

공학석사 학위논문

군함의 효율적인 동력 시스템 구성에 관한 연구

A Study on the Arrangement of Efficient Power System for a Warship

지도교수 조 권 회

2015 년 2월

한국해양대학교 대학원

기관시스템공학과

홍 용 표

본 논문을 홍용표의 공학석사 학위논문으로 인준함.



위원장 최재성 (인)

위원 조권희 (인)

위원 김정렬 (인)

2014년 12월 12일

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	iii
List of Figures	iv
Abstract	vi
제 1 장 서 론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 내용	4
제 2 장 함정 추진체계의 종류	5
2.1 기계식 추진체계	5
2.2 전기식 추진체계	6
2.2.1 복합 추진체계	6
2.2.2 IPS(Integrated Power System)	8
2.3 최고속력 및 소요전력에 따른 최적 추진 체계 선택의 필요성	9
제 3 장 전기추진 시스템 구성과 평가 방법	11
3.1 전기추진 시스템 구성 비교	11
3.1.1 복합 추진체계 시스템 구성	11
3.1.2 IPS 구성	12
3.2 동력 시스템의 최적화 평가 인자	13
3.3 평가 인자의 정량화 및 평가 방법	15
3.4 추진기관의 소요 마력 산출 방법	15
3.5 연료소비량 계산 방법	17
3.6 함정의 속력별 운용 비율의 추정	18
3.7 함정의 최대속력과 소비전력에 따른 동력 시스템의 연료소비 추계 산출 방법	18

제 4 장 최대 속력 및 소요 전력 배수량 변화에 따른 동력 시스템 최적화	20
4.1 가상함정 설정	20
4.2 가상함정의 속력별 운용비율	22
4.3 가상함정의 최고 속력과 소요 전력에 따른 시스템 구성	22
4.3.1 최고 속력 변화에 따른 시스템 구성	23
4.3.2 소요 전력 변화에 따른 시스템 구성	30
4.3.3 배수량 변화에 따른 시스템 구성	30
4.4 각 동력 시스템 구성에 따른 연간 연료 소비량 산출	31
4.4.1 가상함정의 연간 연료 소비량 산출	31
4.4.2 동력 시스템의 최대속력 변화에 따른 연간 연료 소비량 산출 ..	38
4.4.3 동력 시스템의 소요전력 변화에 따른 연간 연료 소비량 산출 ...	41
4.4.4 동력 시스템의 배수량 변화에 따른 연간 연료 소비량 산출	44
4.5 발전용량 대 추진마력에 따른 연료 소비량 비교	47
4.6 함정별 최적 동력 시스템 제안	48
제 5 장 결론	50
참고문헌	52

List of Tables

Table 1.1	Latest warship propulsion system	2
Table 1.2	Korean warship	3
Table 2.1	Configuration concept and features of mechanical propulsion system	5
Table 2.2	Configuration concept and features of electric propulsion system	6
Table 2.3	Appliance of hybrid warship propulsion system	7
Table 2.4	Appliance of IPS	8
Table 3.1	Configuration concepts and specificity of hybrid propulsion system ..	11
Table 3.2	Process of measuring effective horse power	16
Table 4.1	Specifications of actual vessels	20
Table 4.2	Specification of supposed vessels	21
Table 4.3	Operation rate of supposed vessels	22
Table 4.4	Engine load according to the vessel' s speed	24
Table 4.5	The vessel' s speed according to engine load	25
Table 4.6	Power demand of propulsion system	26
Table 4.7	Propulsion system of supposed vessels	28
Table 4.8	Fuel consumption of LPH	32
Table 4.9	Fuel consumption of DDH	33
Table 4.10	Fuel consumption of FF	34
Table 4.11	Fuel consumption of LST	35
Table 4.12	Fuel consumption of AOE	36
Table 4.13	Fuel consumption of supposed vessels	37
Table 4.14	Fuel consumption changes data according to change of max. speed ..	38
Table 4.15	Fuel consumption changes according to change of max. speed ..	39

Table 4.16	Fuel consumption changes data according to change of electric load	....	41
Table 4.17	Fuel consumption changes according to change of electric load	.....	42
Table 4.18	Fuel consumption changes data according to change of displacement		44
Table 4.19	Fuel consumption changes according to change of displacement	.....	45
Table 4.20	Specification of modified supposed vessels	.....	48
Table 4.21	Fuel consumption of modified supposed vessels	.....	49



List of Figures

Fig. 3.1	Configuration concepts of BESS	12
Fig. 3.2	Increasing electrical power demands	14
Fig. 3.3	Engine load according to the vessels speed	18
Fig. 3.4	SFC tendency of diesel engine (Gen.) & gas turbine (Gen.)	19
Fig. 4.1	Electric propulsion plant of standard electrical components	27
Fig. 4.2	Change of engine load according to change of displacement	31
Fig. 4.3	Total fuel consumption for year by propulsion system	47



A Study on the Arrangement of Efficient Power System for a Warship

Hong, Yong-pyo

Department of Marine System Engineering
Graduate School of Korea Maritime University

Abstract

England, Italy and US Navy has operated and applied the electric propulsion system with an electric motor for the latest warship. In accordance with this trend, Korean Navy also actively seeks to apply the electric propulsion system ships to the warship.

This paper compares what the system more efficient between mechanical propulsion system, hybrid propulsion system(which uses mechanical propulsion system and electric propulsion system) and integrated power system, considering the maximum speed, electric power load, displacement.

As a result, efficiency of the electric propulsion system is decreased because warship needs undue propulsion power when warship need high maximum speed. The efficiency of the integrated power system increases when warship needs more electric power load increased. The efficiency of the electric propulsion system increases when warship has smaller displacement.

Considering only fuel consumption, CODLOG will be the most efficient propulsion system to LPH, DDH, LST, CODLAG will be the most efficient propulsion system to FF. And IPS will be the most efficient propulsion system to AOE.

The research will be needed to apply integrated power system on AOE and LPH which have relatively lower maximum speed compared with DDH and FF.

KEY WORDS : warship 군함; electric propulsion 전기추진; mechanical propulsion기계식 추진

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

영국, 이탈리아, 미국 등 해양강대국들이 최신의 군함에 전기모터를 이용한 전기 추진 시스템을 채택하여 운용하고 있다. 미국 해군의 DDG-1000과 영국 해군의 TYPE-45 구축함은 기계식 추진 시스템이 없는 100% 전기 추진 시스템을 선택하고 있다. 이에 맞추어 우리 해군에서도 100% 전기 추진함을 전력화 시켰으며, 전기식 추진체계와 기계식 추진체계를 동시에 사용하는 복합식 추진 시스템을 갖춘 FFX-Batch II도 건조 중 이다. **Table 1.1**은 최신함정의 추진체계 현황이다.

전기식 추진체계는 함정의 속도를 미세하게 조정할 수 있고, 추진축이 없어 높은 공간 활용도 등의 장점이 있다. 또한 필요한 양의 전기를 생산하여 추진 부하와 장비운용에 적절하게 분배하여 기계식 추진체계보다 효율성을 높일 수 있다는 선행연구들도 많이 있다.^[1,2,3,4]

본 논문은 기계식 추진체계와 통합전력체계(IPS, Integrated Power System)와의 비교를 통해 효율적인 기관추진체계를 연구한 “함정의 통합 동력 시스템 구성에 관한 연구”^[1] 결과를 바탕으로 **Table 1.2**의 현재 대한민국 해군에서 운용 중인 함정을 기준으로 가상함정을 설정하고, 기계식 추진체계와 전기식 추진체계를 복합한 복합식 추진체계와 100% 전기 추진을 하는 통합전기 추진(IFEP, Integrated Full Electric Propulsion)의 비교를 통해 함정의 종류에 따라 어떤 추진체계가 더 효율적인 추진체계인지 연구하였다. 함정의 최고속력이 과도하게 높을 경우와 또, 레일건(Rail-Gun), 레이저를 이용한 무기, 이지스레이더 등과 같은 고전력을 필요로 하는 무기체계와 탐지체계가 설치될 경우의 효율적인 추진체계에 관하여 분석하였다.

Table 1.1 Latest warship propulsion system^[5]

Propulsion system	Name	Operator	Displacement (ton)	Length×beam (m)	Max speed / cruising speed (knots)	Complement	Propulsion	In commission
CODAD	FORMDABLE	Singapore	3,200	114.0×16.0	30/15	86	DE×4	2007
CODOG	FFX Batch- 1	Korea	3,100	114.3×14.0	30/18	156	GT×2 DE×2	2012
CODAG	F-124	Germany	5,600	143.0×17.4	29/18	256	GT×1 DE×2	2004
	F-310	Norway	5,290	133.2×16.8	26/16	120	GT×1 DE×2	2006
	LCS(LM)	USA	3,089	115.3×17.5	45/14	50	GT×2 DE×2	2008
	MEKO A100	Poland	2,035	95.2×13.1	30/15	74	GT×1 DE×2	2015
CODLAG	TYPE 23	UK	4,900	133.0×16.1	28/15	185	GT×2 PM×2 DG×4	1987
	TYPE 26	UK	6,000	148.5×20	28/15	118	GT×1 PM×2 DG×4	2022
	FREMM (BERGAMINI)	Italy	5,960	142.2×19.7	27/15	145	GT×1 PM×2 DG×4	2012
	F-125	Germany	7,200	149.5×18.8	26/18	110	GT×1 PM×2 DG×4	2016
CODLOG	FREMM (AQUITAINE)	France	6,000	142.2×19.7	27/15	145	GT×1 PM×2 DG×4	2012
IFS/IFEP	TYPE 45	UK	7,450	152.4×21.2	27/18	191	GTG×2 PM×2 DG×2	2009
	LPD	UK	18,500	176×25.6	18	325	PM×2 DG×4	2004
	AOE	UK	31,500	196.5×28.25	18	102	D/G×4 PM×2	2000
	T-AKE	USA	41,000	210×32.2	20	136	D/G×4 PM×2	2005
	DDG-1000	USA	14,290	182.9×24.1	30/20	150	GTG×4 PM×2	2013
	CVF	UK	65,000	280×39	25	679	GTG×2 PM×4 DG×4	2015
※ CODAD : Combined Diesel And Diesel CODOG : COmbined Diesel Or Gas CODAG : COmbined Diesel And Gas CODLAG : COmbined Diesel-eLectric And Gas CODLOG : Combined Diesel- eLectric Or Gas								

Table 1.2 Korean warship^[6]

Photo	Type	Mission
	<p>대형수송함 (LPH, Landing Platform Helicopter)</p>	<p>기동전단 지휘함, 상륙전 지휘함 및 전쟁 이외의 작전수행</p>
	<p>구축함 (DDH, Destroyer Helicopter)</p>	<p>기동전단 주력 전투함 대수상전, 대잔전, 대공전을 동시에 수행 적 핵심표적에 대한 정밀타격 임무 수행 기동전단 및 호송선단에 대한 해역대공방어 및 방공엄호 제공</p>
	<p>호위함 (FF, Frigate)</p>	<p>해역함대의 주력 전투함으로 대공/대함/대잠전 수행</p>
	<p>고속정 (PKG, Patrol Killer Guided missile)</p>	<p>전방 접적해역의 최일선 경계 전력</p>
	<p>상륙함 (LST, Tank Landing Ship)</p>	<p>전시에 상륙돌격 세력 수송, 항만사용 불가시 해안을 통한 수송지원, 전후방 육상 및 도서부대에 군수 지원</p>
	<p>군수지원함 (ACE, Fast Combatant Support Ship)</p>	<p>해상작전세력의 지속적인 임무수행 지원을 위한 유류, 청수, 탄약, 식량에 대한 신속한 군수지원</p>

1.2 연구 내용

본 연구의 내용을 요약하면 다음과 같다.

제 2 장에서는 함정 추진체계의 전반적인 종류와 소요전력에 따른 최적 추진 체계 선택의 필요성에 대해서 고찰 하였다.

제 3 장에서는 전기 추진 시스템의 구성을 비교하고, 전기 추진 시스템의 최적화 평가 인자를 산출하였다.

제 4 장에서는 최대 속력 및 소요 전력에 따른 최적의 동력 시스템을 연구하였다. 가상함정의 설정은 현재 해군에서 운용하고 있는 함정을 기본으로 설정하였다. 가상함정의 최고 속력에 따른 추진동력의 규모를 산정하였고, 탑재 발전기를 기준으로 소요 전력을 추정하였다. 이를 바탕으로 최고 속력과 소요전력, 배수량의 변화에 따른 최적의 동력 시스템을 검토하였다.

결론에서는 이상의 연구결과를 요약 정리하였다.

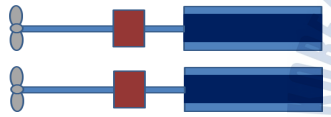
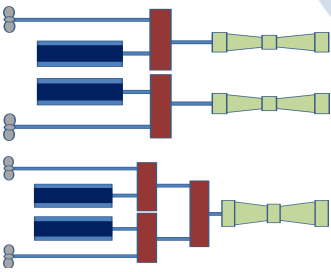
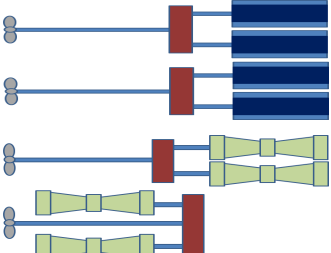


제 2 장 함정 추진체계의 종류

2.1 기계식 추진체계

기계식 추진체계는 대다수의 상선, 여객선, 어선 뿐만 아니라 해군에서 기존에 사용하고 있는 추진체계로 최대속력 및 순항속력용 엔진을 동일하게 구성하는 단순식 연결방식과 최대속력용 엔진과 순항속력용 엔진을 분리 구성하는 선택식 연결방식, 그리고 최대속력용 엔진과 순항속력용 엔진을 통합 구성하는 통합식 연결방식으로 구분할 수 있다. Table 2.1은 기계식 추진체계의 구성개념 및 특성을 각 연결방식에 따라 분류하였다.

