

선박용 직류배전기술 동향

1. 서론

선박은 바다나 강, 호수 등의 물에서 사람 또는 물건을 운반하거나 작업을 수행하는 구조물을 뜻하며 부양성, 이동성, 생존성, 안락성, 안전성 등의 특징을 갖추어야 한다^[1]. 대부분의 대형 상용 선박들은 장거리 이동을 위하여 에너지 밀도가 높고 적재가 용이한 석유와 같은 화석연료를 사용하고 있으며 이를 연료로 사용하는 디젤엔진을 주로 추진용 메인 엔진과 발전용 보조엔진으로 사용하고 있다.

근래의 선박은 저렴하고 황 함유량이 높은 중유(heavy oil)를 주로 사용하였기 때문에, 전 세계적인 대기 및 수질오염문제가 심각하였다. 따라서 국제해사기구(International Maritime Organization; IMO)에서는 이를 해결하기 위해 해양오염 방지협약(MARPOL)을 제정하여 주요 항만 주변의 ECA(Emission Control Area) 뿐만 아니라 전 해상에서의 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx)의 대기오염물질 배출 규제를 강화하였다. 또한 온실가스인 이산화탄소(CO₂) 배출량도 2025년까지 30%를 감축하도록 하였으며, 이에 따라 400톤급 이상의 신규 건조 선박에 대해서 선종별 EEDI(Energy Efficiency Design Index, 에너지효율설계지수) 뿐만 아니라 2023년부터는 현존선에 대해서도 EEXI(Energy Efficiency eXisting ship Index) 및 CII(Carbon Intensity Indicator)를 도입하는 등 다양한 평가 방법을 마련하고 있다.

조선 분야에서는 점차 강화되는 환경규제 대응의 한 방법으로, 기존 시스템에 배출가스 저감장치를 설치하거나, 사용하는 연료를 저가의 중유에서 고가의 저 유황유, LNG와 같은 친환경 연료로 변경할 수 있다. 하지만 이는 수질 오염이나 운영비용의 상승을 유발하므로 근본적으로는 전체 추진 시스템의 효율을 개선하여 연료 소모량 자체를 절감하는 방안이 필요하다.

기존의 기계식 추진 선박은 메인엔진을 이용하여 한 방향으로만 프로펠러를 구동하는데, 무부하운전에서도 엔진은 회전을 하고 있어야 하기 때문에 위치 제어를 위해서는 복

잡한 CPP(Controllable Pitch Propeller)를 적용할 수밖에 없다. 그리고 엔진은 저속에서는 최대 출력 토크가 낮고 정격 속도와 출력의 60~80% 구간에서 최적 효율을 갖도록 설계되어 있으므로 저부하 운전시에는 연료소비율(Specific Fuel-Oil Consumption; SFOC)이 나빠지는 단점이 있다. 또한 경부하에서 오랫동안 운전하게 되면 내부에 불완전 연소가 일어나 슬러지 등이 침전되어 주기적인 내부 청소가 필요하고 엔진 수명이 감소하는 등의 문제가 발생한다. 반면 전동기는 정지 및 역방향 회전이 가능하여 FPP(Fixed Pitch Propeller)를 적용할 수 있고, 영속도에서도 정격 토크를 낼 수 있으며, 회생 운전도 가능하다. 아직까지는 이에 필요한 에너지를 주로 엔진-발전기 세트에서 얻지만, ESS(Energy Storage System), 연료전지(fuel cell)와 같은 대체 에너지원의 가격이 지속적으로 하락하고 있어 하이브리드로 운용되거나 전 전기 선박(all electric ship)으로도 제작 및 운용되는 예가 늘어나고 있다.

이와 같이 다양한 장점을 가진 전동기를 최적으로 제어하기 위해서는 전력전자기술이 적용된 추진 드라이브가 필요하며, 여기에 안정적인 전력을 공급하기 위해서는 발전원과 선박용 배전 시스템이 필요하다. 기존에는 고정 주파수인 교류(AC) 배전 방식을 대부분 사용해 왔으나, 전력전자기술의 발전으로 인해 다수의 전압형 컨버터로 이루어진 직류(DC) 배전방식이 해외 선진업체의 솔루션을 중심으로 확대되고 있다. 본 기고에서는 친환경 고효율 특성이 요구되는 선박에서 직류배전 방식이 효과적인 이유와 기술 동향을 정리하였다.

2. 선박용 직류배전의 장점

선박은 독립적인 이동수단이므로 선박용 전력시스템은 자체적으로 전력의 생산-전달-소비가 가능해야 한다. 육상의 전력시스템은 보통 각 기관의 역할이 나뉘어져 있어 신기술 적용 보다는 엄격한 연계기준을 준수해야 하지만, 선박은 초기

단계부터 종합적인 설계가 가능하기 때문에 신기술 적용이 용이한 편이다. 본 장에서는 최근 확대되고 있는 직류배전 적용 시 선박에서의 에너지 효율, 전장품 무게 및 공간, 에너지 저장장치 연계, 시스템 동기화 측면에서 장점을 살펴본다.

