

해상무기체계의 전력전자기술 적용 현황 및 발전전망

공 영 경*, 빈 재 구**
(국방과학연구소 *책임연구원, **선임연구원)

1. 개요

현재 세계 각국에서 운용되는 주요 해상무기체계로는 전투함, 잠수함, 어뢰, 기뢰, 감시 및 탐지기 등이 있다. 이러한 무기체계는 기존의 화석 연료를 사용한 원동기와 기계장치가 적용된 기계 추진방식(Mechanical propulsion system)이 대부분 적용하였으나, 발전된 전력전자 기술과 새로운 전기기기의 개발에 의해 높은 효율과 은밀성을 보장하는 전기 추진방식(Electric propulsion system)이 적용이 확대되고 있다. 본 원고에서는 이러한 전기 추진방식을 채택한 잠수함 및 어뢰에 적용된 전력전자기술에 대한 현황 및 발전전망에 대하여 살펴보고자 한다.

잠수함은 에너지원에 따라 크게 원자력 잠수함과 재래식 잠수함으로 나누는데 미국, 영국, 러시아, 프랑스 및 중국만 보유하고 있는 원자력잠수함을 제외하고 대부분의 국가에서 운용하고 있는 재래식 잠수함은 에너지원으로 축전지를 사용하며, 축전지 충전을 위한 디젤 발전기 그리고 추진동력을 위한 추진전동기로 구성된 전기 추진방식을 사용한다.

1970년대까지의 이러한 재래식 잠수함 추진체계에 적용된 추진 네트워크는 그림 1에서 보는바와 같이 직류발전기, 축전지, 직류전동기 및 직류전동기의 저속제어를 위하여 로타리식 모터 발전기 변환기를 사용하는 네트워크로 구성되어져 왔다.

1980년대에 이르러서는 반도체소자 및 전력전자의 발달에 힘입어 직류발전기는 AC/DC정류기를 사용한 그림 2와 같이

브러시리스 AC/DC발전기, 축전지, 직류전동기 및 직류전동기 저속제어를 위한 스태틱변환기로 발전되었다.

1990년대에 이르러서는 기존의 직류전동기에서 인버터제어식 영구자석형 전동기로 발전되면서 축전지와 전동기의 전기자와의 직병렬조합에 의한 속도제어에서 입력전압은 일정한 상태에서 전동기내의 인버터에서 원하는 속도를 제어하는

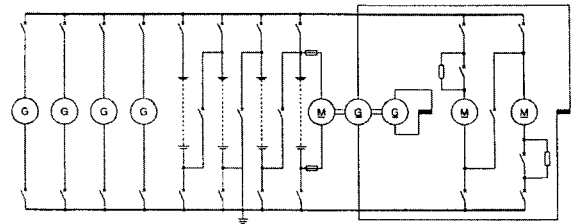


그림 1 1970년대 재래식 잠수함의 전기 추진 네트워크

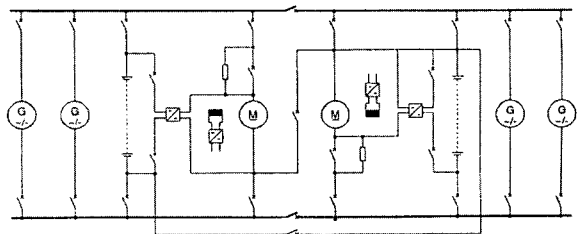


그림 2 1980년대 재래식 잠수함의 전기 추진 네트워크

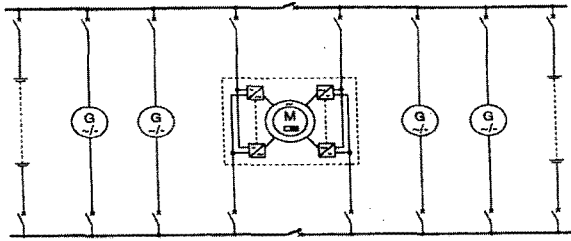


그림 3 1990년대 재래식 잠수함의 전기 추진 네트워크

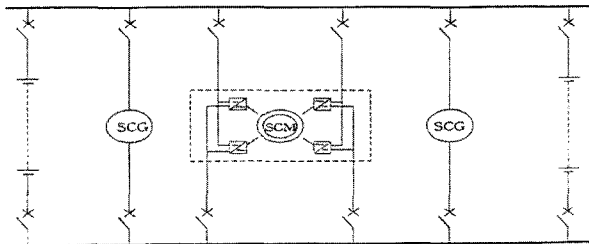


그림 4 2000년대 재래식 잠수함의 전기 추진 네트워크

그림 3과 같이 AC/DC발전기, 축전지 및 인버터제어식 전동기로 발전되고 있다.