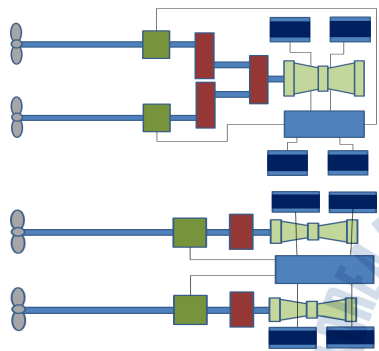
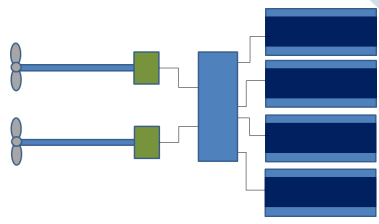
Table 2.1 Configuration concepts and features of mechanical propulsion system

Classification	Configuration concepts and features
<p>단순식 연결(2기 2축)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최대속력 및 순항속력용 엔진 동일 구성 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 종류 : 디젤 또는 가스터빈 2기 2축 구성 ○ 감속기어 구성 단순 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 좌·우현에 각 1대씩 독립적으로 구성 ○ 1개 엔진에 1축 연결 운용 ※ 적용함정 : ASR, AOE, LST 등
<p>선택식 연결(OR)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최대속력용 엔진과 순항속력용 엔진 분리 구성 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 종류 : CODOG, COGOG ○ 감속기어 구성이 비교적 단순 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 좌·우현에 각 1대씩 독립적으로 구성 또는 ▪ 좌·우현에 각 1대와 중앙에 통합기어 1대로 구성 ○ 1개 엔진에 1축 연결 운용 ※ 적용함정 : DDH, FF, PCC 등
<p>통합식 연결(AND)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최대속력용 엔진과 순항속력용 엔진 통합 구성 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 종류 : CODAG, COGAG, CODAD ○ 감속기어 구성 단순 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 좌·우현에 각 1대씩 독립적으로 구성 또는 ▪ 좌·우현에 각 1대와 중앙에 통합기어 1대로 구성 ○ 1개 엔진에 1축 또는 2축 동시 연결 운용 ※ 적용함정 : DDG, LPX, MLS 등

2.2 전기식 추진체계

전기식 추진체계는 크게 발전기와 추진전동기만으로 구성된 통합전기추진체계(IPS)와 최대속력시 기계식과 전기식을 통합 운용하고 순항속력시 전기식 추진 시스템을 운용하는 복합식 추진체계로 나눌 수 있다. Table 2.2는 전기식 추진체계의 구성개념 및 특성을 각 연결방식에 따라 분류하였다.

Table 2.2 Configuration concepts and features of electric propulsion system

Classification	Configuration concepts and features
<p>복합식(Hybrid)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기계식과 전기식(추진전동기)을 복합하여 구성 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 최대속력시 기계식과 전기식을 통합 운용하고, 순항속력시 전기식만 운용 ▪ 종류 : CODLAG, CODLOG ○ 순항속력 이하에서 소음 및 진동이 적음 ○ 기계식과 전기식으로 체계 구성이 복잡 ○ 대잠전 임무수행 함정에 적용 <ul style="list-style-type: none"> ▪ TYPE-35(영국), FREMM(프랑스, 이탈리아), F-125(독일) 등
<p>IPS (Integrated Power System)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 발전기와 추진전동기만으로 구성 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 종류 : IPS(Integrated Power System) / IFEP(Integrated Full Electric Propulsion) ○ 추진전동기 운용으로 소음 및 진동의 적음 ○ Diesel Electric 추진체계 실용화(저마력 함정) <ul style="list-style-type: none"> ▪ LPD(영국), AO(영국) 등 ○ 전투함에 대한 전기추진체계 적용/개발 중(고마력 함정) <ul style="list-style-type: none"> ▪ TYPE-45(영국), DDX(미국)

2.2.1 복합식 추진체계

복합식 추진체계는 2개 이상의 추진체계를 함께 사용하는 시스템을 말한다. 본 논문에서는 기계식 추진 체계와 전기식 추진체계를 복합하여 어느 한 체계 또는 두 체계를 동시에 사용하는 추진체계로 한정하였다. 복합식 추진체계 적용 함정은 저속 구간에서는 전기모터를 이용하여 추진력을 얻고, 고속 구간에

서는 가스터빈과 같은 기계식 추진기만을 단독으로 운용하거나, 전기모터를 동시에 운용한다. Table 2.3은 복합식 추진체계가 적용된 함정 현황이다.

Table 2.3 Applience of hybrid propulsion system^[5]

Name	Operators	Displacement / max speed / cruising speed	Propulsion system configuration	Photo
TYPE 23	UK	4,200 ton / 28 kts / 15 kts	GT×2 PM×2 DG×4	
TYPE 26	UK	6,000 ton / 28 kts / 15 kts	GT×1 PM×2 DG×4	
FREMM (BERGAMINI)	Italy	5,960 ton / 27 kts / 15 kts	GT×1 PM×2 DG×4	
F-125	Germany	7,200 ton / 26 kts / 18 kts	GT×1 PM×2 DG×4	
FREMM (AQUITAINE)	France	6,000 ton / 27 kts / 15 kts	GT×1 PM×2 DG×4	



2.2.2 IPS

추진기관과 감속기어와 같은 기계식 추진 시스템이 없고 발전기와 추진 모터로만 시스템이 구성된 IPS는 사용되는 추진부하와 장비 운용에 필요한 소요 전력에 따라 발전기 운용대수를 조정하며 필요한 전기를 공급한다.

Table 2.4는 최근 건조되거나 건조될 완전 전기 추진체계 적용 현황이다.

Table 2.4 Appliance of IPS^[5]

Name	Operators	Displacement / max speed / cruising speed	Propulsion system configuration	Photo
TYPE-45	UK	7,350 ton / 27 kts / 18 kts	GTG × 2 DG × 2 PM × 2	
LPD	UK	18,500 ton / 18 kts / 15 kts	DG × 2 DG × 2 PM × 2	
AOE	UK	31,500 ton / 18 kts / 15 kts	D/G × 4 PM × 2	
T-AKE	USA	41,000 ton / 20 kts / 20 kts	D/G × 4 PM × 2	

DD(X)	USA	14,500 ton / 30 kts / 18 kts	GTG × 2 DG × 2 PM × 2	
CVF	UK	65,000 ton / 26 kts / 26 kts	GTG × 2 DG × 2 DG × 2 PM × 4	

2.3 최고속력 및 소요전력에 따른 최적 추진 체계 선택의 필요성

최고 속력이 높아짐에 따라 소요되는 추진력이 급격하게 증가한다. 전투함에서 가장 우선이 되어야하는 요소 중에 하나가 생존성이며, 이 생존성을 좌우하는 것이 함정의 기동성이다. 즉 최고 속력이 높으면 그 만큼 함정의 생존성 또한 높아진다는 논리가 성립한다. 하지만 현대전은 최단 탐지체계를 이용해 더 멀리서, 더 먼저 적을 식별하고 대함 미사일을 이용해 적함을 공격하는 것이 주를 이루고 있다. 이런 전장 환경 속에서 필요이상의 최고 속력이 필요할 것인가에 대한 깊은 고찰이 필요할 것이다.

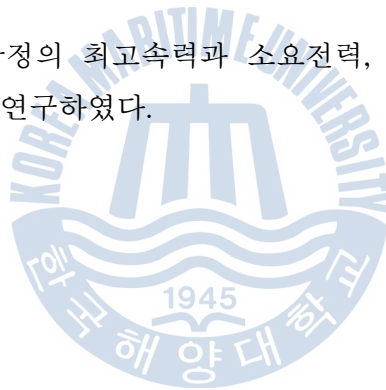
함정의 배수량과 형상을 고려하지 않고 단순히 최고속력으로만 비교했을 때 최고속력 30 노트인 군함의 최고 속력을 27 노트로 줄이면 30 노트일 때의 추진력의 72.9 % 만으로도 최고속력인 27 노트에 도달 가능하다. 이는 보다 더 작은 용량의 원동기로 함정 운용이 가능함을 말해준다. 더 작은 용량의 원동기 일수록 가벼운 경향이 있다. 더 작은 용량의 원동기를 함정에 설치한다면, 줄어든 원동기 무게만큼 함정에 탑재할 수 있는 전투 장비의 무게에 대한 제한을 줄일 수 있다.

줄어드는 최고속력은 추진시스템의 선택을 더 폭 넓게 할 수 있고, 이에 따라 함정에서 요구하는 성능에 맞는 최적의 추진 체계를 선택할 수 있게 된다.

현대전은 전자전이라고 할 수 있을 만큼 수많은 전자장비로 전투를 수행한다. 이에 따라 과거의 함정에 비해 소요전력이 높아졌고, 발전기의 용량 또한 커졌다. 함정 운용에 있어 많은 양의 전력이 필요하다면 엔진과 동일하거나 더 큰 용량의 발전기가 필요할 수도 있다. 하지만, 이런 전자장비들이 항상 가동하는 것이 아니기 때문에 함정에서 사용하는 소비전력의 부하 역시 많은 변동이 발생할 것이다. 이런 의미에서 전기추진방식의 검토가 이루어졌고 현재 많은 신조 함정들이 전기추진시스템을 도입하고 있다.

전기추진시스템의 장점 중 하나로 효율성을 뽑는다. 하지만 전기추진방식이 기계식 추진방식에 비해 항상 효율적이지는 않다. 함정의 최고 속도, 소요전력, 배수량 등이 변함에 따라 여러 동력 시스템의 효율성은 다르게 될 것이다.

이에 본 논문에서는 함정의 최고속력과 소요전력, 배수량의 변화에 따른 최적의 추진체계에 관하여 연구하였다.



제 3 장 전기추진 시스템 구성과 평가 방법

3.1 전기추진 시스템 구성 비교

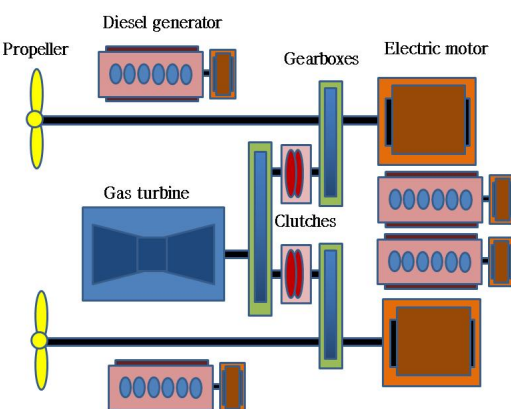
전기 추진 시스템은 두 가지 방식으로 나눌 수 있다. 저속으로 운항 시에는 전기 추진 기계적 시스템을 이용하고 고속으로 운항 시에는 기존의 기계식 추진시스템을 이용하는 복합식 추진체계 시스템과 100 % 전기 추진 방식이다. 복합식 추진체계 시스템은 그 구성에 따라 여러 방식이 있고, CODOG, CODAD, COGAG 같은 기계식 추진체계 역시 복합식 추진체계의 한 종류라고 볼 수 있지만, 본 논문에서는 기계식 추진과 전기식 추진을 함께 사용하는 함정을 복합식 추진체계 함정으로 정의하였다.

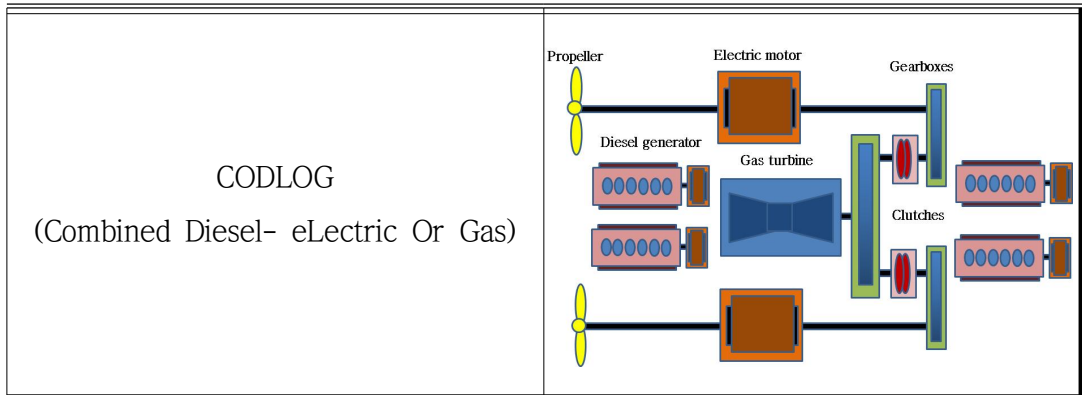
3.1.1 복합식 추진체계 시스템 구성

전기추진을 이용하는 복합식 추진체계 시스템은 저속시 추진전동기를 이용하고 고속시 추진전동기와 가스터빈을 함께 이용하는 CODLAG(Combined Diesel-eLeetric And Gas) 방식과 고속시에는 가스터빈만 이용하고 저속시에는 추진전동기를 이용하는 CODLOG(Combined Diesel- eLeetric Or Gas) 방식이 있다.

이 두 가지 방식의 시스템 구성은 Table 3.1과 같다.