2.1 에너지 효율 향상

교류 선박의 발전기는 일정한 시스템 주파수 유지를 위해 부하변동과 관계없이 정속(fixed speed) 운전을 해야한다. 일반적으로 선박용 디젤발전기는 용량의 60~85% 부하(중부하) 조건에서 최대 효율을 갖도록 설계되어 있어 다른 부하율에서는 연비가 낮아지게 되나, 직류배전에서는 발전기 주파수에 관계없이 엔진-발전기 부하율(engine load)에 따라 최적 효율의 속도로 제어하는 가변속(variable speed) 운전이 가능하다. 실제로 경부하 조건에서 가변속 운전을 통해 그림 1과 같이 정속 운전 대비 약 10~25%의 연료 소비 절감이 가능하다.

서플탱커 및 드릴십과 같은 동적 위치제어(Dynamic Positioning; DP) 선박의 전력시스템은 중복성(redundancy)을 확보하기 위하여 다수의 버스로 구성되어 있으며, 단순이동 시에는 버스 간의 버스타이 차단기(bus-tie breaker)를 닫은 상태로(closed-bus) 일부 발전기만 구동하여 시스템 효율을 높인다. 하지만 선박 충돌 위험이 높은 DP운전 시에는 주로 각 버스에 연결된 쓰러스터(thruster) 등 전기추진용 전동기를 구동하게 되는데, 선급 규정을 만족하기 위해 일반적으로 버스타이를 개방한 상태(open-bus)에서 운전을 실시한다. 이는 어느 한 버스에서 발생한 사고로 인해 전체 시스템이 영향받는 것을 원천적으로 방지하고 나머지 건전한 버스의 쓰러스터 동작을 통해 최소한의 선박 자세와 위치를 제어하기 위한 안전기준이다. 하지만 각 버스마다 발전기를 경부하인 상태로 대부분 동작시켜야 하기 때문에 연비가 급격히 낮아진다.

최근에는 이러한 상황에서도 친환경 고효율 운전이 점차 중요해지고 있기 때문에, ABS나 DNV 등 선급에서는 EHS-P, DYNPOS-ER 등 별도의 DP등급을 만들어, 고장 버스가 건전 버스에 거의 영향을 주지 않을 만큼 빠른 시간에 버스를 분리

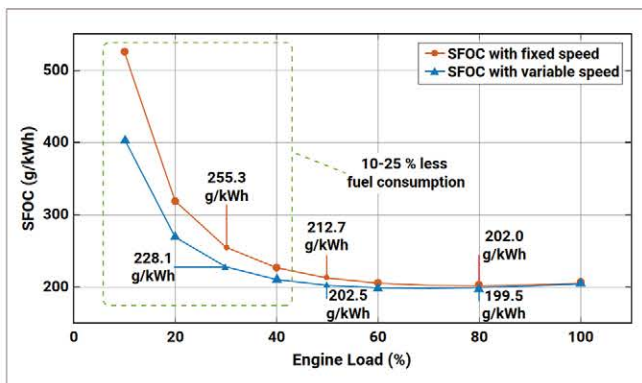


그림 1 엔진-발전기 부하율에 따른 정속 및 가변속 발전 시의 연료소비율(SFOC) 비교^[2]

할 수 있는, 즉 Closed-bus 운전이지만 Open-bus와 같은 무결성(integrity)과 신뢰성을 증명하는 경우에 해당 등급을 부여하고 있다. 정리하면, 해당 DP선박은 사고시에는 고속으로 버스를 분리하여 건전 버스로 선박의 자세와 위치 제어가 가능하고, DP 운전시에는 Closed-bus 운전을 통해 발전기 운전 대수와 각 발전기의 부하량을 최적화한 에너지 효율향상이 가능하다. 선박용 직류배전에서는 수십 μ s의 차단 속도를 갖는 반도체 차단기(Solid-State Circuit Breaker; SSCB)를 버스타이에 적용하면 해당 등급의 적용이 가능하다.

2.2 전장품 무게 및 부피 절감

교류 선박에서는 드라이브의 다이오드 정류기(Diode Front End; DFE)에서 발생하는 전류 고조파를 저감하기 위해 일반적으로 그림 2(a)와 같이 정류기 입력단에 위상 천이된 다권선 변압기를 적용하여 12-펄스 또는 18-펄스 정류기를 구성하는 방식을 사용하고 있다. 직류배전에서는 그림 2(b)와 같이 발전기 출력단에 정류기가 위치하므로 발전기에 가해지는 고