향후로는 더욱더 스위칭기구가 적어지고 간단해지는 그림 4와 같은 초전도 발전기, 새로운 형태의 축전지 및 초전도 전동기로 구성되는 초전도 추진 네트워크로 발전될 전망이다.

2. 전기시스템 및 주요 구성품별 현황과 발전전망

2.1 전기시스템

잠수함에 사용되는 전기장비들은 그림 5와 같다. 전기장비들은 메인 직류 전원을 공급하기 위한 에너지원, 메인 직류 전원에서부터 필요한 직/교류를 공급하기 위한 컨버터/인버터, 전력배분을 위한 배전반, 각 종 부하장비, 조종장치 및 자동화 장비들로 구성되어 있다.

1950/1960년대에는 각 전기장비들은 전동기, 여자기, 전동기 및 컨버터 냉각회로, 스위치보드, 회로차단기 및 조종반 등이 각자 별개로 개발되어 시스템을 구성하였다.

1960/1980년대에는 기능적으로 다른 개별 장비들을 전기적/기계적 연동을 시켜 기능향상 및 최적화된 시스템이 되도록 보다 효율적이고 효과적인 시스템을 구성하게 되었다.

1980/1990년대에는 엔지니어링, 모니터링 및 제어시스템이 도입되어 보다 더 밀접한 상호 운용성을 가지고 작동되는 시스템으로 자리 매김 하였다. 그림 6와 같이 보다 더 최적화되고 각 장비 간 연동이 강화되어 운전되는 형태로 발전되고 있다. 그림 7은 전기장비들이 탑재된 잠수함 조감도를 보여주

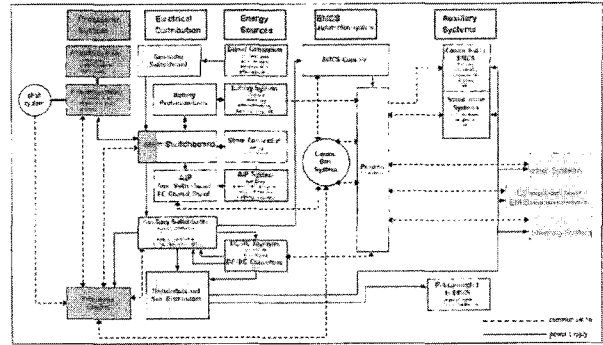


그림 5 잠수함 전기시스템의 전기 장비 구성도

13.11.1997 09:10:58		
08:00:13 123 10441 PRESS UR WASH WATER TRNK [DISTURBED] [WARN] [AL]		
MAIN MENU		
Battery monitoring	General	Road circulating
Cruising range calculator	Primary submarine page	Air conditioning
Electric propulsion	Secondary submarine page	Base combat system
115 V AC networks	SOS page	Battery cooling
24 V DC network	Emergency stations page	Bridge monitoring
	Full integrity page	Cooling scanner
	BMS / BCS	Depth measuring
	Curves	Drinking and wash water
	Messages	Energy conversion plant
	Machinery log	Fire detection and ext.
	Parameter	Fuel oil
Diving safety	Service	Gas detection
Compressed air		Hostable device control
Hydraulic fluid		Hoisting
Main ballast tank		Oxygen
Main line		Sewage and waste water
Rescue and escape		Tank capacity measuring
Tr-1		Ventilation
		Weapon tube set

