디젤 및 가스터빈 엔진을 사용하는 전투함의 복합추진체계 기술 동향 분석

Combined Propulsion System Analysis for Naval Combatant Vessels using Diesel and Gas Turbine Engine

이 형 민

H. M. Lee

(접수일 : 2010년 11월 12일, 수정일 : 2011년 01월 10일, 채택확정 : 2011년 01월 10일)

Key Words : Hybrid (하이브리드), Fully Electric Propulsion (완전전기추진), High Power Energy (고출력 에너지), Main Prime Mover (주 추진 원동기), Combatant Ship (전투함)

Abstract : The large scale decisive battle will be gradually reduced on the sea in the future and surface combatant ship installed advanced weapon units as well as propulsion system will be continuously increased. The high level of military technology leads to appear state-of-the-art weapon system using high power energy. As a results, fossil fuel powered main prime mover as diesel engine and gas turbine which are composed of mechanical propulsion system should be decreased from combatant ship in the near future. The new building naval combatant ship with the latest technology has electric based propulsion method of the hybrid type combined with mechanical and electrical drive. U.S. and Royal Navy, especially, select the integrated fully electric based propulsion system for the next generation combat ship and play an important roll for developing them. In this context, this paper was focused on the deduction of implications through analyzing the combatant ship propulsion system using diesel and gas turbine engine which are promoted on the worldwide.

1. 서 론

현재 전 세계 무역량의 95% 이상이 선박으로 이루어지고 있으며, 이들 대부분이 대형디젤엔진을 사용하고 있고 단독 추진방식으로 항해한다. 해군 함정의 경우 군수지원, 수송 및 구조 등의 임무를 부여받은 함정의 추진체계는 상선과 비슷한 단독 추진체계이다. 그러나 중·대형 전투함의 경우 특수한 목적이 부여되기 때문에 순항용으로 사용되는 디젤엔진과 고속 추진용으로 사용되는 가스터빈 엔진을 향해 중추추진 엔진의 정지 없이 선택해서 목적에 맞게 사용한다.

함정의 추진시스템은 전기에너지 변환기술에 따라 기계식(Mechanical Drive), 전기식(Electric Drive) 및 하이브리드식(Hybrid Drive)으로 크게 변화하였다.

미국, 영국 등의 선진국에서 수상전투함, 상륙강습

함 및 군수지원함 등에 적용되고 있는 추진시스템은 추진전동모터로 추진되는 완전전기추진방식으로 전기시스템이 향후 수상전투함 및 지원함의 표준화로 이어질 것으로 예측된다.

최근 해군함정의 첨단화에 따른 전투 및 무장 시스템 등에 전력소요 증가가 요구됨에 따라 선진해군의 경우 동력의 효과적인 사용을 위해 함내 서비스 전력과 추진시스템 구동 전력을 통합화한 전기추진 시스템을 선호하는 경향이 있으며, 이미 영국에서는 이러한 추진시스템을 Type 45 수상전투함에 적용시켜 현실화 시켰다. 또한, 영국의 차세대 함공모함 Queen Elizabeth급 및 미국의 혁신적인 Zumwalt급 DDG 1000 구축함에 완전전기추진시스템이 적용될 예정이다¹⁾.

전기추진 함정에서는 발전시스템과 추진시스템이 electric cable로 연결되기 때문에 축계를 단순화 할 수 있으며 발전시스템용 주 엔진과 추진관련 장치를 유연하게 배치할 수 있어 함정 공간의 활용도를 향상시킬 수 있다. 또한 함정 임무 및 운용 특성이 고려되기 때문에 다수의 발전기를 병렬 운전하여 전투

이형민(교신저자) : 해군사관학교 함정추진기관학과
E-mail : hmsj1226@korea.ac.kr, Tel : 055-549-1443

상황, 고속 및 순항항해 시 부하 특성에 맞도록 원동기를 운용함으로써 기계식 추진시스템 대비 추진 효율의 향상을 기대할 수 있다²⁾³⁾.

