 없도록 적절한 접지를 통하여 허용접촉전압 이하로 제어되어야 한다.
- 2) 직접접지(TN-S, TN-C)를 할 경우 고장시 인체에 흐르는 전류가 500mA를 초과하여 RCD(잔류전류차단장치)가 10ms 이내로 차단할 수 있어야 한다. 현재 IEC947-2(저압차단기)규격은 RCD가 40ms 이내로 규정되어 있으므로 직접접지 방식은 가용하지 않다.
- 3) 음극 접지와 직류 순환전류는 금속의 부식을 유발하므로 음극 접지를 하지 말아야 하며, TN-C방식의 채용은 바람직하지 않다.
- 4) TT방식은 사고전류가 적어서 고장검출이 매우 어렵다.
- 5) 지속적인 아크전류(300mA이상)로 인한 화재발생을 방지하여야 한다.
- 6) IT방식에서 완전 비접지인 Floating접지를 할 경우 가장 인체에 미치는 영향이 없으나 선대지간 운전전압이 일정하지 않다.

따라서 상기와 같은 제약 조건하에서 그린빌딩에 적합한 접지방식은 그림 12와 같이 TN-S에서 중점을 접지하여 고장시 IEC규격 RCD로 자동차단 시키는 방법과 IT방식에 고저항을 삽입하여 인체감전을 영향이 없도록 하는 두가지 방법을 제시하며 상세한 내용은 별도로 발표할 예정이다.

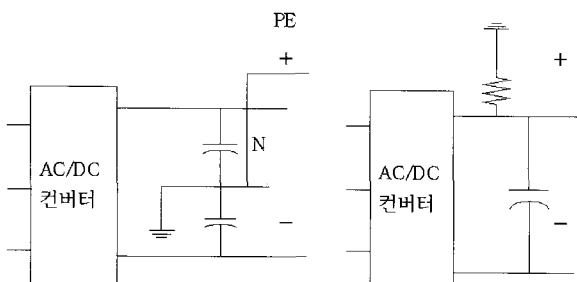


그림 12 그린빌딩 접지방식

7. 맺음말

금세기초 전기사용 환경의 변화와 전력전자기술의 혁신적 발전으로 인하여 오랫동안 무의식적으로 사용하여 오던 교류와 새롭게 부활한 직류에 대하여 19세기말에 있었던 논쟁을 재거론 하는 것은 무의미하며, 이상을 통해 전기에너지 이용 효율을 극대화하는 스마트그리드 직류시스템으로 변화 할 것임을 믿어 의심치 않는다.

본고에서는 그린홈에 직류배전을 적용, 구현하여 실용가능성을 실증하였으며 에너지효율 및 전력품질 관점에서 유리함을 확인하였다. 또한 직류배전의 조기 상용화가 예상되는 그린빌딩의 저압직류배전 개념, 표준전압선정, 계통구성, 계통보호 및 접지에 관한 기술 제시를 통해 구현기반을 구축하였다. 조만간 건축물에 고효율 컨버터를 설치, 직류를 디지털 전자제품에 직접 공급하는 방식을 통해 에너지변환 손실을 줄여 전기에너지를 절감할 계획이며 직류전원을 기반을 둔 태양광, 연료전지 등 신재생에너지를 통해 생산된 전력을 안정적으로 이용할 수 있게 함으로써 미래 친환경건축물 구현을 선도할 것이다.

향후 그린빌딩에 직류배전을 보급 확산시키기 위해서는 효율검증을 통한 친환경건축물 인증제도와 에너지 절약방안의 세부 평가항목 편입이 필수적이라 할 수 있다. 아울러 직류관련 정부의 정책적 지원, 학계의 고효율 전력변환기기 개발과 전력시스템 해석연구, 업계의 전자기기 표준화, 범용화 및 RCD의 개발, 전기협회의 직류접지 Test Bed구축을 통한 직류전기기술기준의 수립, 안전공사의 사용전 검사방법 등이 필요하다.

참고 문헌

- [1] Z Fang, Z Hong-guang, "The Influence on Power System Dynamic Stability/Oscillatory Stability by Large Power Grids", IEEE PES General Meeting, Denver, USA, June 2004.
- [2] 이경호, "직류배전동향 및 안전대책", 전력전자학회지, Vol. 14, No. 2, pp. 21-26, 2009. 4.
- [3] 이경호, "국내 직류배전기술과 그린홈 구현사례", 대한전기학회지, Vol. 59, No. 7, pp. 41-48, 2010. 7.
- [4] 이경호, 박현우, 신수철, 이택기, 원충연, "태양광발전을 이용한 빌딩용 직류배전시스템", 전력전자학술대회 논문집, pp. 85-86, 2010. 7.
- [5] C.O. Gecan, M. Chindris, G.V Pop, "Aspects Regarding DC Distribution Systems", Fascicula de Energetică, Vol. 15, No. 2, pp. 226-231, 2009.
- [6] Fanglin Luo, Hong Ye, "Ultra-lift Luo-converter",

- IEE Electrical Power Applications, Vol. 152, No. 1, pp. 27-32, January 2005.
- [7] 삼성물산, "DC기반 차세대 주거공간용 전기에너지 통합환경 구축기술 개발 연구보고서", 2010. 1.
- [8] Pang Huey, Lo Edward W.C., Pong Bryan M.H., "Proposal of DC Electrical Distribution Systems in Buildings", Proceedings of ICEE 2007, Hong Kong, July 2007.
- [9] J R Lucas, "High Voltage Engineering", pp. 184-204, 2001.
- [10] Pratt, A., Kumar, P., and Aldridge, T. V. "Evaluation of 400 V DC Distribution in Telco and Data Centers to Improve Energy Efficiency", Intelec 2007, pp. 32-39, 2007.
- [11] NTT Facilities Inc., "Development of 400VDC Power Distribution System and 400VDC Output Rectifier", 2009.
- [12] B. Singh, N. Singh, Ambrish Chandra, Kamal Al-Haddad, Ashish Pandey, "A Review of Three-Phase Improved Power Quality AC-DC Converters", IEEE Industrial Electronics, Vol. 51, No. 3, pp. 641-660, June 2004.

〈 필 자 소 개 〉



이경호(李庚浩)

1960년 11월 14일생. 1986년 한양대 전기공학과 졸업. 2009년~한양대 공학대학원 전기공학과 재학. 1986년~한국전력기술(주) 1993년 발송배전기술사 취득. 2007년~현재 삼성물산(주) 건설부문 건축기전팀 전력 담당 부장.