

함정의 전기추진 기술 현황

허재현⁺, 빈재구⁺⁺, 공영경⁺⁺⁺

The trend on technology of naval electric propulsion system

Hur Jae Heon⁺, Bin Jae Goo⁺⁺ and Kong Young Kyung⁺⁺⁺

Abstract : 함정의 추진시스템은 기계식에서 에너지 효율이 높고, 구성 장비의 수가 줄어들며 유지 보수 특성이 향상되는 전기식으로 연구 개발되어지고 있는 추세이다. 따라서 본 논문에서는 함정의 전기추진시스템의 장점과 현재 개발중인 전기추진 함정의 기술과 발전 경향을 분석 조사하였다.

Key words : 기계식, 전기식, 추진시스템, 함정

1. 서 론

함정에 적용되는 추진은 그 대상에 따라 다양한 추진기술이 소요되고 있으며 크게 기계식과 전기식으로 대별할 수 있다. 현재 대부분의 수상함은 추진원인 디젤기관, 가스터빈 및 증기기관으로부터 감속기를 통해서 추진이 되는 기계식을 사용하고 있다. 그러나 1980년대 이후부터 전력전자, 영구자석 및 초전도분야의 기술의 발전에 힘입어 21세기의 함정은 전기식으로 채택해가는 추세에 있다.

전기식 추진체계는 속도의 미세운전이 가능하며 조정 기능이 우수하고, 신뢰성, 생존 귀항성 등이 우수하며 원동기에 대한 역전 장치가 불필요하다. 또한, 원동기 배치가 프로펠러 배치에 관계가 없으며, 각종 기기 배치의 유연성, 원동기 대수를 임의로 선정이 가능하고, 발전기 대수의 적당한 선택에 의해 높은 효율 운전이 가능하고, 원격 조종이 용이하다는 장점들을 가지고 있다. 최근 들어 민간 선박 분야에서 Pod를 사용한 선박추진 장치 등 전기 추진체계가 많이 적용되고 있으며, 이러한 발달된 기술을 기반으로 군사용 함정에서도 전기식 추진체계 적용이 증가하고 있다.

2. 본 론

2.1 기계식과 전기식 추진체계의 비교

기계식 추진 시스템에는 일정비율을 가지는 감속기어와 프로펠러까지 연결되는 긴 축(Long Shaft)의 구조가 전동기와 짧은 축으로 구성된 유연한 전기적 시스템으로 대체된다. 이 때 케이블이 나머지 에너지의 전달을 연결하는 구조로 터빈과 추진 전동기를 연결하는 공간을 감소시킬 수 있다. 따라서 여유 공간은 무기 및 연료의 유효 탑재량을 증가시키고 설계 및 제작에서의 유연성을 증대시킴으로써 전체 함정 설계의 배치 및 운용 효율성을

+ 허재현(국방과학연구소), E-mail: jhhur@add.re.kr Tel: (055)540-6141

++ 빈재구, 국방과학연구소

+++ 공영경, 국방과학연구소

극대화 시킨다.

현재 기계식 추진 시스템은 분리된 원동기로부터 축계 및 추진기로 전달하는 방식이 감속기에 의해 동력이 전달되는 방식으로 함내 전원 및 전투 장비에 필요한 전원은 별도의 원동기에 의한 발전기에 의해 전원이 공급되도록 구성이 된다. 반면 전기식 추진 체계는 터빈 원동기로부터 발전기에 만들어진 전원을 추진전동기로 공급하여 축계 및 추진기를 구동시키는 방식을 전기식 추진이라 하고 함내 전원 및 전투 장비에 필요한 전기는 적절한 콘버터 및 인버터 등에 의해 전원이 공급되도록 구성이 된다. 현재 기계식 추진 시스템을 탑재한 함정은 에너지 이용 분야에 따라 추진, 함내 서비스, 무기 및 센서에 공급되는 에너지가 분리되어 있으나 현재 건조중인 전기추진 시스템을 탑재한 함정은 동일한 에너지원으로부터 추진, 서비스, 무기 및 센서 전력을 공급받음으로 작전에 따른 에너지 이용률 증가 및 효율 증대를 가져오며 15- 19%의 연료를 절감함으로써 수명주기에서의 운용비용을 절감시킨다.

2.2 함정 추진체계의 발전 추세

수상함 추진기술은 현재까지 사용되고 있는 기계식 추진기술과 20세기 후반부터 사용되어 왔으며 미래의 추진 기술로 기반을 구축할 것이 거의 확실한 전기식 추진기술로 구분된다.