본 연구의 목적은 해군 전투함에 적용되는 복합추진방식 추진시스템의 Mechanism을 분석하고 군사과학기술 발전에 따른 해군 전투함 추진시스템의 기술과 발전전망에 대해 고찰하는 것이다.

2. 전투함의 추진시스템 Mechanism

해군 전투함용으로 사용되는 추진시스템은 크게 두 가지로 분류할 수 있다.

첫 번째는 기계식 추진방식인 CODOG(Combined Diesel or Gas Turbine), CODAG(Combined Diesel and Gas Turbine), COGAG(Combined Gas Turbine and Gas Turbine) 등이며, 두 번째는 기계식과 전기식의 장점을 복합적으로 운용하는 하이브리드 방식인 CODLAG(Combined Diesel Electric or Gas Turbine) 및 CODLOG(Combined Diesel Electric or Gas Turbine), 완전전기추진 방식인 IFEP(Integrated Fully Electric Propulsion) 등을 대표적인 예로 들 수 있다. 본 논문에서는 해군함에 가장 많이 채택되고 향후 전투함용으로 널리 선정될 수 있는 추진시스템에 대해서 분석하는 것으로 한정한다.

2.1 CODOG (Combined Diesel or Gas Turbine)

CODOG 시스템은 1980년대부터 1990년 말까지 전 세계 호위함 및 구축함에 가장 널리 적용되었던 추진시스템으로 현재 설계중이거나 건조되고 있는 선진해군의 최신 함정에서는 적용실적이 낮은 추세이다. 한국해군에서 CODOG 추진체계는 PCC, FFK, KDX-I 및 KDX-II에 적용된바 있으며 가스터빈 용량에 따라 4기 2축 또는 3기 2축으로 구성된다.

CODOG 추진시스템은 시스템 신뢰성과 운용적인 측면에서 이점이 있고 엔진 최대출력 모드와 순항 모드를 각각 독립적으로 구성 할 수 있어 엔진제어 측면에서 유리한 이점이 있다. 그림 1은 CODOG 추진시스템의 개념도를 나타낸 것이다.

2.2 CODAG (Combined Diesel and Gas Turbine)

CODAG 추진시스템은 순항 시에는 디젤엔진을 구동하며, 최대속력 시에는 전 엔진을 운용하여 출력을 얻도록 하는 추진시스템이다. CODOG 추진시스템과 달리 최대속력 시 디젤 엔진과 가스터빈을 동시에

운용하는 것이 특징이다.

CODAG 추진시스템은 F124(독일), F310(노르웨이) 등에 적용된 실적이 있으며 디젤엔진과 가스터빈의 출력을 조합하여 함정에 설치된 엔진을 최대한 활용할 수 있다는 점에서 엔진의 운용적 효율성이 높은 시스템이다. 즉, 디젤엔진과 가스터빈을 동시에 사용할 수 있도록 체계를 구성하여 순항 또는 최대속력의 모드 변환시 서로 독립적인 추진엔진을 사용하는 CODOG 추진체계의 비효용성을 개선한 것이다. PKX(한국), LCS(미국), MEKO A-200(남아공) 등도 이러한 효율성 측면을 감안하여 CODAG 추진체계를 적용한 실적이 있다. 그림 2는 CODAG 추진시스템의 개념도를 나타낸 것이다.

2.3 CODLAG (Combined Diesel Electric and Gas Turbine)

CODLAG 추진시스템은 저속 시에는 발전기에서 전력을 생산하여 추진전동기를 이용하고, 고속 시에는 가스터빈과 같은 고출력 엔진을 이용하여 운항한다.

영국의 Type 23이 CODLAG 추진시스템을 적용한 대표적인 함정으로 전기추진시스템의 장점과 기계식 추진시스템의 장점을 동시에 활용할 수 있는 하이브리드형 추진시스템을 사용한다.