Table 3.1 Configuration concepts and specificity of hybrid propulsion system

Category of hybrid propulsion system	Configuration concepts
<p style="text-align: center;">CODLAG (COmbined Diesel-eLeetric And Gas)</p>	



3.1.2 IPS 구성

100 % 전기 추진만으로 기동하는 통합전기추진시스템은 다수의 발전기를 이용하여 장비 작동과 추진에 필요한 전기를 동시에 공급하는 추진시스템이다. 장비 작동으로 발생하는 전력 부하와 함정의 추진 부하를 고려하여 발전기의 작동대수를 조절하여 함정에 필요한 전력을 공급한다. 시스템 구성은 Table 2.2 와 같으며, 필요에 따라 소형 발전기나, BESS(battery energy storage system)을 설치하여 운용할 수 있다.^[4]

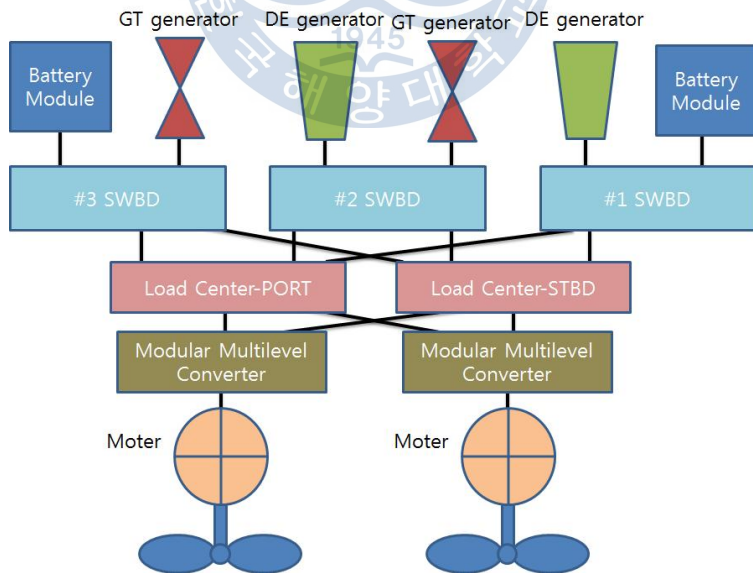


Fig. 3.1 Configuration concepts of BESS^[4]

3.2 동력 시스템의 최적화 평가 인자

위 동력 시스템의 최적화 평가 인자로는 함정의 최대 속도, 함정 장비 운용에 필요한 소요 전력, 함정 배수량 등을 선정할 수 있다.

1) 최대 속도

함정에 있어서 최대 속력은 사용되는 추진 시스템을 결정하는데 가장 큰 고려요인으로 작용한다. 최대 속력이 높으면 높을수록 필요한 추진력은 급속하게 증가한다. 또한 북한 해군과 근거리에서 전투상황에 임하는 고속정의 경우 최대 속력은 곧 함정이 생존성과 직결되는 중요한 요소로 작용한다.

2) 소요 전력

무기체계와 탐지체계의 발전으로 함정에 탑재되는 장비는 날로 늘어나고 있다. 이에 따라 장비 운용에 필요한 전력은 증가하는 추세다.

Fig. 3.2와 같이 지향성 레이저무기나 전자기 포와 같은 고출력 에너지를 사용하는 무기체계를 탑재하기 위해서는 고출력의 발전기가 필요하다. 단적인 예로 100km 이상의 장거리 표적을 파괴하기 위해 필요한 에너지는 약 1,000 kW 이상의 고출력 에너지가 요구되는 것으로 알려져 있다. 이는 DDH-II 발전기 1대의 용량과 맞먹는 에너지이다. [7]

이런 고출력의 무기체계나 탐지체계를 효율적으로 운용하기 위해한 추진체계가 통합전기추진체계이다. 하지만 이런 고출력의 무기체계를 모든 함정에 적용하기란 사실상 불가능하다. 소요 전력이 과도하지 않다면 다른 추진 시스템이 더 효율적일 수 있다고 추측할 수 있다. 이에 본 논문에서는 소요 전력에 따른 추진 시스템의 효율성을 분석하였다.

3) 배수량

함정 건조에 있어서 주어진 배수량에 부합하는 장비 선정과 배치는 매우 중요하다. 큰 배수량은 그 만큼 탑재 가능한 장비의 수가 많아지고 폭 넓은 장비

선택을 가능하게 하는 중요한 요소이다. 소형 함정의 경우 불과 몇 십 톤의 배수량 차이로 탑재 장비가 바뀔 수도 있기 때문에 배수량 또한 추진시스템 선정에 중요한 요소로 작용한다.

4) 연료 소비량

함정 운용에 있어 연료 소비량은 연료 재보급 주기와 직결되는 중요한 요소이다. 연료 소비량이 적을수록 연료 재보급 주기는 길어지고 그에 따라 작전 운영 일수 또한 늘어나게 된다. 이는 함정의 전투 능력과 직결되는 중요한 요소이다. 함정에서 운용하는 주기와 발전기의 종류와 기동속력에 따라 연료 소비량은 많은 영향을 받는다.

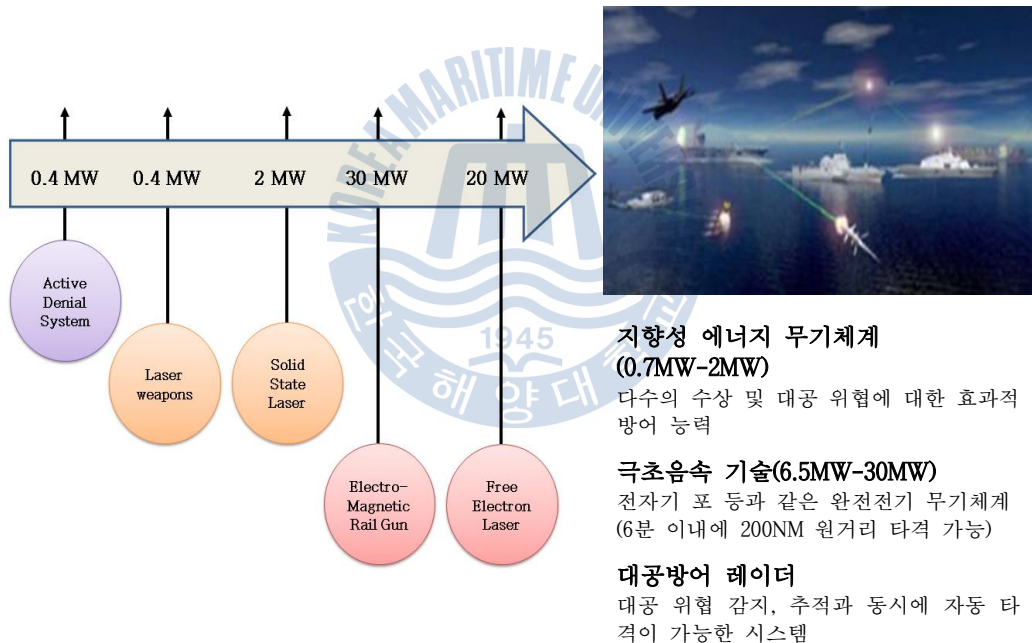


Fig. 3.2 Increasing electrical power demands^[7]

3.3 평가 인자의 평가 방법

본 연구에서 기계시스템의 효율성을 평가하기 위해 최우선 요소로 연료소비량을 선정하여 평가하였다. 군함에서 가장 우선으로 해야 하는 요소가 전투력과 생존성임은 분명하다. 기관 시스템에서 전투력과 생존성을 보장해 줄 수 있는 가장 좋은 방법은 함정의 최고 속력을 높이는 방법과 함정에서 소비되는 연료를 줄여 함정의 작전가능 일수를 늘려주는 방법이 있을 것이다. 속력을 높이는 방법은 고속정과 같이 근접 전투를 수행하는 함정의 경우 생존성에 가장 큰 소요로 작동할 수 있다. 하지만, 앞에서 언급했듯이 현대 대함전은 미사일을 바탕으로 하는 함대전으로 원거리에서 적을 타격하는 개념이다. 이런 전투 환경에서 함정의 생존성을 보장하는 요소로 함정의 최고 속력은 그 의미가 줄어들고 있다고 생각한다. 최고 속력 보다는 해상에서 함정의 가장 취약하다고 할 수 있는 해상연료보급의 횟수를 줄일 수 있도록 연료 소비를 줄여 함정의 작전가능 일수를 늘리는 것이 함정의 전투력과 생존성을 더 높일 수 있는 방법으로 생각된다. 이에 본 논문에서는 함정에서 소비하는 연료의 양을 기관시스템의 효율성을 평가하는 지표로 했다.

3.4 추진기관의 소요 마력 산출 방법^[8,9]

추진기관의 제동 동력을 산출하는 방법에는 유효마력과 추진효율에 의한 방법, 애드미랄티 계수법(admiralty coefficient method)에 의한 방법, 모형 수조시험에 의한 방법, 비교법칙의 응용에 의한 방법 등이 있다.

1) 유효마력과 추진효율에 의한 방법

유효마력(Effective Horse Power, EHP)은 선체의 총 저항과 속력의 곱으로부터 산출하는 마력을 말한다. 총 저항을 측정하는 방법은 Table 3.2와 같다.

Table 3.2의 한 가지 방법으로 유효마력을 구하면 주기의 지시마력은 $IHP = \frac{EHP}{\eta_p}$ 와 같이 구할 수 있다. 추진효율 η_p 는 약 0.45~0.55 이다.

Table 3.2 Process of measuring effective horse power

Category of process		Process of measuring	Reference
유 효 마 력 (ps)	예인마력	$\text{예인마력} = \frac{1852 T_r V}{75 \times 60 \times 60} = \frac{T_r V}{146} = \frac{T_r v}{75}$	T_r = 예인 로프의 장력[kgf] V = 선박의 속력[kt] v = 선박의 속력[m/s]
	정미마력	$\text{정미마력} = \frac{(R_f + R_r) V}{146} = \frac{(R_f + R_r) v}{75}$	R_f = 마찰저항 [kgf] R_r = 잉여저항 [kgf]
	유효마력	$\text{유효마력} = f A$	A = 침수면적 [m ²] f = 계수

2) 애드미랄티 계수법

애드미랄티 계수(Admiralty coefficient)란 선박을 일정 속도로 항주시키기에 필요한 기관의 마력이, 배수량의 2/3제곱과 배의 속력의 세제곱과의 곱에 비례하는 비례 상수를 의미한다.

애드미랄티 계수는, 선박의 규모는 다르지만 형상이 닮은 배 2척이 같은 속력에서 근사적으로 같은 값을 가진다는 성질을 이용한다. 기존 선박이 일정 속력으로 항주할 때의 전달마력을 이용하여 애드미랄티 계수 C_{ad} 를 산출하고, 산출된 애드미랄티 계수를 이용하여 건조 예정인 유사 선박의 전달마력을 예측할 수 있다.

$$C_{ad} = \frac{\Delta^{\frac{2}{3}} V^3}{DHP} \quad \Delta : \text{배수량}, V : \text{속력}, DHP : \text{전달마력}$$

3) 비교법칙의 응용에 의한 방법

실선과 상사선의 실 마력을 각각 IHP, ihp 라 하면 비교법칙에 의해 $\frac{IHP}{ihp} = \left(\frac{D}{d}\right)^{2/3} \times \left(\frac{V}{v}\right)^3$ 의 식을 이용하여 구할 수 있다. D 는 실선의 배수톤수, d 는 상사선의 배수톤수, V 는 실선의 속력, v 는 상사선의 속력을 의미한다.

4) 시험 수조에서 저항 모형 시험에 의한 방법

저항 모형 시험에서 탑재되고 있는 프로펠러 동력계 및 그 밖의 계기로부터 여러 가지의 필요한 사항을 측정하고, 그 결과를 비교 법칙에 의하여 실선에 환산하여 전달 마력을 산출함과 동시에 전달 효율, 기계 효율을 가정하여 놓음으로써 기관의 필요한 마력을 구할 수 있다.

3.5 연료소비량 계산 방법

선박의 전 저항을 R , 속력을 V , 배수량을 D , 지시마력을 IHP, 연료소비량을 Q 라고 하면 통상의 선박의 속력에 따라 선체 저항 R 은 $D^{2/3}V^2$ 에 비례한다. 지시마력은 RV 에 비례하고, RV 는 $V^3D^{2/3}$ 에 비례한다. 이를 통해 지시마력은 $V^3D^{2/3}$ 에 비례한다는 상관관계를 확인할 수 있다. 즉 배수량이 일정할 때의 소요마력은 속력의 3 제곱에 비례함을 알 수 있다. 이를 프로펠러 법칙이라고 하고 Fig. 3.3의 그래프로 표현할 수 있다.

