한국마린엔지니어링학회지 제35권 제6호, pp. 796~801, 2011. 9(ISSN 1226-9549)
Journal of the Korean Society of Marine Engineering http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2011.35.6.796

고출력 에너지 사용 체계 플랫폼 실현을 위한 해군함정의 통합 동력 시스템 발전 경향 분석

이형민† · 조병진[1]

(원고접수일 : 2011년 7월 28일, 원고수정일 : 2011년 8월 16일, 심사완료일 : 2011년 8월 23일)

Analysis of Development Trend for the Integrated Power System of Naval Vessels to Perform the High-Power and Energy Mission Load Platform

Hyung-Min Lee† · Byung-Jin Cho[1]

요 약 : 본 논문은 고도로 발전된 군사과학 기술의 영향과 급변하는 해양전장환경의 디지털화, 함정생존성 극대화를 위한 고출력 센서체계 등 고출력 에너지 사용 체계 플랫폼 실현을 위한 해군함정의 통합 동력 시스템 발전 경향을 분석하는데 초점을 두었다. 함정에서 전자기를 이용하는 항공기 출격 시스템, 200NM(370km) 이상 원거리에서 정밀타격이 가능한 전자기 포 등 고출력 에너지를 사용하는 각종 무기체계가 탑재되기 위해서는 추진동력을 포함한 함정에 공급되는 모든 동력이 단일화 되어야하는 통합 동력 시스템으로 변화하는 것이 가장 이상적이다. 선진국을 중심으로 통합 동력 시스템을 실현하기 위해서 기계식 추진시스템에서 하이브리드 및 완전전기추진시스템으로 변화하고 있는 추세이며 이러한 노력은 연료사용의 절감, 함정 탑재 장비의 고출력화, 함정 총 수명주기 비용 절감 등을 포함하고 있다.
주제어 : 함정생존성, 전자기 포, 통합동력시스템, 함정 총 수명주기

Abstract: The objective of this work presented here was focused on analysis of development trend for the integrated power system of naval vessels to perform the high-power and energy mission load platform. These mission loads are affected by the high level of military technologies, digitalization of the ocean battlefield, high power sensor system for maximization of the ship survivability. All electric power including propulsion power for ship should be controlled by integrated single system in order to carry various high power density weapon system such as Electromagnetic Aircraft Launch System, Electromagnetic Rail Gun[feasible precision striking at long distance 200NM(370km) or over]. As the analyzing the present state of things, mechanical propulsion system is shifted into hybrid or fully electric propulsion systems to realize integrated power system at the developed countries. Such challenges include reduced dependency on foreign-supplied fossil fuel, increasing demand for installed ship power, controlling life-cycle costs.
Key words: Ship survivability, Electromagnetic rail gun, Integrated power system, Life-cycle costs

1. 서 론

해양 전장 환경의 디지털화, 해군함정에 부여되는 임무의 다목적화, 전투능력을 장기간 지속화하기 위한 함정 생존성의 극대화 등 군사과학 기술이 점차적으로 첨단화 되면서 함정에 탑재되는 무기체계, 전투체계, 추진체계 등 다양한 탑재 장비들이 모듈화 되고 있으며 고출력 에너지를 요구하는 체계로 변화하고 있다.

† 교신저자(해군사관학교 함정추진체계학과, E-mail:hmsj1226@korea.ac.kr, Tel: 055-549-1212)
1 해군사관학교 함정추진체계학과

특히, 해상에서의 전장 환경은 정보기술과 광역 전장감시체계 등의 발전으로 보다 복잡하게 구성되며, 이러한 첨단 시스템을 유지하기 위하여 함정에서는 보다 높은 수준의 전력 공급 시스템이 필요하게 되었다[1-2].

전자기 항공기 출격 시스템, 전자기 포, 레이저 무기체계 등과 같은 고출력 에너지가 요구되는 시스템들은 미래 급변하는 전장 환경에서 해군함정의 임무수행능력을 한층 더 상승시킬 것이라고 판단된다.