이러한 하이브리드형 추진체계는 가스터빈과 발전기-추진전동기를 추진엔진 (Prime Engine)으로 사용하는데 발전기는 디젤발전기와 가스터빈이 적용가능하다.

최근 CODLAG은 프랑스와 이탈리아가 공동으로 건조중인 6,000톤급 다목적 전투함 (FREMM)의 기본 추진시스템으로 (그림 3) 채택되었다. 전통적인 기계식 추진시스템을 사용하는 함정과 비교했을 때 엔진구역 배치에 유연성이 있다.

일반적으로 가스터빈 1대와 감속기어 1대가 설치되고 추진전동기는 양측에 각각 1대씩 설치되며 순항 시에는 1축당 1대의 추진전동기가 운용되고 최대속력 시에는 1대의 가스터빈과 2대의 추진전동기가 동시에 운용되도록 구성된다.

최대속력 시 추진전동기 및 발전기가 동시에 운전 가능하도록 구성하여 설치엔진을 최대한 활용할 수 있다는 점이 특징이다. 그림 4는 CODLAG 추진시스템의 개념도를 나타낸 것이다.

2.4 IFEP(Integrated Fully Electric Propulsion)

IFEP 추진시스템은 추진 계통을 포함하여 함전반

소요되는 모든 동력을 전기로 공급하는 완전 전기추진시스템이다. 완전전기추진시스템의 대표적인 수상 전투함은 영국의 7,000톤급 Type 45이며 최대속력은 29kts 이상이다.

추진 시 운용하는 가스터빈 2대와 정박 (Hoteling), 묘박(Anchoring) 및 예비용으로 운용하는 디젤 발전기로 발전계통이 구성되며 1축당 1대의 추진전동기를 이용하여 추진하도록 구성된다.

완전전기추진 함정에서는 함전반 서비스 전력 부하와 추진 전력을 다수의 병렬로 운전되는 발전기를 통해 공급되며, 자동화된 전력관리 시스템을 적용하여 전력부하 변동에 따른 최적 전력에너지 공급이 가능하기 때문에 에너지 효율 및 전력 공급 안정성을 높일 수 있는 장점이 있다.

최근 일부 선진 해군에서는 미래형 전투함의 추진체계를 완전전기추진방식으로 설계하였다. 이는 발전엔진에서 생산된 전력을 추진용뿐만 아니라 고출력 무장 및 센서, 함전반 부하 등에 유동적으로 사용하게 하여 전투 시에는 무장 및 선제체계에, 평상적인 기동 시에는 추진계통에 집중적으로 동력을 할당해 효과적인 운용 및 유지를 가능하게 하려는 것이다. 그림 5는 IFEP 추진시스템의 개념도를 나타낸 것이다.

Fig. 1 Schematic diagram of CODOG System

Fig. 2 Schematic diagram of CODAG System

Fig. 3 Propulsion System of FREMM

Fig. 4 Schematic diagram of CODLAG System

Fig. 5 Schematic diagram of IFEP System

3. 수상전투함의 추진시스템 발전전망

강력한 해군력을 보유한 미국의 경우 전기추진방식이 처음으로 적용된 것은 Aircraft carrier-U.S.S Langley 이며, 이후 같은 시스템을 U.S.S New Mexico 등에 적용하였다.

1930년대 들어와서 감속기어기술의 개량으로 Geared turbine drive 방식이 전기추진방식보다 작고 가벼워져 보다 고속을 요구하는 해군의 요구조건을 만족시킬 수 있었다. 따라서, 전기추진방식은 한동안 사라지고 디젤발전기와 함께 기계식 또는 Geared propulsion 방식이 상선뿐만 아니라 해군 함정에도 주류를 이루었다.