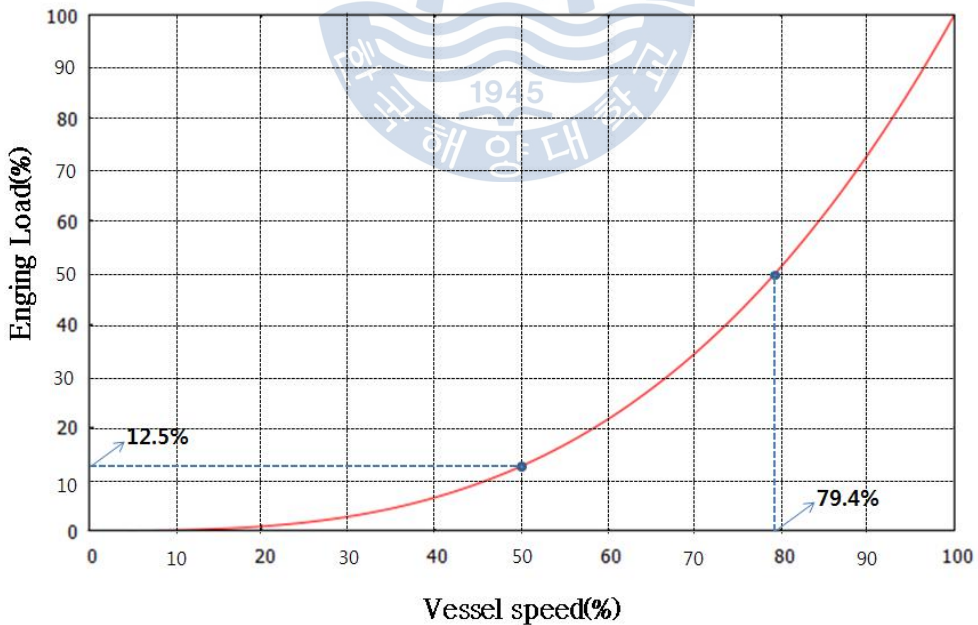


Fig. 3.3 Engine load according to the vessel's speed

Fig. 3.3에서 선박이 최고 속력을 내기위해 필요한 엔진 출력의 12.5 % 만으로도 최고 속력의 1/2로 항해가 가능하고, 최고 엔진 출력의 1/2만으로도 선박 최고 속력의 79.4 %로 항해가 가능하다는 것을 확인할 수 있다.

지시마력은 선박의 속도와 배수량과 $IHP \propto V^3$, $IHP \propto D^{2/3}$ 의 관계에 있다. 즉 연료소비량 Q 가 $Q \propto V^3$, $Q \propto D^{2/3}$ 의 관계에 있음을 알 수 있다. 이를 통해 연료소비량은 선박의 속도의 세제곱과 배수량의 2/3에 비례($Q \propto V^3 D^{2/3}$)함을 알 수 있다.

3.6 함정의 속력별 운용 비율의 추정

본 연구에서는 한국 해군에서 운용중인 전투함정의 속력별 운용 비율을 조사하여 가상함정의 속력 구간별로 운용 비율을 추정하였다. 가상함정은 현재 해군에서 운용중인 대형수송함(LPH), 구축함(DDH), 호위함(FF), 상륙함(LST), 군수지원함(AOE)으로 설정하였다. 각 함정의 속력 구간별 운용 비율 추정은 “함정의 통합 동력 시스템 구성에 관한 연구”^[1]를 바탕으로 1년 중 3개월 수리, 9개월 임무수행, 항해 중 80 %는 순항 속력 이하로 기동하는 것으로 가정하고 각각의 함정의 운용 비율을 추정하였다.

3.7 함정의 최대속력과 소비전력에 따른 동력 시스템의 연료소비 추계 산출 방법

함정의 최대속력과 소비전력이 커지면 그 만큼 연료소비가 늘어나는 것은 당연하다. 본 연구의 목적이 최대속력과 소비전력에 따라 효율성이 가장 높은 동력 시스템을 산출하는 것이다. 현재 사용 중이고 앞으로 적용 가능한 동력 시스템을 중심으로 선정된 평가 동력 시스템, CODAD, CODOG, CODLOG, CODLAG, CODAG, IPS 이다. 본 연구가 어느 한 특정 함정을 대상으로 하지 않았기 때문에 현재 운용중인 함정을 중심으로 가상함정을 설정하고 배수량과 소요 마력을 산출하였다. 각 동력시스템의 원동기 전환 시점은 속력에 따른 소요 마력을 기준으로 Fig. 3.3 프로펠러 법칙 그래프를 이용하여 산출하였다. 산출된 소요 마력에 따라 Fig. 3.4 추진용/발전용 디젤/가스터빈 기관의 연료소비 추계선^[1]을 이용하여 각각의 추진시스템의 연료 소비량을 산출하였다.

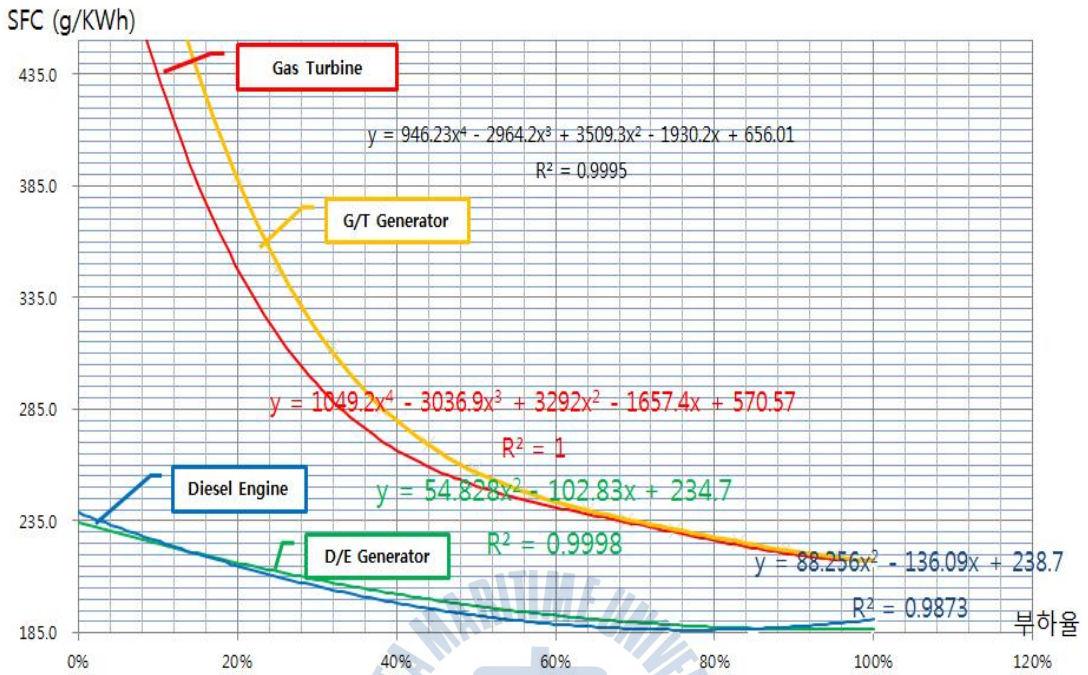


Fig. 3.4 SFC tendency of diesel engine (Gen.) & gas turbine (Gen.)^[1]

제 4 장 최대 속도, 소요 전력, 배수량 변화에 따른 동력 시스템 최적화

4.1 가상함정 설정

Table 4.1은 현재 운용 중인 함정의 배수톤수와 최고속력, 소요전력이다. Table 4.1을 중심으로 앞으로 해군에 인도되거나 또는 건조예정인 함정을 반영하여 가상함정을 분류하여 설정하였다.

Table 4.1 Specifications of actual vessels^[5]

Class & type	Length (m)	Displacement (ton)	Propulsion system	Propulsion power (kW)	Speed(knots)		Generator power (kW)
					max	cruising	
LPH	199	18,800	CODAD (4 × D/E)	4 × 10,400 = 41,600	23	18	4 × 2,500
DDH- I	135.4	3,885	CODOG (2 × D/E 2 × G/T)	2 × 3,525 2 × 21,697 = 50,444	30	18	4 × 1,000
DDH- II	149.5	5,520	CODOG (2 × D/E 2 × G/T)	2 × 3,525 2 × 21,697 = 50,444	29	17	4 × 1,200
DDH- III	167.9	11,200	COGAG (4 × G/T)	4 × 21,697 = 86,788	30	20	3 × 3,127
FF	102	2,300	CODOG (2 × D/E 2 × G/T)	2 × 2,255 2 × 20,000 = 45,110	34	15	4 × 425
PKG	63	570	CODAG (2 × D/E 2 × G/T)	2 × 3,240 2 × 4,470 = 15,420	40	15	2 × 247
LST	112.7	4,300	CODAD (2 × D/E)	2 × 4,706 = 9,412	16	12	3 × 425
AOE	136	9,113	CODAD (2 × D/E)	2 × 4,706 = 9,412	20	15	4 × 580

설정된 가상함정은 18,000톤급 대형수송함(LPH), 11,000톤급 구축함(DDH), 3500톤급 호위함(FF), 43000톤급 상륙함(LST), 9000톤급 군수지원함(AOE)이며, 예상되는 함정의 능력은 Table 4.2와 같이 설정하였다. 추진마력은 기존의 함정 제원을 바탕으로 3.5 절의 비교법칙의 응용을 통해 산출하였다. 호위함은 탑재 장비의 최신화로 함정의 소요전력이 증가했을 것으로 판단하고 3800급 구축함을 이용하여 비교법칙의 응용을 통해 추진 마력을 산출하였다. 고속정의 경우 배수량의 제한이 크고, 최고 속력이 높아 기존의 기계식 추진체계를 적용할 수밖에 없을 것으로 판단되어 가상함정 선정에서 제외하였다.

Table 4.2 Specification of supposed vessels

Class & type	Displacement (ton)	Propulsion power (kW)	Speed(knots)		Capacity of generator (kW)
			max	cruising	
LPH	18,000	40,411	23	18	10,000
DDH	11,000	85,752	30	20	9,381
FF	3,500	53,630	30	18	4,000
LST	4,300	9,412	16	12	1,275
AOE	9,000	9,334	20	15	2,320

4.2 가상함정의 속력별 운용비율

3.6 절을 바탕으로 각각의 함정의 속력 구간별 운용 비율을 Table 4.3과 같이 가정하고, 각 속력 별 엔진 부하를 추정하였다.

Table 4.3 Operation ratio of supposed vessel^[1,2]

Class & type	Operation ratio(%)				
	40	20	20	10	10
	Speed(knots)				
LPH	0~6	6~12	12~18	18~21	21~23
DDH	0~10	10~15	15~20	20~25	25~30
FF	0~6	6~12	12~18	18~24	24~30
LST	0~4	4~8	8~12	12~14	14~16
AOE	0~5	5~10	10~15	15~18	18~20

4.3 가상함정의 최고 속력과 소요 전력, 배수량에 따른 시스템 구성

기계식 추진함정과 하이브리드 함정이 최고 속력으로 기동하기 위해서는 가스터빈과 같은 고출력의 추진장치가 필요하다. 또한 통합 전기추진함정이 최고 속력으로 기동하기 위해서는 추진모터에 고전력을 공급할 수 있는 고용량의 발전기가 요구된다. 기계식 추진함정의 경우 발전기의 발전량에 한계가 있기 때문에 고전력을 필요로 하는 무기체계나 탐지체계를 추가적으로 설치하는 것이 통합전기추진함정에 비하여 제한되는 단점이 있다. 이에 반해 고전력이 필요한 무기체계나 탐지체계가 설치되어 있지 않은 전기추진함정의 경우 기계식 추진 체계에 비해 함정 기동에 필요한 장비가 많아지고 이로 인해 배수량이 늘어나 연료효율성이 떨어지고 다른 장비를 탑재할 수 있는 여력이 줄어들게 되는 단

점이 있다. 이런 제한요소를 고려하여 최고 속도, 배수량의 변화에 따른 시스템 구성과 소요 전력에 따른 시스템 구성을 검토하였다.

4.3.1 최고 속도 변화에 따른 시스템 구성

Table 4.4는 가상함정의 속도비율에 따른 엔진부하와 CODAD, CODOG, COGAG, CODLOD, CODLAG, IPS 시스템의 전환 시점을 나타낸 것이다. 같은 디젤엔진을 2대 탑재한 CODAD 함정의 경우 엔진 부하가 50 %일 때 최고속력의 79.4 %가 된다. 이 지점에서 추가적인 원동기를 작동한다. CODOG 함정의 경우 최고속도의 60 %가 되는 시점에 디젤엔진에서 가스터빈으로 전환 작동한다. 이때 엔진부하는 21.6 %이다. COGAG 함정의 경우 같은 용량의 가스터빈이 4대가 설치되어 있다고 가정했을 때 25 %의 엔진 부하가 증가하는 속도비율 63 % , 79.4 % , 90.9 %에서 추가적인 가스터빈이 작동하게 된다. CODLOG 함정의 경우 최고속도의 55 %가 되는 엔진 부하의 16.6 %에서 가스터빈으로 전환된다. 최고속력 55 % 이하의 영역에서는 엔진부하에 따라 디젤 발전기를 운용한다. CODLAG 함정의 경우 최고속력의 55 %인 엔진부하 16.6 %에서 가스터빈으로 전환되고, 엔진부하의 83.4 %인 최고속력의 94 %에서 디젤발전기를 통해 추진 모터까지 추가적으로 작동한다. IPS 함정의 경우 함정 추진에 필요한 전력과 장비 운용에 필요한 소요전력에 따라 발전기의 운용대수를 조정하기 때문에 같은 용량의 발전기가 설치되어 있다고 가정했을 때 COGAG와 같은 양상을 나타낸다. 예를 들어 소요 전력을 무시하고 총 4대의 같은 용량의 발전기가 설치되어 있다면 엔진 부하 25 % 인 속도비율 63 % 에서 2번째 발전기를 작동하고, 엔진 부하 50 % 인 속도비율 79.4 % 에서 3번째 발전기를 작동하고, 엔진부하 75 % 인 속도비율 90.9 % 에서 마지막 4번째 발전기를 작동할 것이다.

각 속도구간 별 엔진부하는 Fig. 3.3의 프로펠러 법칙에 의해 속력의 세제곱에 비례하여 증가한다. 이에 따라 각 구간별 엔진부하의 차이는 저속 구간보다 고속 구간에서 더 커진다.