그림 6 전기 장비 모니터링 주요 항목

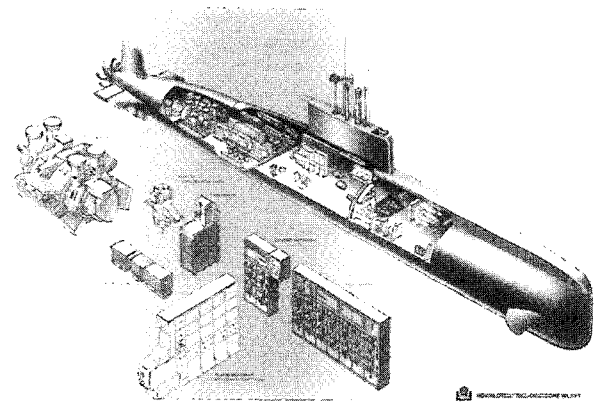


그림 7 전기장비 조감도

고 있다.

1990년대 중반이후 지금에 이르러서까지는 IGBT, 고성능 영구자석 및 연료전지 등과 같은 새로운 기술들이 개발 이용됨으로써 수명관리, 군수지원 및 교육훈련 등과 같은 수요자

의 요구에 부응하는 시스템을 구성 제공할 수 있기에 이르렀으며, 향후로는 고온 초전도체를 이용한 전동기/발전기 기술이 잠수함용으로 적용될 날이 머지않은 것으로 전망된다.

2.2 스타틱 컨버터

지난 30년간 동안 스타틱 전압/주파수 변환기는 로타리식 컨버터를 대체해 왔다. AC-sub network에서의 SWM(Step Wave Modulation)과 PWM(Pulse Width Modulation)이 적용되고 있다. PWM기술은 일반산업계에 널리 사용되고 있는 반면에 SWM 기술은 선박용과 같은 특수용도에 적합하게 적용되고 있다. SWM은 그림 8과 같이 각 단상변압기에 에너지 변환이 되는 소위 H-bridge 4개에 공통 DC bus가 연결되어 있고, 2차측 변압기를 통하여 출력측에는 거의 정현파에 가까운 출력이 나타나고 있다.

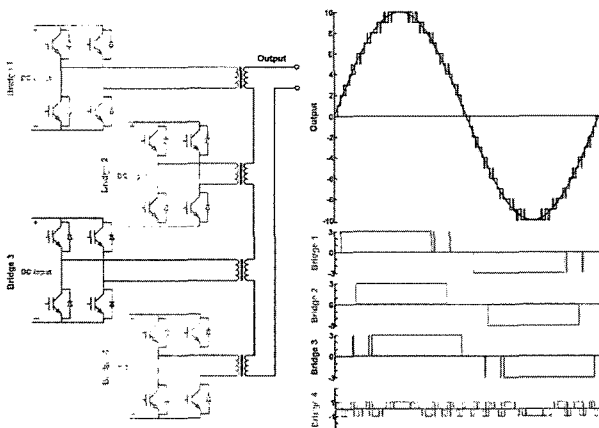


그림 8 SWM(Step Wave Modulation)

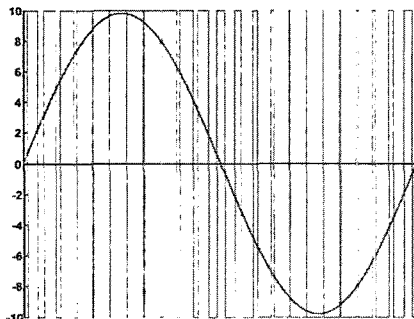
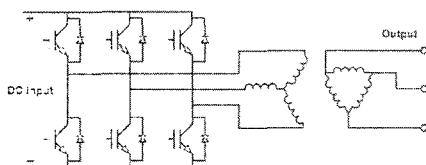


그림 9 PWM(Pulse Width Modulation)

그림 9는 전형적인 PWM 원리에 입각한 출력 파형을 보여 주고 있으며, 출력측은 절연시켜주고 있다.

SWM컨버터는 출력이 거의 정현파이기 때문에 EMC 및 전압안정도를 만족시키기 위해 필요한 필터의 크기가 아주 적어지게 되고 모듈화 시킬 수 있는 장점이 있기 때문에 그림 10과 같이 설치장소에 맞는 다양한 형태의 구조를 만들어 잠수함용으로 적합한 기술이다.