그러나 1980년대에 들어와서 전력변환산업과 기술

의 급속한 발전과 더불어, 산업용 선박에 전기추진방식이 먼저 적용되기 시작하였고 함정용으로는 기계식의 단점 보완을 목적으로 기계식 추진과 전기추진방식이 혼합된 하이브리드 방식이 개발 적용되었으며, 또한 이를 바탕으로 완전전기추진방식을 적용하려고 시도하였다⁴⁾⁵⁾⁶⁾.

2000년 전후로 1990년 중반에 개념이 정의된 통합 전기추진체계 기술을 각종 프로그램을 Makin Island(LHD 8), Lewis and Clark(T-AKE 1), Type-45, DDX 등을 통하여 적용하면서 최근의 완전전기추진체계를 가져왔다.

표 1은 세계 각국의 대표적인 전기추진시스템 방식이 적용된 전투함 및 함정들은 나타낸 것이다⁷⁾.

표 1에 나타난 것과 같이 최근 건조되는 해군함정은 전기추진방식의 추진체계를 적용하는 특징이 있으며 미 해군의 경우 차세대 전투함은 완전전기추진방식의 추진체계를 적용할 예정이어서 관심이 주목되고 있다.

이는 앞서 설명한 바와 같이 기계적인 장치들을 제외하고 모든 장치의 구동을 전력을 이용한다는 점에서 함정 내부에서 발생하는 소음을 원천차단하고 배기가스에 의한 열 추적을 최소화시켜 생존성을 향상시키기 위함이다.

함정 추진체계의 발전은 군 특수성의 이유로 상용 추진체계와 혼용 사용에 어려움이 있었지만 관련 산업의 발전과 함께 군사력 증강 측면, 운영측면, 재정측면 및 전장 환경측면에서 발전을 거듭해 왔다.

추진체계는 기계식, 전기식 그리고 기계식과 전기식의 혼합형인 하이브리드 방식으로 구분할 수 있다. 여기서, 하이브리드 방식은 디젤발전의 전기식과 가스터빈의 기계식을 혼합한 형태인 CODLAG 시스템으로 대표될 수 있다.

전기추진방식의 경우 초기에는 속도제어가 가능한 직류전동기 또는 교류 동기전동기를 사용하였고 속도제어가 가능한 터보 발전기를 적용하였다.

1980년 중반에 속도제어가 가능한 반도체 적용 교류 가변속 드라이브의 출현으로 고출력, 속도제어 추진전동기와 고정주파수 발전기 시스템의 조합이 가능하게 되었다⁸⁾.

전기추진방식을 적용한 각각의 실적함과 계획함을 분석해보면, 대표적인 하이브리드방식으로서 영국해군이 보유한 Type 23, 독일에서 건조중인 F125 및 프랑스와 이탈리아 양국이 공동 건조중인 FREMM (Frigate European Multi-mission) 등이다.

Table 1 Naval Ships applied Electric based System

Ships	Nation	System	Displacement
Type-23	U.K.	CODLAG	4,500
F125	Germany	CODLAG	6,800
FREMM	French Italy	CODLAG	5,600
LPD	U.K.	IFEP	18,500
Type-45	U.K.	IFEP	7,350
CVF	U.K.	IFEP	65,000
T-AKE	U.S.A	IFEP	41,000
DDX	U.S.A	IFEP	14,500

현재 완전전기추진시스템이 적용된 전투함은 영국의 Type 45(그림 6)이고 향후 취역예정인 미국의 DDG 1000(그림 7)에 동일한 시스템이 적용 예정이다.

Type 45의 경우 함정의 추진체계가 하이브리드방식에서 완전전기추진방식으로 변화되는 사례로서 완전전기추진방식의 모델이 되었다.

Type 45는 전기식의 장점을 살리면서 전기식의 단점을 보완하기 위해 많은 검토와 수정보완을 거쳐 탄생했으며 Type 45 건조의 경험과 기술을 이용해 영국은 완전전기추진시스템 방식의 차세대 항공모함 건조에 박차를 가하고 있다. 그림 8은 영국의 차세대 항공모함에 적용 예정인 완전전기추진시스템의 개념도를 나타낸 것이다.