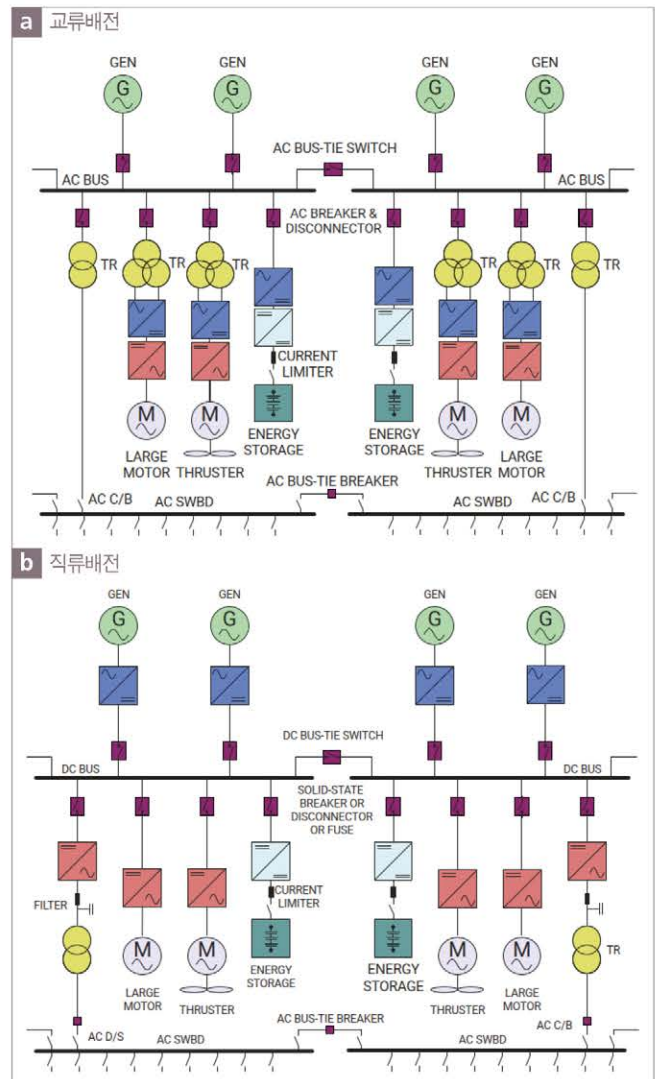


그림 2 상업용 전기추진선박 전력계통 구성 예^[2]

조과 손실만 고려하면, 많은 무게와 공간을 차지하는 다권선 변압기를 제거할 수 있다. 그 외에도 최적화를 통해 추가적인 전장품 무게 및 공간 절약이 가능하다. 예를 들어 10MW 용량의 DP선박을 직류와 교류로 각각 구성하였을 때의 직류 전장품의 무게는 교류 전장품의 무게의 약 74% 수준으로 구성할 수 있다^[3].

2.3 에너지 저장장치 연계 용이

최근 발전기 운전 최적화, 예비 발전원 확보, 항구 내 무탄소 배출(zero-emission) 운전 등의 목적으로 배터리 기반 에너지 저장장치를 선박에 설치하는 사례가 크게 증가하고 있다. 배터리는 직류전압 특성을 갖고 있으므로 이를 교류배전과 연계하기 위해서는 AC/DC컨버터를 함께 사용해야 한다. 하지만 그림 3과 같이 배터리를 직류배전에 연결할 때에는 AC/DC컨버터가 불필요하며, 직접 연계하거나 DC/DC컨버터를 통해서 연계할 수 있다. 메인 버스에 배터리를 직접 연결하는 방법은 단순하고 거의 이상적인 전압원의 역할을 할 수 있지만, 배터리 관점에서는 개별적인 충방전 제어가 불가능할 뿐만 아니라 과도한 전류가 흐를 가능성이 있고, 공통모드 전압에 의한 누설전류 이슈도 존재한다. 또한 충전량(State of Charge; SOC)이나 부하크기에 따라 전압이 변동하므로 배터리 운용 범위가 제한적이거나 내부 저항이 낮은 배터리를 사용해야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 절연형 DC/DC컨버터를 이용하면 충방전량을 제어할 수 있고, 누설전류를 대부분 제한할 수 있다. 또한 배터리와 DC버스의 전압을 다르게 설계할 수 있으므로 다양한 배터리의 적용이 가능하다.