Table 4.5는 프로펠러 법칙 그래프를 이용하여 엔진로드 변화에 따른 속력의 변화를 나타낸 표이다. 엔진의 저 부하 구간에서 속력의 변화가 크게 나타나고, 고 부하 구간에서 속력의 변화가 적게 나타남을 알 수 있다. 각각의 가상함정

의 최고속력이 다르기 때문에 엔진부하에 따른 각각의 속력을 산출 하였다. 속력 산출시 각 가상함정들의 배수량의 차이는 감안하지 않았다.

Table 4.4 Engine load according to the vessel's speed^[10]

Speed (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Engine Load (%)	0	0.1	0.8	2.7	6.4	12.5	21.6	34.3	51.2	72.9	100
Gap (%)		0.1	0.7	1.9	3.7	6.1	9.1	12.7	16.9	21.7	27.1

Engine load according to the vessels speed

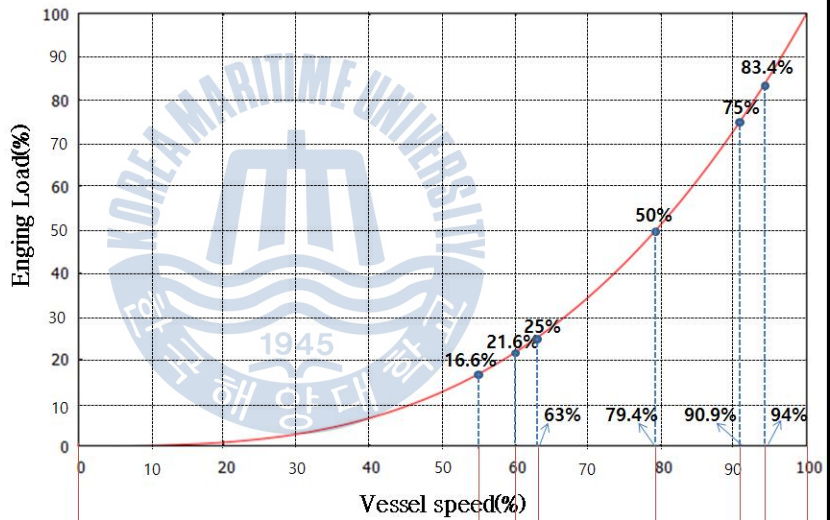
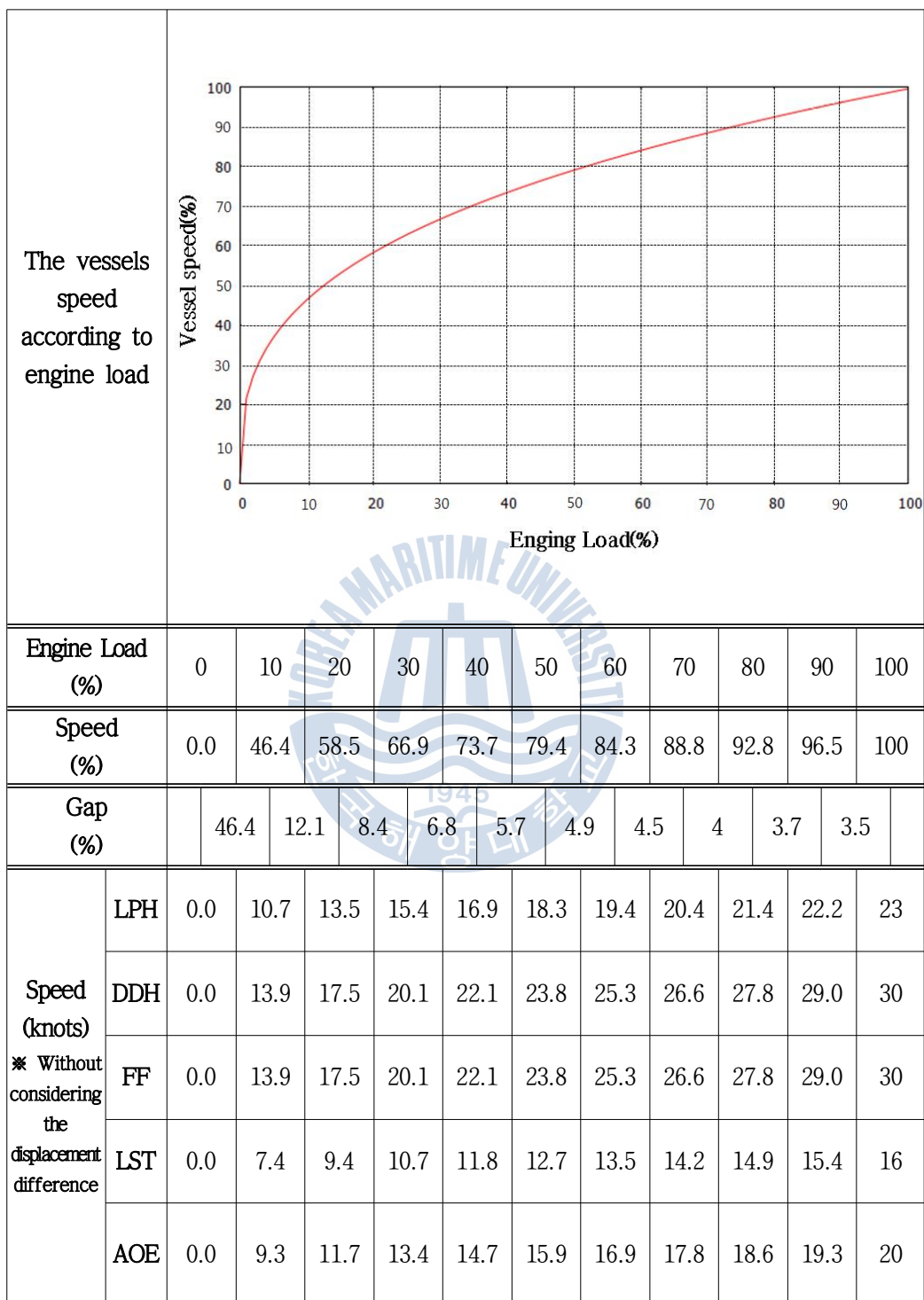
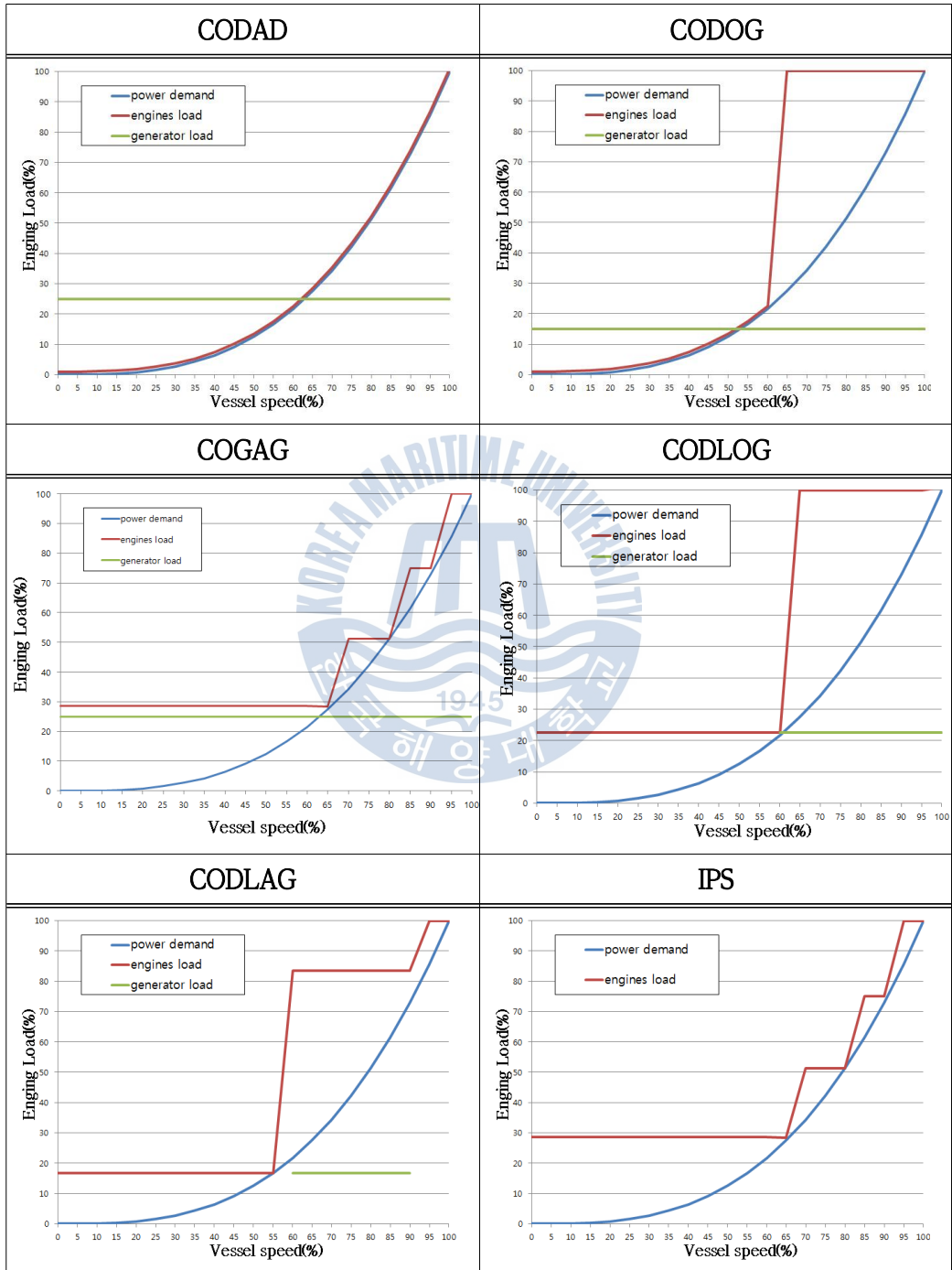


Table 4.5 The vessel' s speed according to engine load



각각의 추진 시스템에서 Table 4.4와 같이 엔진 부하에 따라 원동기를 전환을 고려한 추진 시스템의 필요 추진력은 Table 4.6과 같이 변할 것이다.

Table 4.6 Power demand of propulsion system



COGAG의 경우 동일한 원동기가 추가적으로 작동하는 시스템이기 때문에 속력변화에 따른 추진력 요구 곡선보다 조금 더 높게 설정할 수 있을 것이다. CODOG, COGAG, CODLOG, CODLAG, IPS는 일정부하에 도달했을 때 가스터빈이나 추가적인 발전기를 작동하기 때문에 원동기가 추가적으로 작동하는 시점에서 필요이상의 추진력이 발행하여 Table 4.6과 같은 추진력 곡선이 그려질 것이다. 기계식 추진체계는 원동기 외에 발전기가 추가적으로 작동하지만, 전기식 추진체계는 발전기를 통해 생산된 전기로 추진하기 때문에 저속구간에서는 발전기용량이 곧 추진력의 지표가 된다. 하지만 고속구간에서는 복합식 추진체계의 경우 CODOG이나 COGAG와 비슷한 양상의 추진력이 요구되고, IPS의 경우 추가적으로 작동하는 발전기에서 생산한 전기가 추진모터를 구동하는 동력으로 사용된다. IPS의 경우 작은 용량의 발전기를 여러 대 설치하여 부하에 따라 발전기 운용대수를 조정한다면 추진력 요구 곡선과 거의 일치하며 추진력이 증가하는 CODAD와 비슷한 그래프가 그려질 것으로 예상된다.

기계식 추진에 비해 전기 추진은 엔진으로 발전기를 가동하여 생산된 전기를 추진모터까지 전달하는데 Fig. 4.1^[11]과 같은 에너지 손실이 발생하게 된다. 엔진출력이 추진축에 전달될 때까지의 에너지 손실은 7.7 % ~ 9.7 % 정도이다. 본 논문에서는 엔진 추력의 손실률을 8.7 % 하고 추진력 산출시 반영하였다.

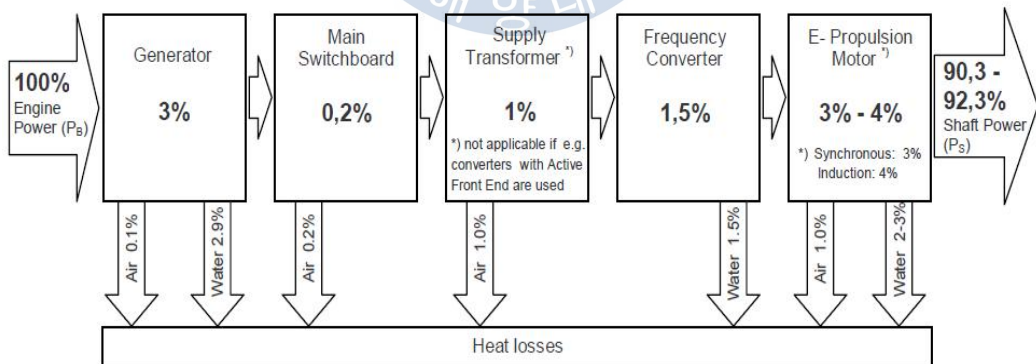


Fig.4.1 Electric propulsion plant of standard electrical components ; Typical losses

Table 4.7은 추진력 요구량에 따라 각각의 가상함정의 추진시스템을 구성하였다.

각각의 추진시스템의 구성은 기계식 추진체계를 기준으로 구성하였다. 기계식 추진체계의 발전기 용량을 CODLOG, CODLAG의 고속구간에의 발전기 용량으로 적용하였다. CODLOG, CODLAG의 전기 추진구간과 IPS의 경우 기계식 추진체계의 겨우 엔진 추력의 손실률을 8.7 % 적용하여 추진력을 산출하였다. 각 추진체계의 구성은 기계식 추진체계의 엔진과 가스터빈, 발전기 대수를 기준으로 설정하였으며, CODLOG, CODLAG의 경우 LPH, LST, AOE는 가스터빈 1대, DDH는 가스터빈 4대, FF는 가스터빈 2대로 구성하였다. IPS의 경우 모두 디젤발전기 4대로 시스템을 구성하였다.