이와 같은 플랫폼을 실현시키기 위해서는 고압 분배 시스템, 동력 전환 시스템의 모듈화, 탑재 장비에 요구되는 부하를 만족시키기 위한 동력과 에너지의 양과 질을 통합적으로 제어할 수 있는 장치 등 통합적인 동력 시스템(IPS, Integrated Power System)이 필수적으로 요구된다.

선진 해군을 중심으로 최근 건조되는 함정에는 미래 변화하는 전장 환경에 신속하게 대응하고자 통합동력 시스템을 구현하기 위해 추진체계를 기존의 기계식에서 하이브리드 또는 완전전기추진체계를 선택하고 있다.

이러한 노력은 고출력을 요구하는 무기체계 탑재뿐만 아니라 작전기간 중 연료사용의 절감, 함정의 획득기간 및 수명 주기 비용을 절감하기 위한 방안으로 분석된다.

본 연구의 목적은 급변하는 해양 전장 환경에서 선진국을 중심으로 고출력 에너지 플랫폼을 실현하기 위한 해군함정의 통합동력시스템의 기술개발 경향에 대해 고찰하는 것이다.

2. 해군함정의 대표적인 기계식 복합 동력 시스템

2.1 CODOG 시스템

CODOG(Combined Diesel or Gas Turbine) 시스템은 1980년대부터 1990년 말까지 전 세계 호위함 및 구축함에 널리 적용되었던 시스템으로서 현재 설계중이거나 건조되고 있는 유럽 및 미국의 최신 함정에는 적용하지 않는 추세이나 과거 많은 실적을 통하여 신뢰성과 운용성이 입증된 체계이다.

한국해군에서 CODOG 시스템은 PCC(연안초계함), FFK(한국형 호위함), KDX-I,II(한국형 구축함)에 적용된바 있으며 4기(디젤엔진 2기, 가스터빈 2기) 2축 또는 3기(디젤엔진 2기, 가스터빈 1기) 2축으로 구성된다.

이지스 전투체계를 탑재한 KDX-III는 가스터빈 4기 2축으로 구성된 COGAG(Combined Gas Turbine and Gas Turbine) 시스템이다.

CODOG 시스템은 체계 신뢰성과 운용적인 측면에서 이점이 있고 기관 최대출력 모드와 순항 모드를 독립적으로 구성하여 기관제어가 용이한 장점이 있다. Figure 1은 CODOG 추진체계의 개략도를 나타낸 것이다.

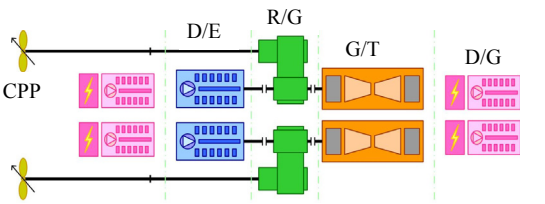

Figure 1: Schematic diagram of CODOG system

2.2 CODAG 시스템

CODAG(Combined Diesel and Gas Turbine) 시스템은 순항 시에는 디젤엔진을 구동하며, 최대속력 시에는 전 기관을 운용하여 출력을 얻도록 하는 시스템이다.

즉, 디젤엔진과 가스터빈을 동시에 사용할 수 있도록 체계를 구성하여 순항 혹은 최대속력의 모드 변환시 서로 독립적인 시스템을 사용하는 CODOG 추진체계의 비효용성을 개선한 것이다.

PKX(Patrol Killer eXperimental, 한국형 고속 유도탄함), LCS(Littoral Combat Ship, 미국 연안전투함), MEKO A-200(남아공 전투함) 등도 이러한 효용성 측면을 감안하여 CODAG 추진체계를 적용한 실적이 있다.

일반적으로 디젤엔진 2대를 동시에 운용할 경우 순항속력보다 높은 속력까지 운항할 수 있어 가스터빈보다 높은 기관효율을 가지는 디젤엔진의 운항비율을 높일 수 있는 특징이 있다. Figure 2는 CODAG 시스템의 개략도를 나타낸 것이다.