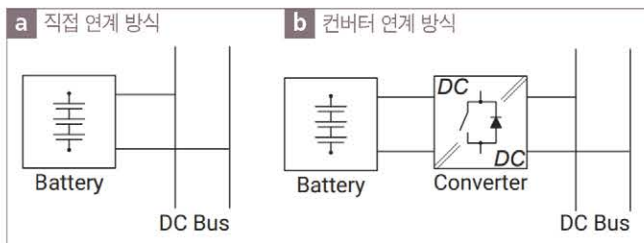


그림 3 배터리 에너지저장장치의 직류배전 연계 방법

2.4 시스템 동기화 용이

교류 배전에서의 동기화는 연계하고자 하는 두 버스 전압의 상 순서가 같아야 하고, 크기, 위상각, 주파수의 차이가 모두 기준치 이내일 경우에만 가능하다. 이와는 달리, 직류배전은 전압의 크기만 맞추면 손쉽게 서로 다른 두 버스의 동기화가 가능하다. 마찬가지로 한 버스 내에서 정류기를 통해 서로 다른 주파수를 갖는 발전기를 연계하는 것도 가능하다. 예를 들어 50Hz, 60Hz 및 400Hz 발전기도 정류기 출력 전압이 동일하면 연계 운전이 가능하며, 초기 기동 시의 낮은 rpm을 가

진 발전기와도 연계가 가능하기 때문에 발전기의 전환이나 계통의 복구 속도도 높일 수가 있다.

최근에는 초기 충전저항과 같은 돌입전류 제한장치 없이 버스타이용 반도체 차단기의 통전율(duty-ratio) 제어를 통해서도 다른 전압을 갖는 두 직류 버스를 연계하는 방법도 가능하다. 이는 반도체 차단기를 투입한 이후 돌입전류가 제한치에 이르면 차단기 개방과 투입 프로세스를 반복함으로써 서서히 두 버스의 전위를 맞추며 동기시키는 방법이다. 이러한 기술이 적용된 반도체 차단기를 포함한 직류배전은 시스템 동기화 문제없이 기기를 연계하고 회로의 조건 및 구성을 변경하는 것이 가능하다.

3. 선박에 적용된 주요 직류 배전 기술

선박용 직류배전은 전력전자기술 기반의 정류기와 대용량의 드라이브를 다수 이용하는 선박에 적합하다. 기존 교류 배전에서 배전반과 변압기를 제거하고 대용량 드라이브의 입력 단 정류기를 발전기 출력으로 이동한 후 정류기 출력에 직류 버스를 구성할 수 있다. 추가적으로 버스타이용 반도체 차단기와 기존 교류 부하용 전원을 공급하는 인버터를 설치하면 직류선박으로 전환이 가능하다. 본 장에서는 이와 같은 전환에 적용된 직류 발전시스템, 배전망 구성, 시스템 보호에 대해 기술하였다.

3.1 발전시스템

장거리를 이동해야 하는 선박은, 직류배전을 적용하더라도 에너지 밀도가 높고 경제적이고 수급이 용이한 디젤엔진-발전기가 많이 활용되고 있다. 기존 교류선박에서는 부하에 따라 발전기가 시스템 전압을 유지시켜야 하기 때문에 권선형 동기발전기가 사용되었으나, 직류선박은 정류기 유형에 따라 영구자석 동기발전기도 적용이 가능하다.

발전기에서 생산된 교류 전력을 직류로 변환하기 위해서는 표 1과 같은 유형의 정류기 적용이 가능하다. 승압 능력이 없는

표 1 상용화된 직류선박 발전시스템 조합

구분	정류기 유형		
	다이오드 정류기	싸이리스터 정류기	전압형 컨버터
권선형 동기발전기	○	○	○
영구자석 동기발전기			○

다이오드 정류기(DFE)와 사이리스터 정류기는 권선형 동기 발전기에만 적용 가능하지만, 능동형 정류기는 권선형 동기 발전기와 영구자석발전기 모두 응용 가능하다. 현재까지 상용화된 발전기와 컨버터 조합을 나타내면 표 1과 같다.

직류선박에는 3상 발전기 뿐만 아니라 6상(3상 2권선), 9상(3상 3권선) 같은 다상 발전기를 적용할 수 있으며, 여기에 다수의 정류기를 활용하면 출력 직류전압의 확장이 가능하다. 예를 들면, AC 3.7 kV 6상 발전기에 정류기 2개를 병렬로 연결(병렬 12펄스)하면 5kV 직류 출력이 가능하고, 정류기 2개를 직렬로 연결(직렬 12펄스)하면 10kV 직류 출력을 내는 발전시스템 구성이 가능하다^[4].

3.2 배전망 구성

대부분의 상선은 전장품 설치 비용 및 면적 최소화가 가능한 방사형(radial) 배전망으로 구성된다. 일반 상선에 적용되는 직류배전도 같은 이유로 방사형 배전망을 갖는다. 방사형 구조의 직류배전 구성 시, 직류 버스 사고에 대한 전체 계통 정전을 막기 위해 반도체 차단기를 직류 버스에 사용하거나 버스 사이의 버스타이를 개방한 채로 운전해야 한다.

높은 신뢰도가 요구되는 DP Class 3 등급의 선박이나 군용 선박에는 링 구조의 직류배전이 적용된다. 링 구조는 시스템 재구성을 통해 고장 구간만 차단하여 정전 구간을 최소화할 수 있다. 하지만, 신뢰도가 높아지는 만큼 차단기 설치 대수가 증가하고 시스템 복잡도가 증가하는 단점이 있다.