Fig. 6 Type 45 Combatant Ship

Fig. 7 Zumwalt Class DDG 1000 Combatant Ship

Fig. 8 CVF Propulsion System

미국의 경우 2015년 취역을 목표로 완전전기추진 방식의 전투함 DDG 1000 건조에 박차를 가하고 있으며 전기추진함정의 보편화는 DDG 1000이 취역된 이후에 분수령이 될 것이다.

그림 9, 그림 10은 미국이 DDG 1000 건조이후 완전전기추진 함정 개발 및 미래 해군 전력 건설 로드맵을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 미국은 전기추진함정 건조에 지속적인 투자를 할 계획이며 고출력 에너지를 이용한 무기체계를 전기추진함정에 적용할 계획이다⁹⁾.

Fig. 9 IFEP Roadmap for U.S Navy

Fig. 10 Naval Power Roadmap of U.S Navy

Fig. 11 Striking Concept using High Power Energy

고출력 에너지를 이용한 무기체계가 함정에 탑재 시 원거리 타격이 가능 할 것이며 별도의 추진체가 필요 없기 때문에 수백 km 떨어진 목표물도 단 몇 분 이내에 신속하고 정확하게 타격할 수 있는 핵심적인 무기체계로 각광을 받을 것이라고 판단된다.

그림 11은 고출력 에너지를 이용한 무기체계의 타격 개념도를 나타낸 것이다¹⁰⁾.

4. 결 론

군사과학기술의 획기적인 발전으로 진보적인 무기 체계 및 추진시스템이 등장하게 되었다. 각국은 신형 수상전투함 건조 시 기계식과 전기식이 복합된 하이브리드 형태의 추진시스템을 구성하고 있는 추세이며 영국, 미국 등과 같은 선진해군은 완전전기추진방식의 추진시스템을 추구하고 있다.

해군수상전투함 추진체계 발전 경향을 분석했을 때 하이브리드 및 완전전기추진 방식의 함정 건조 및 출현은 지속적으로 증가될 것으로 예측된다. 또한, 함정이 갈수록 첨단화되면서 함정을 효율적으로 운용하기 위한 에너지 사용의 적절한 분배 및 가용시스템이 요구될 것이며 이러한 요구조건을 만족시키고 에너지 사용을 효율적으로 운용할 수 있는 추진시스템은 기계식 보다는 전기추진시스템방식이 각광을 받을 것이라고 판단된다.

참고 문헌

- Hodge. C.G. et al., 2008, "The Electric Warship Then, Now and Later", Paper on Electric Propulsions and the Advances over the Last 30 Years, Hamburg, Germany.
- John S. Carlton, 2007, "Marine Propellers and

- Propulsion”, ELSEVIER.
3. John Rosamond, 2008, “All Systems go as Electric Solution Power Future Ships”, Jane’s Navy International.
 4. Jebesen. G.M., 2001, “Electric Warship Technology Overview”, ONR Conference.
 5. Hodge. C.G. et al., 2005, “The Electric Warship”, Transaction of IMaE, Vol. 108, pp. 109-125.
 6. 남택근, 2005, “전기추진선박의 최근 동향”, 한국마린엔지니어링학회지, 제29권 2호, pp. 149-153.
 7. ONR Science & Technology, 2005, “Integrated Systems Approach for the All Electric Force”.
 8. 강민진, 김조은, 이진태, 2009, “전기함정 기술 개발 동향,” Journal of Ships & Ocean Engineering, Vol. 47, pp. 59-68.
 9. Office of Naval Research, 2007, “Science & Technology Strategic Plan”.
 10. Capt Norbert Doerry, 2009, “Next Generation Integrated Power Systems for the Future Fleet”, IEEE Electric Ship Technologies Symposium.