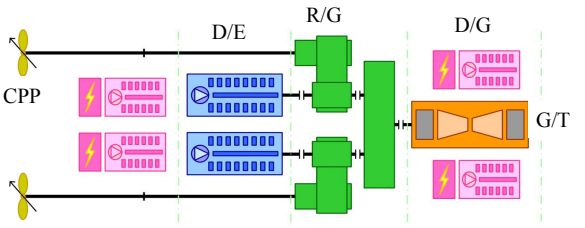

Figure 2: Schematic diagram of CODAG system

3. 해군함정의 하이브리드 및 통합 동력 시스템

3.1 하이브리드 시스템

해군함정용으로 각광을 받고 있는 하이브리드 동력 시스템은 CODLAG(Combined Diesel Electric and Gas Turbine) 또는 CODLOG(Combined Diesel Electric or Gas Turbine) 시스템으로 구분할 수 있다.

CODLAG 추진체계는 저속시에는 발전기에서 전력을 생산하여 추진전동기를 이용하고, 고속시에는 가스터빈과 같은 고출력 기관을 이용하여 운항한다. 영국의 Type 23이 본체계를 적용한 대표적인 실적 함정으로 전기추진체계의 장점과 기계식 추진체계의 장점을 동시에 활용할 수 있는 특징이 있다.

순항 시까지는 발전기-추진전동기를 이용한 전기추진체계를 이용한다는 점에서 CODLAG과 CODLOG 추진체계는 동일하나 최대속력시 가스터빈 단독운전을 할 경우 CODLOG 추진체계, 가스터빈과 더불어 추진전동기를 동시에 운용할 경우 CODLAG 추진체계로 분류한다. 즉, CODLOG 추진체계와 CODLAG 추진체계는 Hardware 측면에서는 유사하나 운용 및 제어 개념이 서로 상이하다.

Figure 3, Figure 4는 CODLAG 및 CODLOG 동력 시스템의 개략도를 나타낸 것이다.

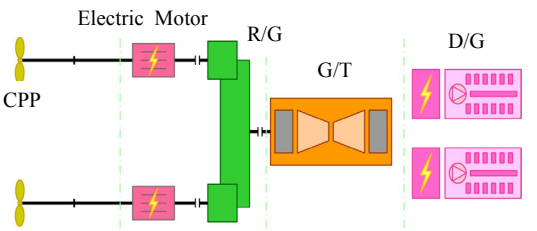

Figure 3: Schematic diagram of CODLAG system

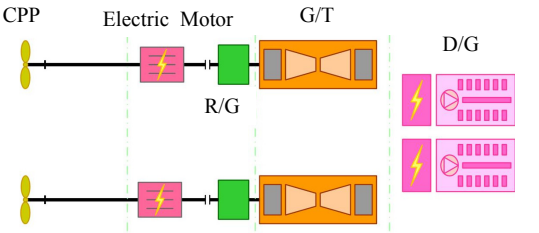

Figure 4: Schematic diagram of CODLOG system

3.2 완전통합전기동력 시스템

IFEP(Integrated Fully Electric Propulsion) 추진시스템은 추진 계통을 포함하여 함정 전체에 소요되는 모든 동력을 전기로 공급하는 완전통합 전기동력 시스템이다. 완전전기추진시스템의 대표적인 수상전투함은 영국의 7,000톤급 Type 45이며 최대속력은 29kts 이상이다.

완전전기추진 함정에서는 함정 전체에 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 전자기 포, 고출력 레이저 요격 시스템, 강력한 원거리 탐지 센서, 함전체 전력 부하 등에 유동적으로 사용하게 하여 전투 시에는 전투체계를 포함한 무장 및 센서체계에, 평상적인 기동 시에는 추진계통에 집중적으로 동력을 할당해 효과적인 운용 및 유지를 가능하게 하려는 것이다. Figure 5는 IFEP 추진시스템의 개략도를 나타낸 것이다.