Table 4.7 Propulsion system of supposed vessels

Class & type	max Speed (knots)	Propulsion system	Configuration	Propulsion power (kW)	Generator power (kW)
LPH	23	CODAD	4 × DE	40,411	10,000
			4 × DG		
		CODLOG	4 × DG	19,561	-
			1 × GT	40,411	10,000
		CODLAG	4 × DG	17,347	-
			1 × GT	33,703	10,000
IPS	4 × DG	51,050	-		
			54,262	-	
DDH	30	COGAG	4 × GT	85,752	9,381
			3 × GTG		
		CODLOG	4 × DG	29,668	-
			4 × GT	85,752	9,381
		CODLAG	4 × DG 4 × GT	24,972	-
				71,517	9,381
96,489	-				
IPS	4 × DG	103,304	-		

FF	34	CODOG	2 × DE	11,584	4,000	
			2 × GT	53,630	4,000	
		4 × DG	CODLOG			4 × DE	16,688	-
		2 × GT		53,630	4,000	
		CODLAG		4 × DE	13,751	-
				2 × GT	44,727	4,000
58,478	-					
IPS	4 × DE	62,740	-			
LST	16	CODAD	2 × DE	9,412	1,275	
			3 × DG	3,502	-	
		CODLOG	3 × DG			9,412
			1 × GT	2,986	-	
		CODLAG	3 × DE	7,850	1,275	
			1 × GT	10,836	-	
IPS	4 × DG		11,584	-		
AOE	20	CODAD	2 × DE	9,334	2,320	
			4 × DG	4,528	-	
		CODLOG	2 × DG			9,334	2,320
			1 × GT	4,017	-	
		CODLAG	2 × DE	7,785	2,320	
			1 × GT	11,802	-	
IPS	4 × DG		12,543	-		

4.3.2 소요 전력 변화에 따른 시스템 구성

전투함정의 경우, 현재 추세를 볼 때 위상배열레이더와 지향성레이저를 이용한 근접방어무기체계 등과 같은 고밀도의 전력을 필요로 하는 전투체계가 탑재될 것으로 예상된다. 가상함정에 이런 고전력 탐지체계와 무기체계 중 어떤 무기 체계가 탑재될지 예상하기 힘들기 때문에 최대 소요전력은 **Table 4.7**의 발전기 용량의 1 ~ 6배로 설정하였다. 이 때 기계식 추진시스템의 경우 소요전력의 증가는 그대로 발전기 용량의 증가로 반영하였고, 복합식 추진시스템에서의 소요 전력 증가는 저속 구간에서 사용하는 발전기의 용량 증가를 반영하였다. IPS의 경우 복합식 추진시스템의 저속 구간과 마찬가지로 소요전력의 증가는 발전기의 용량 증가로 반영하였다. 소요전력의 변화에 따른 발전기 용량의 변화를 반영하여 연료소비량을 산출하였다.

4.3.3 배수량 변화에 따른 시스템 구성

함정의 규모와 사용되는 장비의 무게에 따라서 함정의 배수량은 변화하게 된다. 기관 시스템을 구성하는 장비의 무게 또한 각 시스템에 따라 변화하게 된다.

3.4 절의 비교 법칙의 응용을 통해 배수량의 변화에 따른 엔진 부하를 **Fig. 4.2**와 같이 나타낸 것이다.

배수량이 증가하면 엔진부하 역시 증가한다. 하지만 배수량의 증가율에 비해 엔진부하 증가율은 높지 않다. 배수량이 10 % 증가하면 엔진부하는 6.56 % 증가하며, 배수량이 200 % 증가한다 해도 엔진부하는 108 % 만 증가한다.

각 기관 시스템의 변경에 따른 배수량 변화는 본 연구에서 반영하지 않았다. 각각의 가상 함정의 배수량 변화를 -40 % ~ +40 %까지 설정하여 배수량의 변화가 추진마력에 어느 정도의 영향을 미치는지 확인하고, 그에 따른 연료 소비량을 산출하였다.

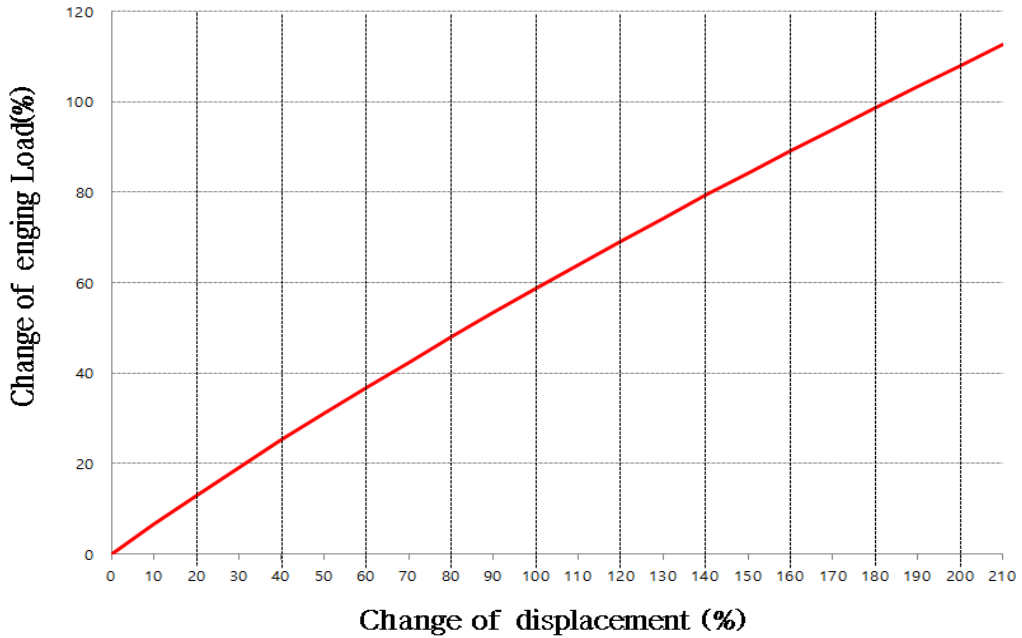


Fig. 4.2 Change of engine load according to Change of displacement

4.4 각 동력 시스템 구성에 따른 연간 연료 소비량 산출

4.4.1 가상함정의 연간 연료 소비량 산출

Table 4.7에서 구성한 가상함정의 추진시스템에 속력에 따른 엔진부하율을 Fig. 3.4 추진용/발전용 디젤/가스터빈 기관의 연료소비 추세선에 적용하여 속력에 따른 연료소비량을 산출하고, Table 4.3의 속력 구간별 운용비율을 적용하여 각각의 함정의 동력 시스템별 연간 연료 소비량을 Table 4.8 ~ 4.12와 같이 산출하였다. 추진에 사용하는 디젤엔진과 가스터빈의 경우 속력 변화에 따른 엔진 부하 변화를 적용하였고, 발전기의 경우 94 %의 부하율을 적용하였다.

Table 4.8 Fuel consumption of supposed LPH

Propulsion system	Operation speed range (kts)	Operation ratio (%)	Quantity Operating (EA)				Engine load (%)				SFC (g/kWh)				Fuel consumption (ton/h)	Total fuel consumption for year (ton)
			DE	DG	GT	GTG	DE	DG	GT	GTG	DE	DG	GT	GTG		
CODAD	0-6	40	1	1	0	0	0.22	94	0	0	237	186	0	0	0.460	15,267
	6-12	20	1	2	0	0	5.99	94	0	0	211	186	0	0	1.388	
	12-18	20	2	3	0	0	27.74	94	0	0	190	186	0	0	3.449	
	18-21	10	4	3	0	0	65.75	94	0	0	187	186	0	0	6.293	
	21-23	10	4	4	0	0	88	94	0	0	187	186	0	0	8.373	
CODLOG	0-6	40	0	1	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	0.857	18,234
	6-12	20	0	2	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	1.714	
	12-18	20	0	4	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	3.429	
	18-21	10	0	2	1	0	0	94	65.75	0	0	186	237	0	8.008	
	21-23	10	0	2	1	0	0	94	87.52	0	0	186	221	0	9.542	
CODLAG	0-6	40	0	1	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	0.760	20,404
	6-12	20	0	2	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	1.520	
	12-18	20	0	3	1	0	0	94	33.4	0	0	186	284	0	5.479	
	18-21	10	0	2	1	0	0	94	79.16	0	0	186	227	0	7.577	
	21-23	10	0	4	1	0	0	94	100	0	0	186	217	0	10.370	
IFS	0-6	40	0	1	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	2.378	23,576
	6-12	20	0	1	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	2.378	
	12-18	20	0	2	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	4.756	
	18-21	10	0	3	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	7.134	
	21-23	10	0	4	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	9.512	

Table 4.9 Fuel consumption of supposed DDH

Propulsion system	Operation speed range (kts)	Operation ratio (%)	Quantity Operating (EA)				Engine load (%)				SFC (g/kWh)				Fuel consumption (ton/h)	Total fuel consumption for year (ton)
			DE	DG	GT	GTG	DE	DG	GT	GTG	DE	DG	GT	GTG		
COGAG	0~10	40	0	0	1	1	0	0	0.46	100	0	0	541	217	0.894	28,233
	10~15	20	0	0	1	2	0	0	7.23	100	0	0	300	217	3.221	
	15~20	20	0	0	2	2	0	0	19.85	100	0	0	267	217	5.911	
	20~25	10	0	0	2	2	0	0	42.19	100	0	0	223	217	9.437	
	25~30	10	0	0	4	3	0	0	77	100	0	0	229	217	17.134	
COOLAG	0~10	40	0	1	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	1.300	28,681
	10~15	20	0	2	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	2.600	
	15~20	20	0	4	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	5.201	
	20~25	10	0	2	2	0	0	94	42.19	0	0	186	223	0	10.679	
	25~30	10	0	2	4	0	0	94	77.03	0	0	186	229	0	17.697	
COOLAG	0~10	40	0	1	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	1.094	31,572
	10~15	20	0	2	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	2.189	
	15~20	20	0	3	2	0	0	94	23.90	0	0	186	254	0	7.618	
	20~25	10	0	2	4	0	0	94	50.79	0	0	186	250	0	11.267	
	25~30	10	0	4	4	0	0	94	92.74	0	0	186	219	0	18.879	
IPS	0~10	40	0	1	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	4.527	44,885
	10~15	20	0	1	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	4.527	
	15~20	20	0	2	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	9.054	
	20~25	10	0	3	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	13.582	
	25~30	10	0	4	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	18.109	

Table 4.10 Fuel consumption of supposed FF

Propulsion system	Operation speed range (kts)	Operation ratio (%)	Quantity Operating (EA)				Engine load (%)				SFC (g/kWh)				Fuel consumption (ton/h)	Total fuel consumption for year (ton)
			DE	DG	GT	GTG	DE	DG	GT	GTG	DE	DG	GT	GTG		
CODOG	0-6	40	1	1	0	0	0.60	94	0	0	237	186	0	0	0.192	4,352
	6-12	20	2	2	0	0	16.23	94	0	0	219	186	0	0	0.762	
	12-18	20	2	2	0	0	75.13	94	0	0	186	186	0	0	1.972	
	18-24	10	0	3	2	0	0	94	34.3	0	239	186	0	0	0.526	
	24-30	10	0	4	2	0	0	94	72.9	0	239	186	0	0	0.701	
CODLOG	0-6	40	0	1	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	0.731	16,829
	6-12	20	0	2	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	1.463	
	12-18	20	0	4	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	2.925	
	18-24	10	0	2	2	0	0	94	34.3	0	0	186	281	0	6.638	
	24-30	10	0	2	2	0	0	94	72.9	0	0	186	232	0	10.517	
CODLAG	0-6	40	0	1	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	0.603	16,015
	6-12	20	0	2	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	1.205	
	12-18	20	0	4	0	0	0	94	0	0	0	186	571	0	2.411	
	18-24	10	0	2	2	0	0	94	41.3	0	0	186	264	0	6.085	
	24-30	10	0	4	2	0	0	94	95.74	0	0	186	218	0	11.733	
IFS	0-6	40	0	1	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	2.750	27,260
	6-12	20	0	1	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	2.750	
	12-18	20	0	2	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	5.499	
	18-24	10	0	3	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	8.249	
	24-30	10	0	4	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	10.998	

Table 4.11 Fuel consumption of supposed LST

Propulsion system	Operation speed range (kts)	Operation ratio (%)	Quantity Operating (EA)				Engine load (%)				SFC (g/kWh)				Fuel consumption (ton/h)	Total fuel consumption for year (ton)
			DE	DG	GT	GTG	DE	DG	GT	GTG	DE	DG	GT	GTG		
CODAD	0-4	40	1	1	0	0	0.20	94	0	0	238	186	0	0	0.079	1,924
	4-8	20	2	2	0	0	5.27	94	0	0	232	186	0	0	0.264	
	8-12	20	2	2	0	0	24.41	94	0	0	211	186	0	0	0.633	
	12-14	10	2	3	0	0	54	94	0	0	191	186	0	0	1.188	
	14-16	10	2	3	0	0	82	94	0	0	239	186	0	0	2.075	
CODLOG	0-4	40	0	1	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	0.205	2,398
	4-8	20	0	3	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	0.614	
	8-12	20	0	1	1	0	0	94	24.41	0	0	186	0	0	0.205	
	12-14	10	0	2	1	0	0	94	53.64	0	0	186	247	0	1.656	
	14-16	10	0	2	1	0	0	94	82.40	0	0	186	225	1	2.152	
CODLAG	0-4	40	0	1	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	0.174	2,931
	4-8	20	0	3	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	0.523	
	8-12	20	0	1	1	0	0	94	29.38	0	0	186	299	0	0.863	
	12-14	10	0	2	1	0	0	94	64.58	0	0	186	238	0	1.554	
	14-16	10	0	2	1	0	0	94	99.2	0	0	186	217	1	2.042	
IPS	0-4	40	0	1	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	0.508	3,849
	4-8	20	0	1	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	0.508	
	8-12	20	0	2	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	1.015	
	12-14	10	0	3	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	1.523	
	14-16	10	0	4	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	2.031	