또한 사용되는 낮은 스위칭 주파수 및 전류레벨은 고효율 달성이 가능해지는 특성을 지니고 있다. 잠수함의 에너지원은 비정류 직류전원인 축전지 전원이다. 따라서 부하에 공급하기 위해서는 DC-DC컨버터가 필요하다. 이러한 컨버터에 사용되는 기술은 그림 11과 같이 상변위 제어사각파(PSW: Phase Shift Controled Square Wave)원리에 입각한 기술을 사용하고 있다.

이 기술은 다른 DC-DC변환기술과 비교시 효율과 소형화에 유리하기 때문에 선박용에 채택하고 있는 실정이다. 향후로는 SWM 및 PSW기술이 근간이 된 스타틱컨버터가 잠수

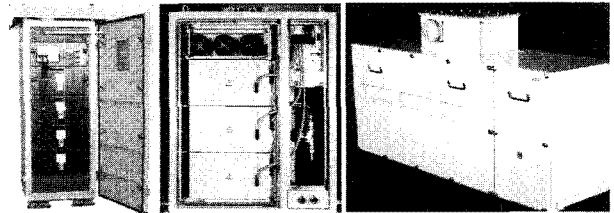


그림 10 다양한 형태의 SWM컨버터

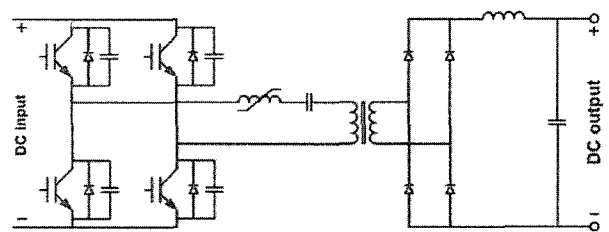


그림 11 상변위 제어 원리도를 적용한 DC-DC 컨버터 회로도

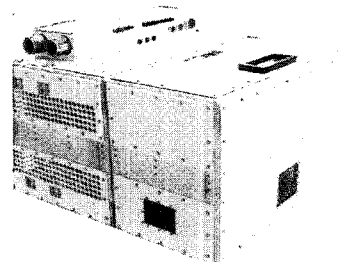


그림 12 상변위 제어 사각파 컨버터

함용으로 각광받을 것으로 전망된다. 그림 12는 상변위 제어 사각파를 적용한 콘버터를 나타내 보여주고 있다.

2.3 AC/DC 발전기 및 인버터 제어식 전동기

직류발전기 및 직류전동기가 초기의 잠수함 및 어뢰에 사용되어져 왔다. 잠수함의 경우 직류전동기는 속도조정을 위해 기계적으로는 동일한 구조내에 있으나, 전기적으로는 별도 분리된 이중전기자형 구조를 가진 전동기를 사용하였다.

잠수함용 발전기는 축전지 충전을 위하여 직류발전이 되어야 되기 때문에 직류발전기가 주로 사용되어져 왔다. 그 후 1980년대에 들어와 다이오드 정류를 이용한 AC/DC발전기로 발전되었다. AC/DC발전기는 브러시가 없어 정비가 용이하고 역전류 방지장치가 필요 없고 간단한 전압조정으로 자동 충전이 가능하고 다수 발전기에 의한 병렬운전도 용이해지는 장점을 가지게 된다. 그림 13은 AC/DC발전기의 모니터링 개념을 보여주고 있다. 최근에는 그림 14에서 보는 바와 같이 전력소자의 대용량화, 높은 스위칭 속도, 높은 내전압 및 보호회로 등의 발전과 고성능 영구자석 동기발전기 개발로 체적 및 중량이 더욱 경량화 되고 있다. 향후로는 중량 및 체적이 더욱더 적어지고 전력손실이 없는 초전도 발전기로 발전될 전망이다. 표 1은 지금까지 잠수함용으로 사용되고 있

는 발전기 종류를 나타내고 있다.

전동기는 1970년대 이전까지는 이중전기자형 직류전동기가 사용되어져 왔으나, 1980년대부터 발달하기 시작한 전력전자의 힘에 입어 인버터제어식 영구자석형 전동기로 발전되고 있다. 그림 15는 209 잠수함에 탑재된 이중 전기자형 직류전동기이다.