버스 구성방식과는 별개로 각 피더 간 임피던스를 고려하여 직류배전을 2가지 다른 물리적인 형태로 구성할 수 있다. 첫 번째는 그림 4(a)의 집중형 방식이다. 집중형 방식은 직류 배전을 컨버터 환안에서만 부스바로 구성 및 연계한 형태이다. 발전기와 정류기 간, 인버터와 전동기 간 연결은 교류 케이블을 사용한다.

그림 4(b)와 같은 분산형 방식도 적용 가능하다. 분산형 방식은 인버터를 모터 옆에 설치하고 정류기와 인버터 사이를

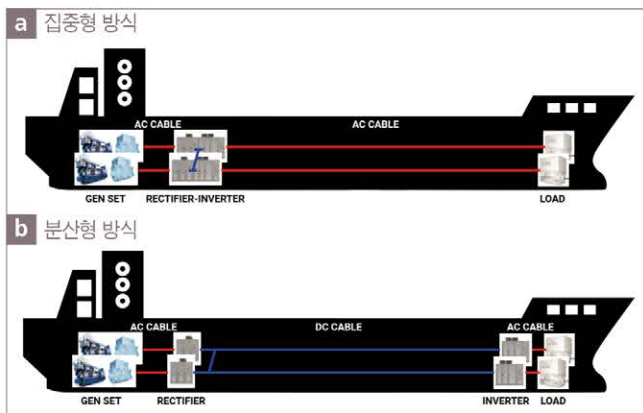


그림 4 직류배전 케이블 구성 방식

직류 케이블로 연계한 형태이다. 이 경우 직류 케이블 사용에 따른 전력손실 감소와 모터 제어 성능 향상이 가능하다. 한편, 직류 케이블 임피던스에 의한 단락전류 크기와 상승률에 있어 집중형 방식과 큰 차이를 보이기 때문에, 직류배전 보호에 케이블 구성 방식에 따른 고장 특성이 반드시 반영되어야 한다.

3.3 시스템 보호

선박 전력시스템의 보호 기능은 인명 안전과 건전 기기 보호, 연속적인 선박 운영에 직결되어 있다. 선박용 저압 직류 배전은 전동기 제어, 기존 AC전원 공급, 배터리 연계 등을 위하여 다수의 전압형 컨버터로 이루어져 있고, 일반적인 2레벨 컨버터의 DC측이 버스와 연결되도록 구성되므로, 단락사고가 발생하면 그림 5와 같이 다수 건전한 DC링크 캐패시터의 방전에 의해 수백 kA/ms의 급격한 고장 전류 i_c 가 발생한다. 캐패시터 전압이 0으로 떨어지게 되면 우측의 다이오드를 통하여 수십~수백 kA의 전류 i_o 가 환류(freewheeling)하게 되는데, 이때 다이오드 등의 전력반도체의 열적 내량이 낮기 때문에 케이블, 변압기, 전동기 등에 비해 상대적으로 보호가 어렵다. 선박에서는 이 과정이 수백 μ s~수ms 내에 일어나기 때문에 컨버터의 병렬연결을 통한 내량을 증가시키거나, 캐패시터의 방전을 원천적으로 방지하거나, 반도체 차단기나 고속 퓨즈와 같은 고속 보호장치가 필요하다. 고속 퓨즈는 경제적이지만 일회성 동작 및 수동교체라는 단점이 있고,

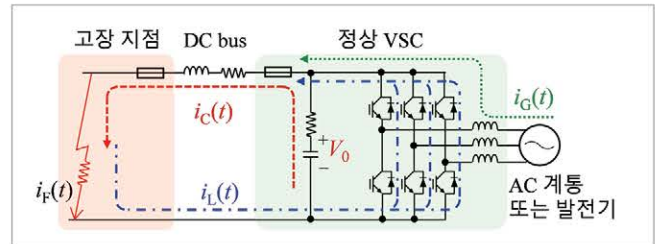


그림 5 정상 컨버터 관점의 3단계 고장전류 경로(i_c , i_i , i_o)

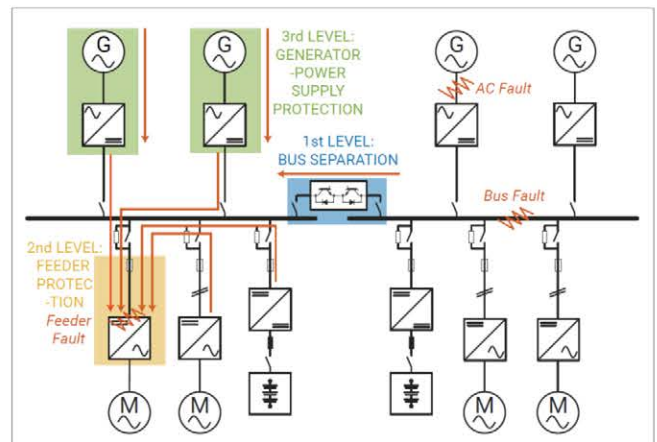


그림 6 직류선박의 단락사고 보호 개념도^[2]

반도체 차단기는 일부 제조사가 제공하고 있지만 높은 가격과 전도 손실의 단점이 있다.