Table 4.12 Fuel consumption of supposed AOE

Propulsion system	Operation speed range (kts)	Operation ratio (%)	Quantity Operating (EA)				Engine load (%)				SFC (g/kWh)				Fuel consumption (ton/h)	Total fuel consumption for year (ton)
			DE	DG	GT	GTG	DE	DG	GT	GTG	DE	DG	GT	GTG		
CODAD	0-5	40	1	1	0	0	0.10	94	0	0	238	186	0	0	0.104	3,278
	5-10	20	2	2	0	0	5.27	94	0	0	232	186	0	0	0.317	
	10-15	20	2	2	0	0	24.41	94	0	0	211	186	0	0	0.684	
	15-18	10	2	3	0	0	56.15	94	0	0	190	186	0	0	1.301	
	18-20	10	2	4	0	0	86	94	0	0	187	186	0	0	1.902	
CODAG	0-5	40	0	1	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	0.397	4,563
	5-10	20	0	2	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	0.794	
	10-15	20	0	1	1	0	0	94	24.41	0	0	186	0	0	0.397	
	15-18	10	0	1	1	0	0	94	56.15	0	0	186	245	0	1.678	
	18-20	10	0	1	1	0	0	94	85.74	0	0	186	222	0	2.177	
CODLAG	0-5	40	0	1	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	0.352	5,176
	5-10	20	0	2	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	0.704	
	10-15	20	0	1	1	0	0	94	29.39	0	0	186	299	0	1.035	
	15-18	10	0	1	1	0	0	94	67.6	0	0	186	235	0	1.591	
	18-20	10	0	2	1	0	0	94	100	0	0	186	217	0	2.397	
IFS	0-5	40	0	1	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	0.550	5,450
	5-10	20	0	1	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	0.550	
	10-15	20	0	2	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	1.099	
	15-18	10	0	3	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	1.649	
	18-20	10	0	4	0	0	0	94	0	0	0	186	0	0	2.199	

산출된 연료 소비량 Table 4.13과 같고 이 값은 최고속력, 소요전력, 배수량을 변화시켜 연료소비량을 계산할 때 기준이 되는 값으로 사용하였다.

Table 4.13 Fuel consumption of supposed vessels

Class & type	Total fuel consumption for year (ton)			
	Mechanical	CODLOG	CODLAG	IPS
LPH	15,267	18,234	20,404	23,576
DDH	28,233	28,681	31,572	44,885
FF	4,352	16,829	16,015	27,260
LST	1,924	2,398	2,931	3,849
AOE	3,278	4,563	5,176	5,450

4.4.2 동력 시스템의 최대속력 변화에 따른 연간 연료 소비량 산출

4.4.1 절의 Table 4.13을 기준으로 가상함정들의 최고 속력을 변화시켜 각 가상함정의 추진시스템 별 연료소비량을 Table 4.14와 같이 산출하였다. 속력 변화는 가상함정의 최고 속력을 기준으로 -4 노트에서 +4 노트로 하였다.

Table 4.14 Fuel consumption changes data according to change of max. speed

Change of max. speed (knots)		-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
LPH	CODAD (ton)	10,948	11,876	12,902	14,031	15,267	16,615	18,080	19,668	21,382
	CODLOG (ton)	10,953	12,529	14,277	16,181	18,234	20,510	23,345	27,683	35,716
	CODLAG (ton)	11,503	13,416	15,531	17,857	20,404	23,183	26,204	29,475	33,009
	IPS (ton)	13,291	15,502	17,945	20,633	23,576	26,787	30,277	34,057	38,140
DDH	COGAG (ton)	20,728	22,406	24,213	26,154	28,233	30,455	32,826	35,350	38,031
	CODLOG (ton)	18,670	20,909	23,319	25,908	28,681	31,646	34,808	38,175	41,751
	CODLAG (ton)	20,552	23,016	25,669	28,519	31,572	34,836	38,317	42,023	45,960
	IPS (ton)	29,218	32,721	36,493	40,544	44,885	49,524	54,473	59,741	65,339
FF	CODOG (ton)	3,511	3,699	3,901	4,119	4,352	4,601	4,867	5,149	5,450
	CODLOG (ton)	10,955	12,269	13,683	15,202	16,829	18,569	20,425	22,400	24,499
	CODLAG (ton)	10,425	11,675	13,021	14,466	16,015	17,670	19,436	21,316	23,313
	IPS (ton)	17,745	19,872	22,163	24,624	27,260	30,078	33,083	36,283	39,682
LST	CODAD (ton)	1,188	1,334	1,504	1,700	1,924	2,177	2,463	2,781	3,136
	CODLOG (ton)	1,012	1,286	1,606	1,976	2,398	2,876	3,414	4,015	4,683
	CODLAG (ton)	1,236	1,572	1,963	2,415	2,931	3,515	4,173	4,908	5,724
	IPS (ton)	1,624	2,064	2,578	3,171	3,849	4,617	5,480	6,445	7,517
AOE	CODAD (ton)	2,228	2,448	2,695	2,971	3,278	3,618	3,991	4,399	4,845
	CODLOG (ton)	2,336	2,802	3,326	3,912	4,563	5,282	6,073	6,940	7,885
	CODLAG (ton)	2,650	3,179	3,773	4,438	5,176	5,992	6,890	7,872	8,944
	IPS (ton)	2,790	3,347	3,973	4,673	5,450	6,309	7,254	8,288	9,417

Table 4.14 데이터를 도시화하면 Table 4.15와 같다.

Table 4.15 Fuel consumption changes according to change of max. speed

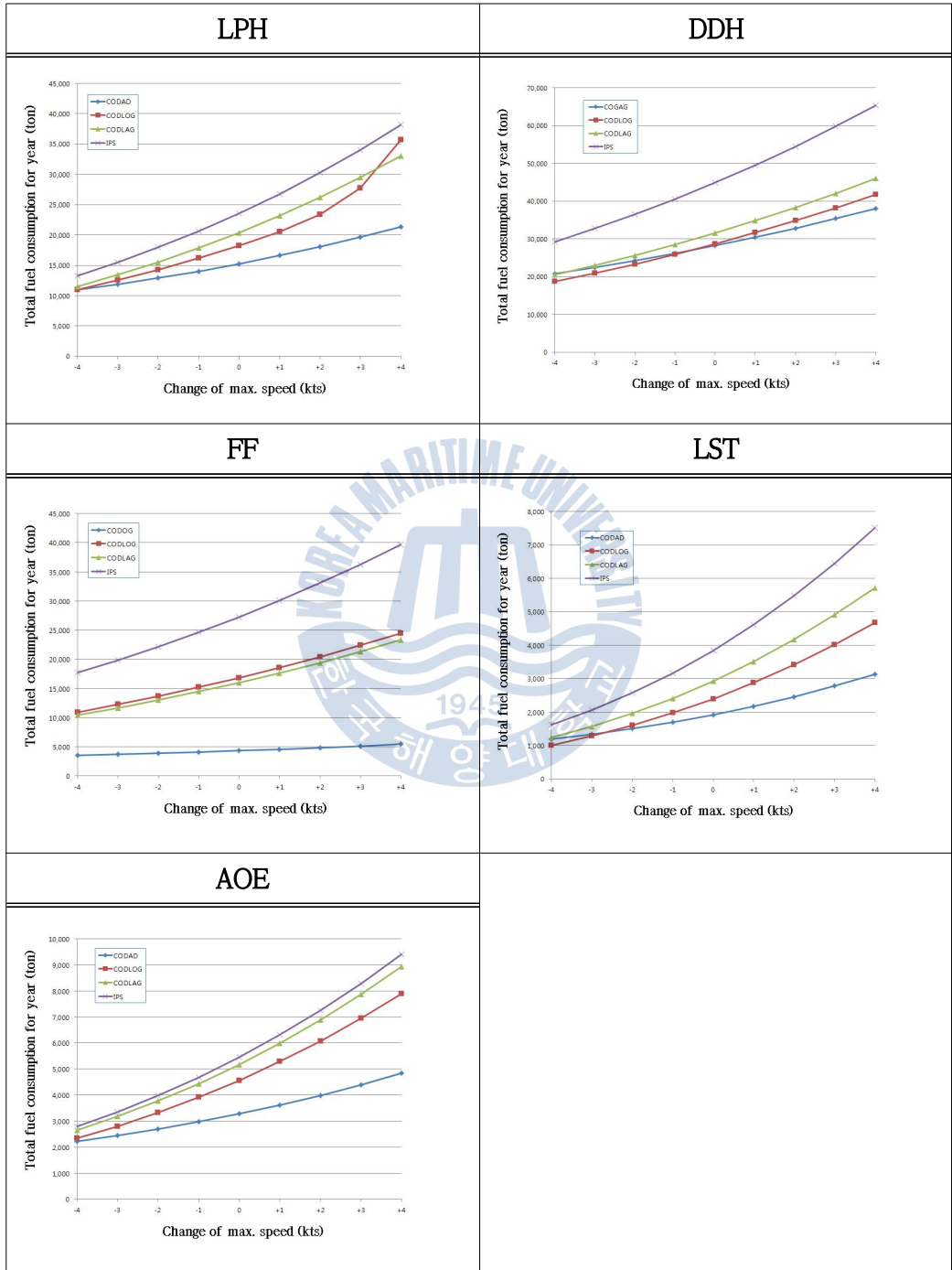
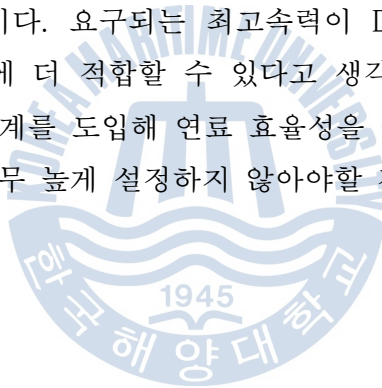


Table 4.15 그래프를 보면 최대 속력이 높아지면 그 만큼 필요한 추진력은 높아지고, 이에 따라 연료 소비량 늘어남을 확인할 수 있었다. 특히 속력비가 높으면 높을수록 추진마력이 급격하게 증가했고, 이에 따라 연료 소비량 역시 증가함을 확인할 수 있었다. 모든 함정이 최고 속력이 낮아져 추진마력이 감소하면 기계식 추진체계와 전기식 추진체계의 연료소비량의 차이가 줄어들음을 확인할 수 있었다.

엔진 출력의 50 % 만으로 최대 속력이 79.4 % 를 낼 수 있었고, 최대 속력을 10 % 줄이는 것만으로도 엔진 출력을 28.1 % 줄 일 수 있었다. 엔진 부하의 감소는 기계식 추진함정의 경우 연료 소비량 감소로 바로 이어지고, 전기 추진함정에서는 사용할 수 있는 여유 전력이 많아져, 가동하는 발전기가 줄이는 것을 의미한다. 그 만큼의 연료를 감소하는 효과를 얻을 수 있다.

지나치게 최고속력이 높을수록 전기식 추진체계의 효율은 기계식 추진체계의 효율보다 더 낮아질 것이다. 요구되는 최고속력이 DDH, FF 보다 낮은 LPH, AOE가 전기식 추진체계에 더 적합할 수 있다고 생각할 수 있다. 향후 대한민국 해군에 전기식 추진체계를 도입해 연료 효율성을 높이기 위해서는 DDH, FF 간은 경우 최고속력을 너무 높게 설정하지 않아야할 것이다.



4.4.3 동력 시스템의 소요전력 변화에 따른 연간 연료 소비량 산출

4.4.1 절의 Table 4.13을 기준으로 동력 시스템의 소요전력 변화에 따른 연간 연료 소비량을 Table 4.16과 같이 산출하였다.