영구자석형 전동기는 방사자속형, 축자속형 및 횡자속형의 3가지로 나눌 수 있는데, 현재 잠수함용으로 적용되고 있는 전동기는 방사자속형 전동기이다. 세계적으로 방사자속형 전동기는 인버터의 설계 형태에 따라 전동기부와 일체형으로 만들 수도 있고, 분리해서 별도로 제작할 수도 있다. 설계개념은 사다리꼴 전류와 역기전력을 갖도록 설계하여 출력밀도를 높이고 상수를 증가시켜 고조파를 감소시키는 기술을 채택하고 있다.

그림 16은 인버터부와 전동기부를 동일 구조물내에 설계제작된 일체형 전동기를 보여주고 있으며, 그림 17은 전동기부와 분리된 인버터부를 보여주고 있다.

그림 18은 전동기부와 분리된 인버터부에서 채택한 3-level 인버터 단일 회로도 이다.

대용량화가 되면 2-level 인버터보다 3-level 인버터를 채택하여 부피 및 고조파를 줄이는 기술로 발전될 전망이다. 그

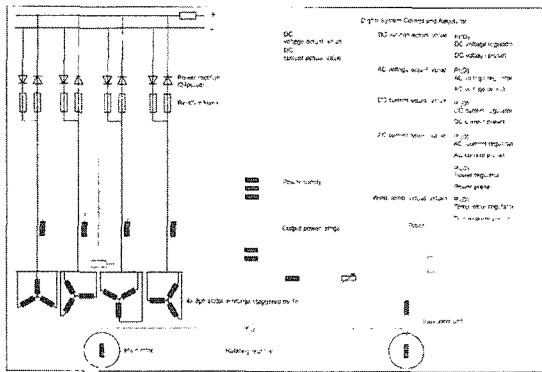


그림 13 발전기 모니터링

표 1 발전기의 종류

구 분	DC 발전기	AC/DC 발전기	AC/DC 영구자석형 발전기
고정자	계자	전기자	전기자
회전자	전기자	계자	영구자석형 계자
전압 조정	계자 전압	정류기(Rectifier)	정류기(Rectifier)
정류	정류자	다이오드	다이오드
효율	85-90%	90-95%	94-97%
유지 보수	많음	적음	적음