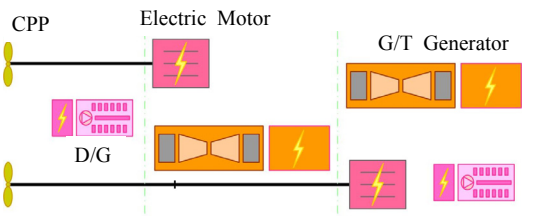

Figure 5: Schematic diagram of IFEP system

4. 통합 동력 시스템 함정 개발 동향 분석

4.1 통합 동력 시스템 함정 적용 현황

통합 동력 시스템 탑재 함정의 건조는 영국, 프랑스, 미국, 독일, 이태리, 스페인 등 선진해군을 중심으로 선행되었으며, 함정의 종류로는 대부분이 Frigate(호위함), LPD(Landing Platform Dock, 독크형 상륙 수송함) 및 LHD(Landing Helicopter Dock, 강습상륙함)가 주류를 이루었다.

근년에 들어 구축함을 비롯한 다목적 용도의 수상전투함으로 발전하고 있다. 통합 동력 시스템을 구현하기 위한 전기추진체계가 적용된 대표적인 함정을 Table 1에 나타내었다.

Table 1에 나타난 것과 같이 최근 건조되는 해군함정은 전기추진방식의 추진체계를 적용하는 것을 알 수 있으며 미국의 경우 차세대 전투함은 완전전기추진방식의 추진체계를 적용할 예정이어서 관심이 주목되고 있다.

완전전기추진 방식의 추진체계는 기계적인 장치들을 제외하고 모든 장치의 구동을 전력을 이용한다는 점에서 함내 및 수중으로 방사되는 소음을 차단하고 원동기 배치의 이점과 함정의 연돌구조 개선 등으로 배기가스에 의한 열 추적을 회피하려는 목적뿐만 아니라 고출력 에너지를 이용하는 무기체계의 탑재를 위하여 완전전기추진방식을 적용하는 것으로 분석된다.

4.2 미래 함정 고출력 에너지 소요량 및 무기체계 분석

고출력 전투체계 및 무기체계 탑재, 통합 동력 시스템 구현을 위한 전기추진체계 개발, 함정 생존성 극대화를 위한 고출력 센서 등 증가하는 에너지 소요를 만족시키기 위해서 현재 함정에서 생산되고 있는 전력량으로는 그 소요를 만족시킬 수 없는 실정이다.

Figure 6은 고출력 무기체계 탑재시 요구되는 전력량을 미래 탑재를 목표로 개발 중인 무기체계별로 도식화 한 것이다.

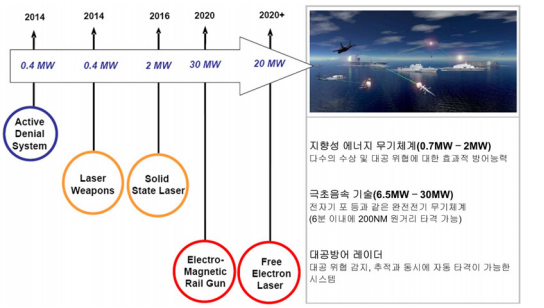

Figure 6: Increasing electrical power demands

Figure 6에서 알 수 있듯이 능동 거부 시스템에서 200NM(370km) 이상의 원거리 목표를 정밀 타격하기 위한 전자기 포 등을 탑재하기 위해서는 상당량의 전력이 요구된다. 이러한 고출력 에너지

Table 1 Naval ships applied electric based system to perform IPS

Platform	Nation	Status	Propulsion system	Displacement (tons)	Max. Speed (knots)
Type-23	U.K.	In-Service	CODLAG	4,500	28
F125	Germany	Under construction	CODLAG	6,800	27
FREMM	France	Under construction	CODLAG	5,600	29
LPD(HMS Albion)	U.K.	In-Service	IFEP	18,500	18
Type-45	U.K.	In-Service	IFEP	7,350	29
CVF	U.K.	Under construction	IFEP	65,000	24
T-AKE	U.S.A.	In-Service	IFEP	41,000	20
LHD-8	U.S.A.	In-Service	CODLOG	41,335	20
DD(X)	U.S.A.	Under construction	IFEP	14,500	30

를 사용하는 무기체계를 탑재하기 위해서는 추진체계 또한 전기추진시스템으로 개발되어야 하며 이 모든 시스템을 효율적으로 운용하기 위해서는 통합 동력을 구성하여 배분할 수 있는 플랫폼으로 발전해야 한다는 의견이 지배적이다[3].