함정의 주요 에너지 사용처가 추진에서 센서, 무장 등으로 변화하는 추세임 따라서 추진에 70-80%의 에너지가 고정된 추진체계 대신에 에너지 효율성이 큰 전기식 추진체계로 발전하는 추세이다.

2.2.1 기계식 추진 기술

사 함정의 기계식 추진 체계는 2개 이상의 추진기관을 사용하는 조합추진체계로 구성한다. 기계식 추진에 사용되고 있는 추진기관에는 증기터빈, 디젤기관, 가스터빈 등이 있으나 현재는 디젤기관과 가스터빈을 조합하여 아래 표와 같은 추진체계를 구성하고 있다.

표 1. 기계식 조합추진체계

구 분		운용기관	
		순항	최대속력
디젤-가스터빈 조합체계	CODOG	디젤기관	가스터빈
	CODAG	디젤기관	전기관 사용
	CODAG-WARP	디젤기관	Water Jet
가스터빈-가스터빈 조합체계	COGOG	소출력 가스터빈	대출력 가스터빈
	COGAG	소출력 가스터빈	전기관 사용

- * CODOG : Combined Diesel or Gas
- * CODAG : Combined Diesel and Gas
- * COGOG : Combined Gas or Gas
- * COGAG : Combined Gas and Gas
- * WARP : Waterjet and Refined Propeller

1) 디젤기관- 가스터빈 조합 체계

디젤기관-가스터빈 조합 체계는 순항속도에서는 소출력이고 경제적인 디젤기관을 사용하고 최대속도에서는 디젤기관과 대출력 가스터빈을 함께 사용하거나, 가스터빈을 단독으로 사용하는 추진체계이다. 고속에서 가스터빈

만을 사용하는 CODOG 체계는 감속기어가 단순하고 운용이 간편한 것이 장점이며, 고속에서 가스터빈과 디젤기관을 함께 사용하는 CODAG 체계는 최대속도에서 전 기관을 모두 사용하므로 출력이 증가하는 것이 장점이다. CODAG-WARP 체계는 순항 속도에서는 디젤 기관을 사용하여 운행되며, 고속운전시에는 가스터빈 기관과 연결된 water jet 추진 장치를 사용하여 30 kts 이상의 고속 운항을 실행한다.

CODAG 체계는 감속기어가 서로 교차 연결되어야 하고 조종계통이 복잡하여 널리 운용되지 못하였으나 최근 기계가공기술이 발전하고 전자식 기관조정 및 감시체계가 발전됨에 따라 점차 사용이 증가하는 추세이다.

2) 가스터빈-가스터빈 추진체계

가스터빈-가스터빈 조합 체계는 신뢰성과 정속성이 뛰어난 가스터빈만을 조합하여 구성한 추진체계로 순항속도에서는 소출력 가스터빈을 사용하고 최대속도에서는 대출력 가스터빈을 사용하는 COGOG 체계와 순항속도에서는 축당 1대의 가스터빈을 사용하고 최대속도에서는 모든 가스터빈을 함께 사용하는 COGAG 체계로 구분된다. 미국과 일본의 최신 대형함은 함정이 대형화 되어감에 따라 고풍력이 요구되어 가스터빈의 종류를 단순화하여 1종의 가스터빈만으로 구성되는 COGAG 추진체계를 채택하고 있다. 기계식 추진 기술의 발전 추세는 기계가공기술의 발달로 7000톤급 이상의 대형함정은 COGAG체제로 발전되는 추세이며 6000톤급이하의 함정에서는 CODAG, COGAG 계로 발전되는 추세이나. 전기추진 기술의 급격한 발달로 미래에는 특수한 용도이외에는 대부분 전기추진 체계로 발전될 것으로 전망된다.

2.2.2 전기식 추진체계

현재 취역하고 있는 대부분 함정의 추진체계는 기계식과 전기식을 혼합한 하이브리드 방식(CODLAG: Combined Diesel Electric and Gas)이나, 2000년대 중반이후 취역하는 대부분의 함정은 통합 전기추진 체계(IPS)를 채택할 것으로 추정되며, 2020년대에는 전기식 함정(AES: All Electric Ship)으로 발전되어, 최종적으로 전기식 전투함(EWS: Electric Warship)이 개발될 것으로 예측된다.

전기식 추진 체계는 터빈 원동기로부터 발전기에 만들어진 전원을 추진전동기로 공급하여 축계 및 추진기를 구동시키는 방식을 전기식 추진이라 하고 함내 전원 및 전투 장비에 필요한 전기는 적절한 콘버터 및 인버터 등에 의해 전원이 공급되도록 구성이 된다.