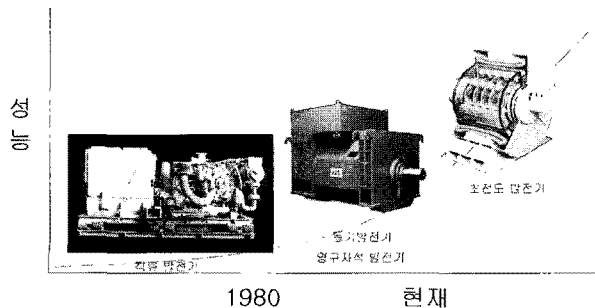


그림 14 발전기 발전 추세

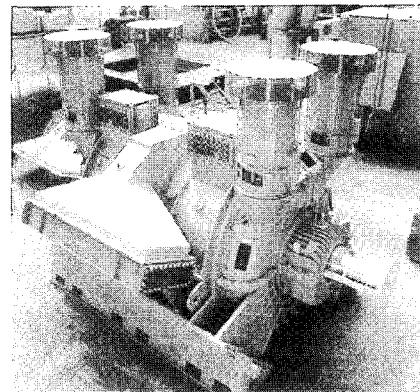


그림 15 209 잠수함 탑재 직류전동기

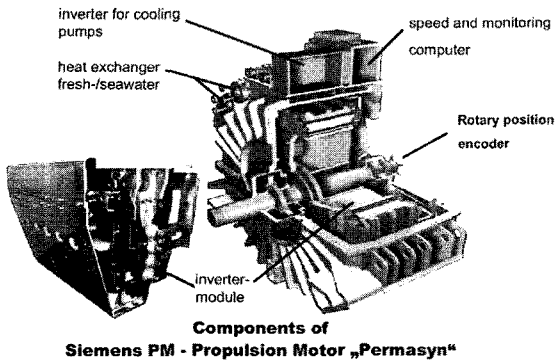


그림 16 인버터제어식 일체형 전동기

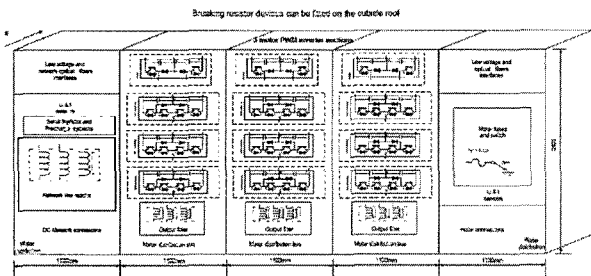


그림 17 전동기부와 분리된 인버터부

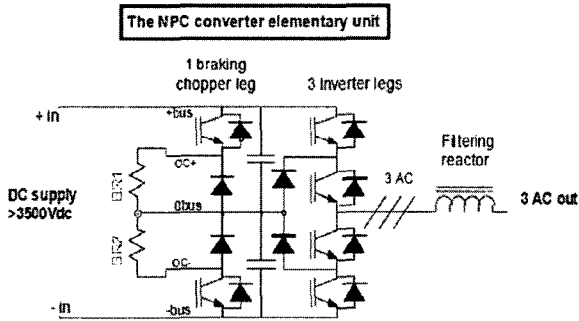


그림 18 3-level 인버터 단일 회로도

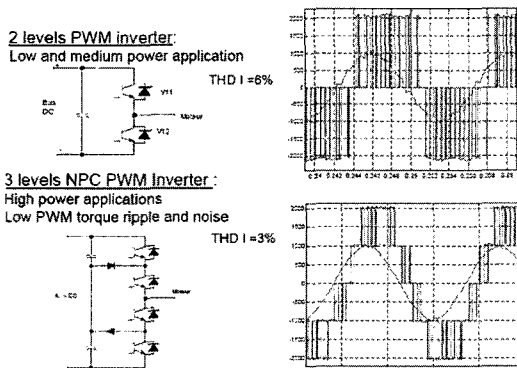


그림 19 2-level 및 3-level 인버터

림 19는 2-level 인버터 및 3-level 인버터의 고조파 함유율 및 파형을 보여주고 있다.

3. 결론

현재 잠수함 및 어뢰와 같은 해상무기체계는 대부분 전기 추진방식을 채택하고 있다. 전기 추진방식은 기본적으로 동력원은 축전지를 채택하고 있는 관계로 전원의 형태는 비정류 직류이다. 이러한 비정류 직류 전원형태에 의해 초기의 전기식은 대부분 직류발전기/전동기 및 로타리식 변환기가 사용되어져 왔으나, 1980년대부터 반도체 소자 및 전력전자기술의 급격한 발달에 따라, 브러시리스 AC/DC발전기, 인버터 제어식 전동기 및 스태틱 변환기로 변환되었으며, 향후로는 초전도 물질을 적용한 전력기기 및 변환기로 발전될 전망이다.

참고문헌

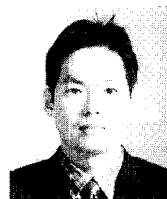
- (1) Naval Forces, Submarine Operations in the Twenty-First Century, pp. 27-34, August 2007.
- (2) Naval Forces, Successful Technology for Tailor-Made Marine Static Converters for Sub-Network Supplies, pp.158-160, SubCon 2007, Special Issues 2007.
- (3) Naval Forces, Static Power Supplies for Submarine, pp.161, SubCon 2007, Special Issues 2007.
- (4) Naval Forces, State-of-the-Art System Management(AVR) for Use in Compact, Synchronous Charging Generators, pp.162-164, SubCon 2007, Special Issues 2007.

< 저 자 소 개 >



공영경(孔泳卿)

1956년 5월 1일생. 1979년 홍익대 전기공학과 졸업, 1986년 부산대 대학원 졸업(석사). 1994년 한국해양대 대학원 졸업(공학) 현재 국방과학연구소 책임연구원.



빈재구(濱在久)

1973년 3월 2일생. 1996년 부산대 전기공학과 졸업, 1998년 동 대학원 졸업(석사). 2007년 동 대학원 졸업(공학). 현재 국방과학연구소 선임연구원.