최근 상용화된 선박용 직류배전의 단락 보호 시스템은 그림 6에 나타낸 바와 같이 3 단계로 구성되어 있다²⁾.

첫 번째로 버스타이에는 고가의 반도체 차단기를 배치할 수 있다. DP운전에서는 건전 버스를 보호하는 것이 최우선 목표이므로, 만약 버스 또는 피더에 단락사고가 발생하면 캐패시터 방전에 의하여 버스타이 차단기에도 순간적으로 높은 전류가 흐르게 된다. 이 값이 차단기 동작 전류에 이르면 수 십 μ s 이내에 차단기를 개방하여 건전 버스를 고장 버스로부터 분리할 수 있다. 손실 측면에서도 두 버스의 전력 차이만 큼만 전류가 흐르기 때문에 큰 비중을 차지하지 않는다.

두 번째 보호는 직류 버스와 피더인 전압형 컨버터 사이에 설치된 고속 퓨즈에 의해 이루어진다. 첫 번째 단계에서 고장 버스와 건전 버스는 이미 분리되었고, 동일 버스에 설치된 건전 컨버터의 DC링크 캐패시터 방전에너지가 고장 피더에 집중되게 되고, 이 전류에 의해 고속 퓨즈가 보통 수백 μ s에서 수ms 이내에 동작하게 된다. 이때 주의해야 할 것은 건전 피더의 퓨즈는 동작하지 않으면서 고장 피더의 퓨즈 정상 동작은 확보할 수 있도록 캐패시터 방전 에너지 설정과 퓨즈 사양 선정이 필요하다는 것이다.

마지막 단계는 위 두 단계를 통해서도 고장 지점이 분리되지 않을 때 행해지는 발전시스템 보호이다. 버스에서 사고가 발생하거나 피더 사고가 정해진 시간 내에 차단되지 않는 경우 발전시스템에서 공급되는 전력을 차단해야 한다. 발전시스템 보호는 정류기 유형에 따라 달라져야 한다.

다이오드 정류기는 고장전류를 차단할 능력은 없지만 상대적으로 높은 고장 내력을 갖는다. 따라서, 발전기와 다이오드 정류기 사이에 교류 차단기를 설치하거나 발전기의 여자를 인위적으로 제거하여 고장전류를 제한하는 것이 가능하다. 싸이리스터 정류기는 고장 내력이 높으면서도 점화각(firing angle) 제어를 통해 고장전류 제한이 가능하고, 정격 전류 내에서 분리기(isolator)를 개방하여 발전기를 보호한다. 반면 IGBT 등의 소자로 이루어진 AFE(Active Front End) 정류기는 DC링크 캐패시터를 가지고 있기 때문에 급격한 방전이 일어나고, 전류를 자체적으로 차단할 능력은 없기 때문에 발전기로부터 지속적인 고장 전류가 공급된다. 따라서 이 경우에는 대용량의 퓨즈나 반도체 차단기를 적용해야 한다.

한편, MV급 직류배전에서는 고장 전류 제어 성능을 가진 Full bridge 타입의 모듈형 멀티레벨(modular multi-level) 컨버터를 이용하여 차단기가 없는(breaker-less) 방식의 보호시스템이 주목을 받고 있다. 하지만 컨버터 가격이 매우 높아 현재까지는 함정용 직류배전에 적용이 검토되고 있다.

마지막으로 직류배전에서의 접지 방식은 대부분 비접지

나 고저항 접지를 일반적인 방식으로 채택하고 있다. 이는 접촉 시에도 감전사고 가능성이 낮고 단일 지락 발생시에도 지속적 전력공급이 가능하기 때문이다. 하지만 이중 지락이 발생하게 되면 단락 고장으로 이어지기 때문에, 더 이상 사고가 확산되기 전에 지락 위치를 찾고 적절한 조치를 취해야 한다. 대부분의 경우 절연감시장치(Insulation Monitoring Device; IMD)를 통해 절연저항이 일정 값 이하가 되면 지락이 발생한 것으로 간주하여 알람을 발생시킨다.

4. 국내외 직류선박 현황

2013년 4월 'Dina Star'호가 ABB의 직류배전 솔루션을 탑재하여 건조된 이래 현재까지 많은 선박이 직류배전을 적용하고 있다. 본 장에서는 유럽을 중심으로 한 해외 직류 선박 현황과 국내 직류선박 건조 사례 및 진행 중인 최신 프로젝트를 소개한다.