전기식 추진 체계는 함에 탑재된 모든 원동기의 출력을 추진계통과 함내 부하에 공통으로 사용하므로 전력공급의 신뢰도가 높고 함에 탑재된 모든 원동기의 출력을 대부분 추진에 사용할 수 있으므로 탑재에너지의 효율적인 사용이 가능하므로 저소음의 장점과 더불어 미래의 추진방식은 대부분 전기식으로 될 것으로 전망되고 있다. 전기식 추진체계는 크게 하이브리드(Hybrid), 통합전기추진(IPS), 전기식 함정(All Electric Ship)과 전기식 전투함(Electric Warship)으로 구분되기도 한다. 각각에 대한 개념은 다음과 같다.

- 하이브리드(Hybrid) : 영국의 FF함인 Type23 과 같이 기계식 추진 체계와 전기식 추진 체계를 조합한 추진체계 저속 순항시에는 추진전동기를 적용하여 운항하고 고속 추진시에는 기계식 가스터빈을 적용하여 운항 속도를 증가시킨다.

- 통합 전기추진(IPS, IEP: Integrated Electric Propulsion) : 추진체계가 전기식으로만 구성되고 함내 부하와 추진 전력은 다수의 원동기와 결합된 발전기를 통해 공통 모선에 공급된 에너지로 자동화된 에너지 관리 시스템을 적용하여 통합 사용하는 체계이다.(영국의 Type45, A0, LPD(R) 등)

- 전기식 함정(All Electric Ship) : IPS 개념을 기본으로 하고 여기에 비용 및 운용성을 향상시키기 위하여 더욱 진보된 전력전자 기술 및 에너지 저장 시스템을 추가하고 유압 및 기계장치로 구동하는 함정의 전 시스템을 전기장비를 이용한 시스템으로 한 체계 기본 개념 하에서 보조 장치 등을 전기식으로 구성하여 높은 자동화를 적용한 체계이다.

- 전기식 전투함(Electric Warship) : 단일한 원동기에서 생산한 전기에너지를 사용하여 추진시스템, 센서,

무장, 함 운용 등의 시스템을 효율적으로 운용 관리하는 체계로 특히 전기에너지를 이용한 무기체계를 탑재한 체계이다.

2.3 함정의 전기식 추진체계 탑재 현황

◦ Duke 클래스(Type 23)호위함(영국)

CODLAG 추진 방식 적용으로 디젤 전기식과 가스터빈 조합(CODLAG)시스템에 의해 출력을 공급받는다. 이 시스템은 두대의 Rolls-Royce Spey SM1A 34000 hp 가스 터빈과 2대의 1.5MW 4400hp 전동기로 구성되며, 4대의 Alstom 12 RP2000CZ 1.3 MW 7000 hp 보조 디젤이 탑재되어져 있다.

◦ TYPE45(영국)

영국은 1994년부터 통합 전기추진 체계(IEP)의 개발을 시작하였으며 이 체계를 탑재한 유도탄 구축함 Type 45는 12척을 건조할 계획으로 2007년부터 순차적으로 취역할 예정이다. Type 45의 만재배수량은 8000톤, 최대 속력은 29노트이다. Type 45는 평소의 함내 부하용으로 2MW의 디젤발전기를 탑재하고 추진전동기를 개선형인 180rpm, 20MW(중량 ; 87톤)를 탑재하였다. 주요 전기 장비로는 21 Mwe alternators, 2 Mwe diesel generators, HV shitchboard, VDM 25 000 converter, 20 MW 15 phases motor (AIM), harmonic filter (active filters), electric power management system 등으로 구성되어 있다.

Type 45 개발에 있어서 프랑스와 영국이 공동으로 출자하여 개발된 함정용 전기추진시스템을 시험평가와 주요 장비 탑재 시 발생 할 수 있는 문제를 사전에 제거하기 위해 ESTD(Electric Ship Technology Demonstrator) 건설하여 운용 중에 있다. 대표적인 구성장비는 WR21 GT(gas turbine), 동기 발전기(21MW, 60Hz, 4160V), AIM(유도전동기: 20MW, 180rpm, 15상, 3.3×8×8.6), VDM 25000(추진전동기 구동용 컨버터), 등 이다.