Figure 7은 고출력 에너지 사용 시 기존의 함정에 탑재되어 있는 함포 타격 개념을 획기적으로 변화시킬 전자기 포를 이용한 함포 타격 개념을 도식화 한 것이다. 레일형 전자기 포는 초당 수 km의 포구속도로 발사하여 대기권 외부로 비행 후 다시 진입하여 목표물을 파괴한다. 수백 km 떨어진 목표물을 단 몇 분 이내에 신속 타격할 수 있으며 기존 함정에서 사용하던 함포의 화력대비 사거리를 대폭 증가시킬 수 있기 때문에 타격 시간도 획기적으로 줄일 수 있다.

특히, 장거리용 추진체가 필요 없기 때문에 피격에 의한 안전 확보 및 생존성을 높일 수 있으며 발사체에 필요한 기타 보조 장치들이 필요 없어 탄약 적재량을 증대시킬 수 있고 수송 및 저장 등의 측면에서 상당히 유리한 무기체계이다.

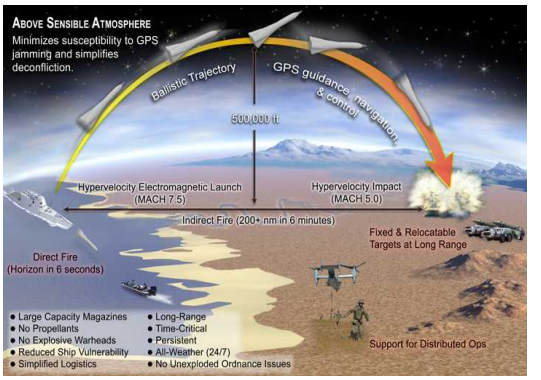

Figure 7: Striking concept using power energy

Figure 8은 지향성 에너지 무기체계를 탑재하기 위해 완전 통합 동력 시스템으로 구성된 수상전투함의 플랫폼을 나타낸 것이며 현재 미 해군에서 건조중인 *Zumwalt class* DDG-1000(2015년 취역 예상)이 완전 통합 동력 시스템 플랫폼으로 건조되고 있다.

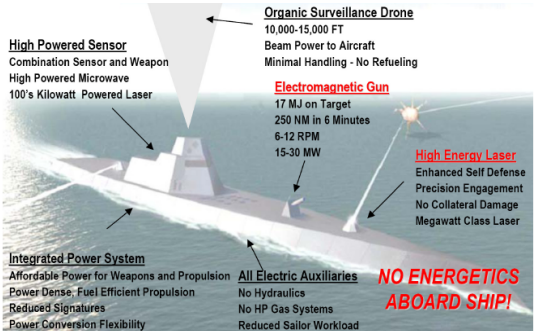

Figure 8: IPS surface combatant platform

고출력 에너지 레이저 무기체계는 통상적으로 수 십 kW 이상의 평균 출력을 방사하는 레이저를 사용한다. 근거리에서 포탄이나 정밀 유도무기, 항공기, 로켓 등을 요격하기 위한 레이저 무기에 사용되는 에너지 출력은 약 100kW 이상이 요구된다. 특히, 100km 이상의 장거리 표적을 파괴하기 위해 필요한 에너지는 약 1,000kW 이상의 고출력 에너지가 요구되는 것으로 알려져 있다. 이는 현재 한국해군에서 운용되고 있는 KDX-II급의 발전기 1대의 최대 출력과 비슷한 수준이다.

레이저 무기는 높은 에너지의 레이저 광을 유도탄, 항공기 등에 조준하여 파괴하거나 무력화 시킬 수 있다. 특히 레이저 무기의 가장 큰 특징은 에너지 전달 속도가 기존 재래식 무기에 비해 매우 빠르기 때문에 표적의 조준과 동시에 요격이 가능하므로 해상상태에 따라 작전 수행에 제한을 받는 해군함정에 적용이 된다면 정밀유도무기나 고속으로 기동하는 표적에 가장 효과적인 수단이 될 것이다[4-5].