4.1 해외 건조 현황

해외의 선박용 직류배전 솔루션은 주로 선박용 컨버터 제품군을 갖춘 선진 기업에 의해 주도되고 있다. 2011년에 ABB는 'Onboard DC Grid' 솔루션을, Siemens는 'BlueDrive Plus C' 솔루션을 시장에 출시하였다. 이후 WeTech의 'Hybrid DC Machinery', Ingeteam의 'E3-Ship', The Switch의 'DC-Hub' 솔루션이 후발주자로 뒤를 잇고 있다. 이들 제조사에서 발표한 실적을 종합하여 직류배전이 유리하게 적용되는 선종을 살펴보면, 그림 7과 같이 크게 2가지 특성을 가진 선종이 다수임을 볼 수 있다. 서플탱커, 해상지원선(offshore support vessel)과 같이 경부하 운전이 많은 DP 선박과 로로(RoRo), 페리와 같이 짧은 거리를 오가는 연안선박이다.

직류배전이 적용된 DP 선박의 예시로는 2017년에 건조된 길이 140m, 9,000톤 급의 케이블 설치선인 NKT Victoria가 있다.

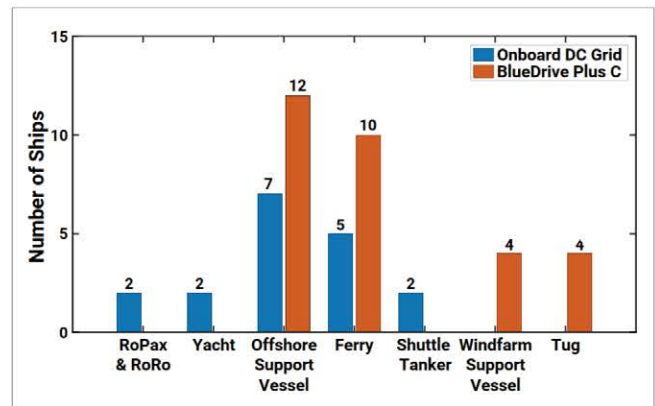


그림 7 직류 배전 솔루션 별 건조 사례²⁾

2.2MW 발전기 6대를 갖추고 있고, 선수와 선미에 각각 1.9MW의 쓰러스터 3개씩을 가지고 있다. 평소 운전모드 비중은 선적이 45%, DP모드가 44%이다. 이 선박은 육상전원공급 설비 등의 효과와 더불어 연료 59%, 이산화탄소 55%, 질소산화물을 운전에 따라 15~80%까지 절감시키는 것으로 알려졌다⁵⁾.

한편 북유럽을 중심으로 연안 친환경화 및 무탄소 배출 움직임이 활발히 진행되고 있으며, 이는 직류배전 기술을 적용한 연안선의 보급을 촉진하고 있다. 연안선박의 대표적인 사례는 노르웨이 Lavik과 Oppedal 사이를 운행하는 ‘MF Ampere’가 있다. 이 선박은 2014년에 건조된 길이 80m, 차 120대, 승객 360명을 운반할 수 있는 페리이며, 세계 최초의 MW급 배터리를 가진 완전 전기추진선이다. 하루에 약 6km의 거리를 수습회 오가며 각 항구에 정박 시 충전할 수 있는 운항 패턴을 가지고 있어 동급 페리 대비, 이산화탄소는 2,700톤, 질소 산화물은 37톤을 절약하고 있다⁶⁾. 이후에 핀란드 ‘Elektra (1MWh)’, 스웨덴 ‘Tycho Brache (4.16MWh)’와 ‘Aurora (4.16MWh)’, 노르웨이 ‘Future of the Fjords (1.8MWh)’, EU ‘Ellen (4.3MWh)’ 등이 직류배전에 배터리를 연계한 구성을 채택하였다.

최근에는 세계 최초 배터리 출력 기반의 120TEU 컨테이너 선박 ‘Yara Birkeland’호가 2022년 초에 상업운전에 투입됐다. 6.8MWh 배터리와 직류배전을 기반으로 한 이 선박은, 노르웨이의 Yara 생산공장에서 Brevik 수출 항구로 광물 비료를 환경오염 물질 배출없이 운송하고 있다. 약 1년간의 시험운전을 통해 완전 무인화를 추진하고 있으며, 직류배전 기술이 선박의 디지털화와 무인화에 기여하는 좋은 사례이다.

4.2 국내 건조 현황

우리나라는 세계 최고의 조선소를 보유하고 있기 때문에 대형 선박에 강점을 가지며, 최근 서틀탱커에 선진 업체의 직류배전 솔루션을 적용한 사례가 있다. 표 2와 같이 2020년에 삼성중공업에서 ‘Eagle Blane’호와 ‘Eagle Balder’호, 현대중공업에서 ‘Tove Knutsen’호와 ‘Synnøve Knutsen’호가 각각 건조되어 선사에 인도되었다. 이 사례는 우리나라의 친환경 선

표 2 국내 건조 대형 직류선박

인도	선박명	선종	조선소	적용 솔루션
'20.02	Eagle Blane	서틀 탱커	삼성 중공업	Onboard DC Grid
'20.03	Eagle Balder			
'20.09	Tove Knutsen	현대 중공업	BlueDrive PlusC	
'20.10	Synnøve Knutsen			

박 건조 기술을 한 단계 높은 수준으로 끌어올리는 계기가 되었지만, 해외 선진업체에게 전장품 일체를 납품받아 적용한 점은 솔루션 국산화와 실선 적용 실적 확보라는 숙제를 동시에 남겼다.