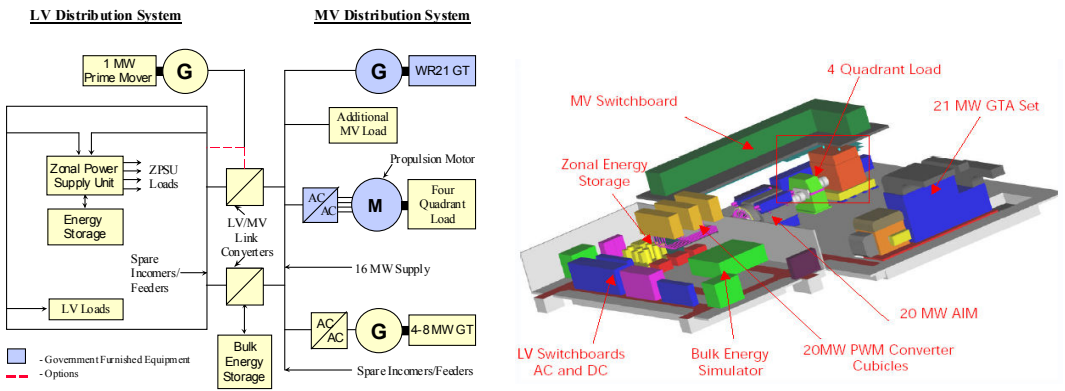


그림 1. ESTD 구성 계통도와 장비 배치도

◦ DD(X)클래스 복합임무 구축함(미국)

미국은 차세대 구축함 DD(X)의 추진방식을 전기식 추진방식으로 결정하고 통합추진체계(Integrated Power System : IPS)로 불리는 전기식 추진체계를 1989년부터 개발을 시작하여, 1999년 필라델피아의 전용시험소를 설치하고 대부분의 시험을 성공적으로 완료하였다.

DD(X)는 Type 45에 적용되는 Advanced Induction Motors(AIM)와 함께 in-hull 영구 자석 동기 전동기(PMMs)를 적용한 두는 통합전력시스템(IPS)를 탑재 할 예정입니다. 이러한 전기추진장치는 구동축과 감속 장치를 제거하고, 승무원을 위해 공간 확보, 소음 감소, 무기체계를 위한 유효 전력의 증가시킨다.

IPS는 전투체계와 같은 함정의 추진을 제외한 다른 시스템에도 전원을 공급하며, 요구되는 필요 전원을 빠르게 공급한다. DRS Technologies Power Technology사가 IPS의 핵심인 PMM(Permanent Magnet Motor) 모터, 전기 구동과 제어 시스템 개발 중에 있다. 전원 공급을 위해서는 Rolls-Royce사의 MT30, 36 MW의 가스 터빈 발전기가 선정되었다. CAE가 Integrated Platform Management System을 공급한다. 또한, DD(X)를 포함한 미해군 차기 전기추진함정의 추진전동기로 고온 초전도 전동기가 연구 개발 중에 있다.

함정의 제원은 Displacement, tons: 14,064 full load, Dimensions(metres): 182.8 × 24.1 × 8.5, Speed, knots: 30 이며, 주요 기기는 2대의 Rolls-Royce MT 30 gas turbines, 2대의 permanent magnet motors (72 MW), 2대의 auxiliary gas turbines (8 MW) 등이다.

미국에서는 IPS 기술을 함정에 적용하기 위해서 Land Based Test Site시설을 구축하고 함정에 탑재될 각종 장비를 검증한다. IPS 주요 구성장비는 이미 개발된 상용장비(COTS) 위주로 선정되었다.

2.4 추진체계 전력 계통

전력 전송에 대한 AC 및 DC 비교는 전기식의 함 설계의 주요 연구 내용이다. 초기 연구시 전력 전송에 대해 DC를 선택한 주된 이유는 전력변환기 수량이 최소화하는 것이었다. 전기식에 대한 원동기는 소형이고 복잡한 사이클 가스 터빈이었다. 치수를 줄이는 장점을 최대화하기 위해 발전기는 터빈과 직접 연결되어 구동하는 것이었다. 이것은 기어박스의 무게 및 체적을 피할 수 있고 고속운전되는 발전기 치수도 줄이는 결과를 가져 왔다.

전력전자부는 발전기의 비 표준 주파수 출력으로 정류되고 고정 60[Hz]로 반전된다. 그러나, 전력 사용자의 대다수는 같은 형식의 전력조건을 적용할 것이다. 60[Hz] 입력으로 정류하고 필요로 한 주파수와 전압으로 정류할 것이다. 이와 같은 전력 송전 계열에서 쓸모없는 반전과 정류를 하게 된다. 더 효율적인 시스템을 위해 쓸모 없는 단계를 없애고 DC로 배전하여 필요한 곳에 직접 전력을 변환하여 사용하도록 한다.