4.3 통합 동력 시스템 플랫폼 발전 전망

함정에 대한 동력 시스템의 발전은 군 특수성의 이유로 상용추진체계와 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 CODLOG

시스템과 CODLAG 시스템으로 대표될 수 있다. 전기추진방식의 경우 초기에는 속도제어가 가능한 직류전동기 혹은 교류의 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 되었다. 전기추진방식을 적용한 각각의 실적함과 계획함을 분석해보면, 대표적인 하이브리드방식으로서 영국해군이 보유한 Type 23, 독일에서 건조중인 F125 그리고 프랑스와 이탈리아 양국이 공동 건조중인 FREMM(France-Italian Multi-mission Frigate Program) 등이다.

이들 함정은 대부분 기계식과 전기식이 결합된 하이브리드 형태이지만 구성기기의 사양들은 모두 다르다. 하이브리드 형식의 추진체계를 사용하는 함정의 무기체계는 재래식 무기가 탑재되는 것으로 알려져 있다. 현재 완전전기추진 전투함은 영국의 Type 45 및 미국의 DDG-1000으로 대표된다. Type 45의 경우는 함정의 추진체계가 하이브리드 방식에서 완전전기추진방식으로 변화되는 사례로서 완전전기추진방식의 모델이 되었다.

5. 결 론

급변하는 해양 전장 환경과 최근 과학기술 및 무기체계의 급속한 발전 양상을 감안할 때 함정에 탑재되는 무기체계는 고출력 에너지가 요구되는 무기체계로 변화할 것이다. 이러한 무기체계의 실현과 통합 동력 시스템 플랫폼을 위해서 함정에서는 고출력 에너지를 생산할 수 있는 전력체계가 반드시 요구되며 추진체계 또한 기계식에서 전기추진방식으로 변화되는 것이 바람직하다.

고출력 에너지를 사용할 수 있는 플랫폼 실현을 위한 해군 함정의 통합 동력 시스템 발전 경향을 분석했을 때 중형급 호위함 및 상륙 강습함 등에서는 하이브리드 형태의 동력 시스템이 탑재되었으며, 대형 수상전투함 및 고출력 에너지가 요구되는 미래 수상전투함의 경우 완전전기추진 방식으로 통합 동력 시스템이 완성될 것으로 기대되며, 이와 같은 함정 건조 및 출현은 지속적으로 증가될 것으로 예측된다.

후 기

본 논문은 해군해양연구소의 2011년도 국고 연구비 지원을 받아 연구되었음.

참고문헌

[1] Timothy J. McCoy, “Electric ship office overview”, Surface Navy Association National Symposium, 2011.

[2] C. G. Hodge, “The electric warship then, now and later”, Paper on electric propulsions and the advances over the last 30 years presented at INEC in Hamburg, Germany, 2008.

[3] Capt. Norbert Doerry, “Next generation integrated power systems for the future fleet”, IEEE Electric Ship Technologies Symposium, 2009.

[4] Jon Rosamond, “All systems go as electric solution power future ships”, Jane's Navy International, 2008.

[5] Lynn J. Petersen, Donald J. Hoffman, Joseph P. Borraccini and Steven B. Swindler, “Next-generation power and energy: maybe not so next generation”, Naval Engineering Journal, vol. 122, no. 4, pp. 59-74, 2010.

저 자 소 개

이형민(李炯敏)

1997년 해군사관학교 해양학과(이학사)
2001년 한국형 구축함 기관장교 근무
2005년 고려대학교 기계공학과(공학석사)
2006년 연안초계함 기관장교 근무
2009년 고려대학교 기계공학과(공학박사)
現 해군사관학교 함정추진체계학과 교수

조병진(趙炳振)

2003년 해군사관학교 해양학과(이학사)
2007년 연세대학교 기계공학과(공학석사)
2008년 한국형 구축함 기관장교 근무
2010년 연안초계함 기관장교 근무
現 해군사관학교 함정추진체계학과 전임강사