국내에서 진행중인 직류선박 사례로는 연안 무탄소화 실현을 목적으로 한 ‘전기추진 차도선(K-전기추진선박)’이 있다. 이 선박은 해양수산부의 지원을 받아 선박해양플랜트연구소 주관으로 수행한 ‘전기추진 차도선 및 이동식 전원공급 시스템 개발’의 결과물이다. K-전기추진선박에는 500kW급 선박 추진 인버터 2기와 55kW급 호텔부하용 컨버터 2기가 설치되어 있으며, 버스는 직류 870V의 2개 구조로, 각각에는 200kWh의 고정형 배터리와 800kWh의 이동식 배터리가 연결된다. 특히, 높은 비용의 항만 충전시설을 운영하기 어려운 국내 연안 환경을 고려하여 이동식 전원공급장치를 개발하였으며, 이는 배터리를 차량에 탑재하여 육상에서 충전, 선박 및 도서지역으로 이동하여 무탄소 전원을 공급하는 시스템이다.

2022년 6월 현대미포조선에서는 ‘ICT융합 전기추진 스마트 선박(울산 고래관광선)’의 진수를 마치고 2022년 10월 인도를 목표로 안벽의장과 시운전 작업이 한창이다. 울산 고래관광선은 2,400톤급 규모의 선박으로 ‘이중연료 엔진시스템’, ‘직류배전’, ‘지능형 통합제어 시스템’, ‘스마트 솔루션’ 등 미래 조선해양기술을 선도할 핵심기술이 망라되어 있다. 여기에 적용된 직류 배전은 1,100Vdc 직류 2 버스, 반도체 차단기,




그림 8 국내 건조 중형 직류 선박

2대의 1,800kW 가변속 발전기, 750kWh 용량의 배터리 등으로 구성되어 있다.

5. 결론

선박의 추진 시스템은 그동안 정격 출력에서 성능이 뛰어난 디젤엔진으로 인해 기계식 추진방식이 주류를 이루었으나, 점차 강화되고 있는 환경 규제에 대응 가능한 직류배전 전기추진 방식의 적용이 확대되고 있다. 이는 전력시스템의 발전-배전-부하 단계의 전달 및 변환 효율을 최적화 할 수 있

어, 추가적인 연료절감과 계통 설비 무게 및 부피를 감소시킬 수 있다.

현재 전기 추진 및 직류배전에 대한 설계, 제작, 운용기술 및 핵심부품은 선진업체에서 독점적으로 확보한 상태이며, 전장품 패키지 단가를 지속적으로 낮추고 있어 시장 진입장벽으로 작용하고 있다. 차세대 글로벌 조선시장에서 보다 경쟁력을 갖추기 위해서는 전기 추진 및 직류배전 기술이 적용된 국산화 제품의 확보가 시급하며, 이를 위해 전력전자 기술을 활용한 제품의 설계 및 전력시스템 보호 등 엔지니어링 기술에 대한 연구개발 및 제품화가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 

참고/문헌

- [1] 대한조선학회, 조선기술 - 배 만들기의 모든 것, pp.2-3, 2011
- [2] Seongil Kim, "Protection coordination in marine DC power distribution networks," Ph.D. Dissertation, School of Engineering., École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, 2020.
- [3] ABB, "The step forward onboard DC grid," 2014.
- [4] Uzair Javaid, et al., "MVDC supply technologies for marine electrical distribution systems," in CPSS Transaction on Power Electronics and Applications, Vol. 3, No. 1, pp. 65-76, 2018.
- [5] D. Ahern, Operational flexibility with distributed power systems onboard dc grid, Dec. 2018.
- [6] Corvus energy, Case Study : Norled AS MF Ampere, 2015.

이승용 현대일렉트릭에너지시스템(주) 책임연구원
 2022년 8월 서울대 대학원 전기-정보공학부 졸업예정(공학박).
 2010년 8월~2017년 3월 현대중공업 전력변환연구실 책임연구원.
 2017년 4월~현재 현대일렉트릭 전력시스템연구실 책임연구원.



김성일 현대일렉트릭에너지시스템(주) 책임연구원
 2020년 12월 스위스 로잔연방공대 대학원 Energy 프로그램 졸업(공학박).
 2007년 1월~ 2017년 3월 현대중공업 배전기기연구실 책임연구원.
 2017년 4월~현재 현대일렉트릭 전력시스템연구실 책임연구원.