AC 배전 시스템은 3상이라서 3개의 케이블을 통해 전력을 공급하며 라인 전력의 $\sqrt{3}$ 배로 전송한다. AC 배전 시스템에서는 케이블에 의한 부하 역률에 의해 용량이 더 줄어 든다. 예로, 역률이 0.8이라 하면 3상 AC 배전 시스템은 실효치 전압 전류 곱보다 1.386배로 전송한다. DC 배전에서는 2개의 라인이 전압 전류 곱으로 전송하며 전압 한계는 AC 배전과 다르다. DC 도체는 케이블 절연에 의한 최대 한계로 전력을 전송할 수 있으며 라인 전력의 $\sqrt{2}$ 배로 전송한다. 따라서 AC 배전시스템은 3도체로 1.386배이고 DC 배전시스템은 2도체로 1.414의 전송 인자를 갖는다. 이것은 DC 배전시스템이 AC 배전시스템보다 같은 전력 전송시 더 케이블 용량이 적게 들어간다. DC 배전시스템은 스위치기어와 비용 및 무게 등에 단점이 있으나 최근의 전력전자부의 발전으로 무겁고 비싼 DC 차단기 등이 전력전자 스위치용 차단기로 대체되고 있다. 이런 개념으로 함내 일반부하 전송 선택은 초기 비용, 줄여진 무게 및 향상된 전송 효율 등으로 DC 배전시스템이 설정되었다.

기존 방사형 교류 전력 계통은 사고 발생시 단락 전류가 계통 전 영역으로 영향을 미쳤으나, 구역(zone)별 직류 전력 계통은 사고 발생시 단락 전류의 영향이 발생 지점으로 제한되며 다른 계통으로 거쳐 지속적으로 전원 공급이 가능하도록 안전하게 설계 되어져 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 함정의 전기식 추진 시스템의 특징을 살펴보았다. 전기식 추진 시스템의 경우 발전기 또는 에너지원으로부터 추진 전동기까지 케이블로 연결되기 때문에 많은 공간을 차지하는 축을 제거 시킬 수 있으며 주요 기기의 효율적인 공간 배치(More Flexible Arrangement)가 가능하다. 그리고 터빈을 속도 변화 없이 최적의 속도로 유지하여 기계식 대비 20%증가의 운전의 효율성(More Flexible in Power Allocation)을 기대할 수

있고 추진전동기를 사용함으로써 정·역회전시 기계적 손상을 제거한다. 전동기의 적용으로 광범위한 속도 운전이 가능해진다. 민간 선박분야에서는 연료 효율과 선박의 운용 수명 비용이 가장 중요한 요인이 되어 점점 전기식 추진 시스템을 탑재하는 민간 선박의 수가 증가하고 있으며, 특히 소음 진동 등 정숙한 항해를 필요로 하는 호화 유람선 등에서 이러한 전기식 추진 시스템 적용을 확대하고 있다. 미국, 영국, 프랑스 등 선진국에서 연구 개발되고 있는 전기식 전투함(Electric Warship)은 기존의 기계식 추진 방식에 비해 많은 최첨단 무기체계 및 부하들에게 원활한 전력을 공급에 의한 안정화, 추진전동기 및 전력변환기 등의 소형화 및 고효율화, 자동화에 의한 함내 인력 최소화와 위험에 빠른 조치로 함의 신뢰성 향상 등의 많은 장점을 가지고 있으며, 상용 기술의 발전으로 대부분의 이미 개발되었거나 가까운 장래에 개발이 완료될 것으로 예상된다.

전기식 추진체계는 수상함의 공통된 요구조건인 스텔스 성능의 고도화, 추진시스템 혁신, 자동화 및 승조원 최소화, 모듈방식 설계 확대, 네트워크 중심 작전능력 강화 등을 만족시키는 혁신적인 추진 개념으로 향후 전기식 추진방식이 모든 주요 함정에 적용되리라 판단된다.

참고문헌

- [1] Geoffrey Wood, "Warship propulsion, evolution through combined system," Naval Forces P.41 ~ 50, April 2000.
- [2] Thomas B. Dade, "Advanced Electric propulsion, Power Generation, and Power Distribution," Naval engineers Journal, P.83 ~ 92, March 1994.
- [3] Joseph Czarnecki, "Turboelectric drive in american capital ships," www.warships1.com, August 1999.
- [4] Dieter Weigel, "NATO study on an all electric warship (solution for the future)," Naval Forces P.44 ~ 49, May 1999.
- [5] D. S. Parker and C. G. Hodge, "The electric warship, I - VII" Power engineering journal, 1998 - 2003.
- [6] Stapermsma, D, "The importance of (e)mision profiles for naval ships," INEC94, Cost Effective Maritime Defence, Paper 6, Figure 2k IMarE, September 1994.