Table 4.16 Fuel consumption changes data according to change of electric load

Change of electric load (%)		0	50	100	150	200	250	300	350	400
LPH	CODAD (ton)	15,267	17,950	20,634	23,318	26,001	28,685	31,368	34,052	36,736
	CODLOG (ton)	18,234	20,790	23,346	25,901	28,457	31,013	33,569	36,125	38,680
	CODLAG (ton)	20,404	22,960	25,516	28,072	30,628	33,184	35,739	38,295	40,851
	IPS (ton)	23,576	25,749	27,921	30,094	32,266	34,439	36,611	38,783	40,956
DDH	COGAG (ton)	28,233	31,599	34,965	38,331	41,696	45,062	48,428	51,794	55,160
	CODLOG (ton)	28,681	31,079	33,476	35,874	38,272	40,669	43,067	45,465	47,862
	CODLAG (ton)	31,572	33,970	36,368	38,765	41,163	43,560	45,958	48,356	50,753
	IPS (ton)	44,885	46,923	48,961	50,999	53,036	55,074	57,112	59,150	61,188
FF	CODOG (ton)	4,352	5,323	6,294	7,266	8,237	9,208	10,179	11,150	12,122
	CODLOG (ton)	16,829	17,852	18,874	19,896	20,919	21,941	22,963	23,986	25,008
	CODLAG (ton)	16,015	17,139	18,264	19,388	20,513	21,638	22,762	23,887	25,011
	IPS (ton)	27,260	28,129	28,998	29,867	30,736	31,605	32,474	33,343	34,212
LST	CODAD (ton)	1,924	2,249	2,575	2,901	3,227	3,553	3,879	4,205	4,531
	CODLOG (ton)	2,398	2,702	3,006	3,310	3,614	3,918	4,223	4,527	4,831
	CODLAG (ton)	2,931	3,235	3,539	3,843	4,147	4,451	4,756	5,060	5,364
	IPS (ton)	3,849	4,061	4,272	4,484	4,696	4,908	5,120	5,332	5,543
AOE	CODAD (ton)	3,278	3,842	4,405	4,968	5,532	6,095	6,658	7,222	7,785
	CODLOG (ton)	4,563	5,274	5,986	6,698	7,409	8,121	8,832	9,544	10,255
	CODLAG (ton)	5,176	5,947	6,718	7,489	8,260	9,030	9,801	10,572	11,343
	IPS (ton)	5,450	5,954	6,458	6,962	7,466	7,970	8,474	8,978	9,482

Table 4.16 데이터를 도시화하면 Table 4.17과 같다.

Table 4.17 Fuel consumption changes according to change of electric load

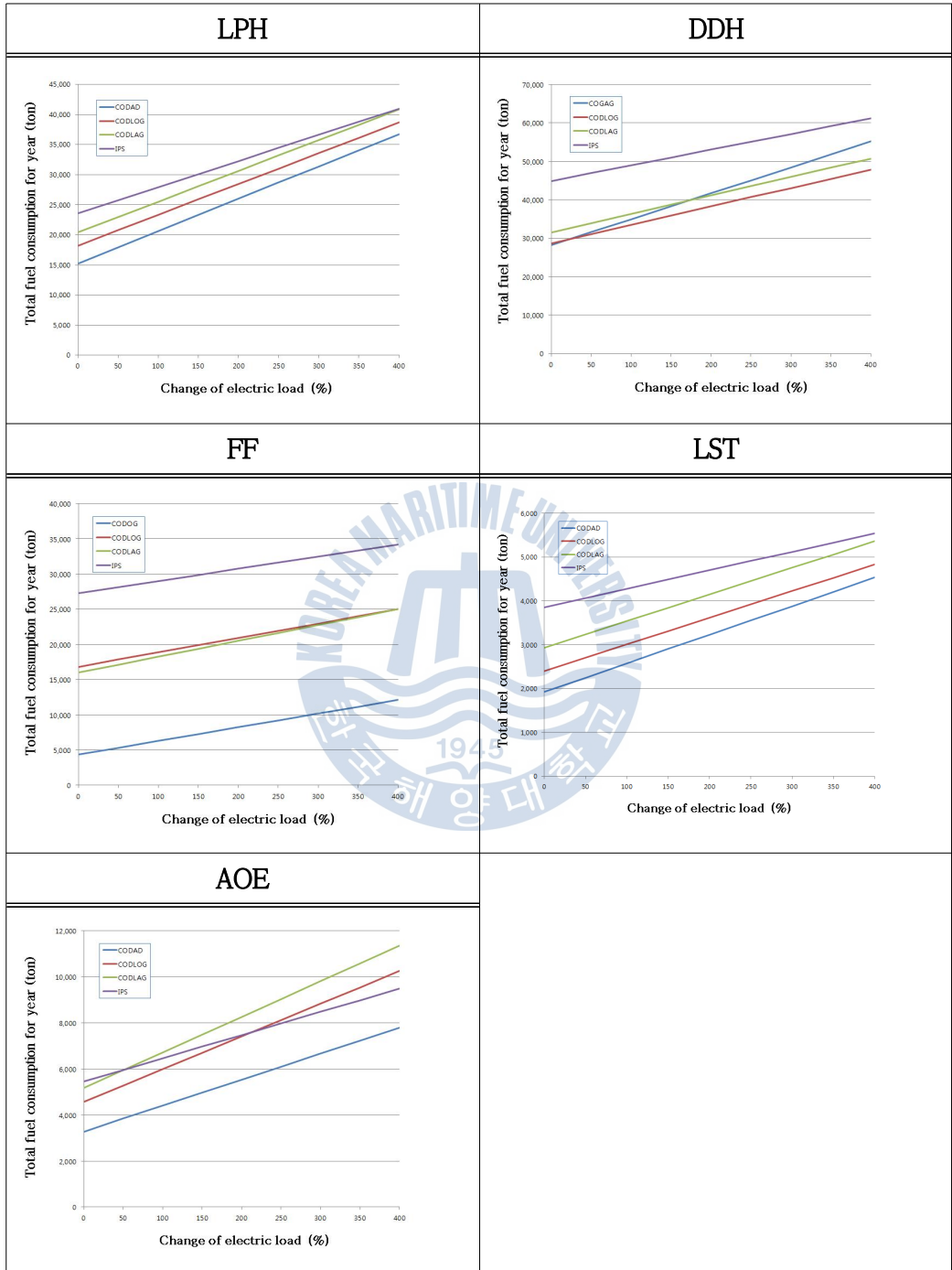


Table 4.17 그래프를 통해 모든 함정의 동력시스템이 소요 전력이 증가함에 따라 연료소비량은 증가함을 확인 할 수 있었다. 소요 전력이 증가함에 따른 IPS의 연간 연료소비량의 증가량이 다른 동력 시스템에 비해 적기 때문에 소요 전력이 어느 정도 증가하면 IPS의 연료소비량이 가장 적어졌다. IPS의 연료소비량이 다른 동력시스템의 연료소비량보다 적어 지는 시점이 가장 빠른 함정은 AOE였고, 가장 늦어지는 함정은 DDH와 FF였다. 이는 최고속력이 다른 함정들에 비해 높은 DDH, FF가 추진 마력대비 발전기 용량보다 작고, AOE가 다른 함정들에 비해 추진 마력대비 발전기 용량이 컸기 때문으로 판단된다.

추진마력 대비 발전기 용량이 크기 않다면 IPS나 전기 추진이 기계식 추진체계보다 연료소비량이 커져 효율이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 고전력을 필요로 하는 무기체계나 탐지체계가 탑재되지 않은 함정은 전기식 추진체계보다 기계식 추진체계가 더 효율적일 것이다.



4.4.4 동력 시스템의 배수량 변화에 따른 연간 연료 소비량 산출

4.4.1 절의 Table 4.13을 기준으로 동력 시스템의 소요전력 변화에 따른 연간 연료 소비량을 Table 4.18과 같이 산출하였다.

Table 4.18 Fuel consumption changes data according to change of displacement

Change of displacement (%)		-40	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30	+40
LPH	CODAD (ton)	12,593	13,290	13,963	14,619	15,267	15,912	16,560	17,213	17,876
	CODLOG (ton)	15,499	16,207	16,893	17,566	18,234	18,903	19,577	20,261	20,958
	CODLAG (ton)	14,650	16,166	17,621	19,030	20,404	21,754	23,087	24,407	25,721
	IPS (ton)	17,129	18,798	20,415	22,002	23,576	25,153	26,743	28,356	29,999
DDH	COGAG (ton)	23,505	24,815	26,034	27,169	28,233	29,248	30,248	31,275	32,385
	CODLOG (ton)	24,534	25,608	26,648	27,668	28,681	29,696	30,718	31,756	32,812
	CODLAG (ton)	23,951	25,968	27,884	29,737	31,572	33,447	35,431	37,609	40,075
	IPS (ton)	32,609	35,788	38,866	41,887	44,885	47,886	50,914	53,984	57,112
FF	CODOG (ton)	3,700	3,871	4,035	4,195	4,352	4,508	4,663	4,820	4,978
	CODLOG (ton)	12,687	13,787	14,837	15,849	16,829	17,786	18,729	19,669	20,618
	CODLAG (ton)	11,510	12,695	13,833	14,936	16,015	17,075	18,124	19,165	20,204
	IPS (ton)	19,805	21,735	23,604	25,439	27,260	29,083	30,922	32,786	34,686
LST	CODAD (ton)	1,588	1,679	1,765	1,846	1,924	1,998	2,071	2,141	2,209
	CODLOG (ton)	1,781	1,941	2,096	2,248	2,398	2,547	2,696	2,845	2,995
	CODLAG (ton)	2,106	2,323	2,531	2,733	2,931	3,125	3,317	3,507	3,697
	IPS (ton)	2,796	3,069	3,333	3,592	3,849	4,106	4,366	4,629	4,897
AOE	CODAD (ton)	2,695	2,848	2,996	3,138	3,278	3,417	3,554	3,692	3,830
	CODLOG (ton)	3,397	3,705	4,000	4,284	4,563	4,840	5,121	5,412	5,721
	CODLAG (ton)	3,723	4,105	4,472	4,828	5,176	5,519	5,859	6,197	6,534
	IPS (ton)	3,959	4,345	4,719	5,086	5,450	5,814	6,182	6,555	6,934

Table 4.18 데이터를 도시화하면 Table 4.19와 같다.

Table 4.19 Fuel consumption changes according to change of displacement

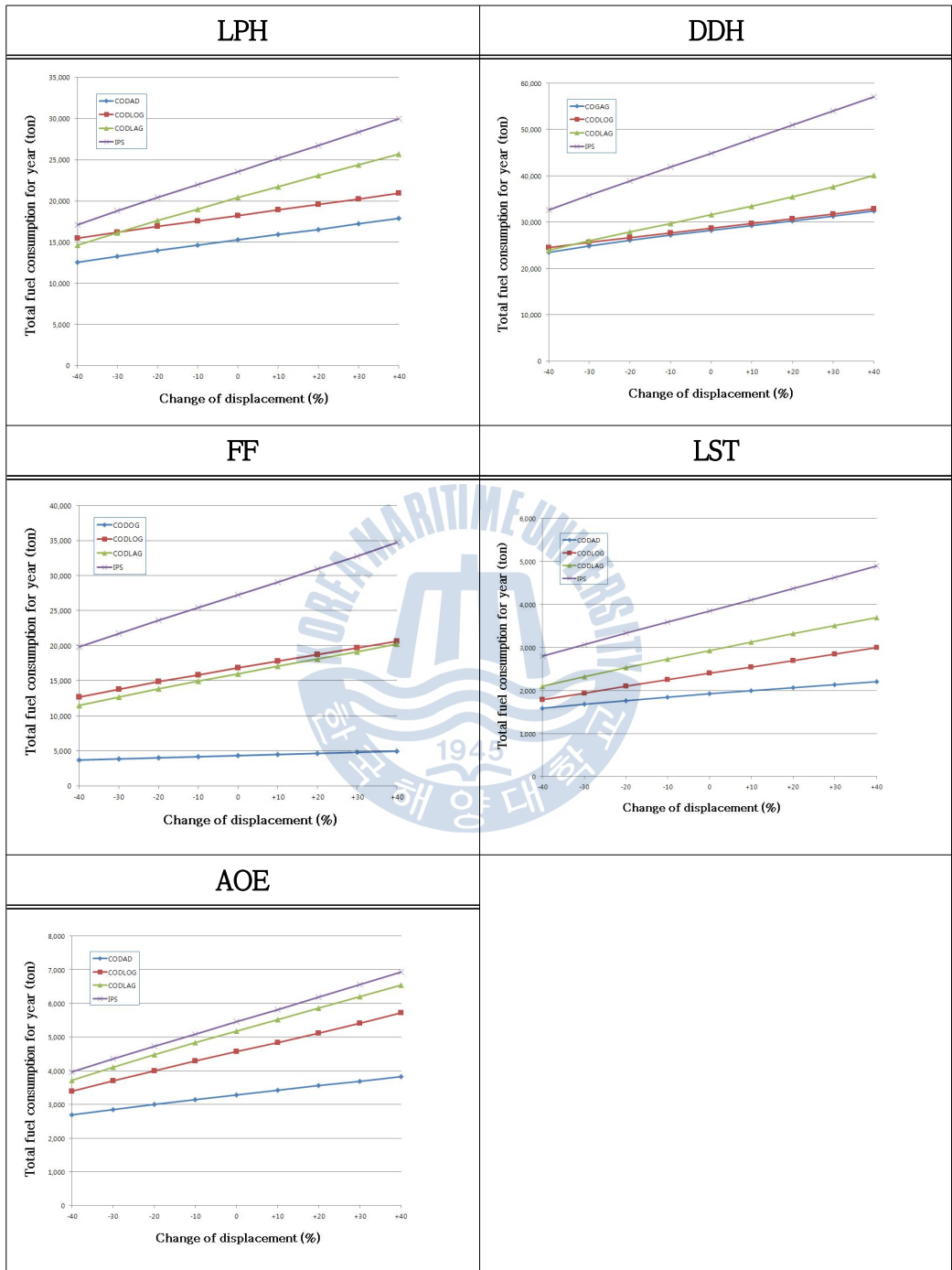


Table 4.19 그래프를 통해 배수량이 증가함에 따라 모든 동력 시스템의 연료 소비량은 증가했다. 하지만 최고속력의 증가에 따른 연료소비량의 증가에는 그 증가량이 미치지 못했다. 이는 **Fig. 3.3**의 프로펠러 법칙에서 추진마력은 속력의 3제곱에 비례해서 변하지만, **Fig. 4.2**에서 볼 수 있듯이 추진마력이 배수량의 2/3제곱에 비례해서 변하기 때문이다. 배수량의 변화에 따른 연료소비량의 변화율이 가장 큰 동력시스템은 IPS였다. 일정부분 배수량이 감소한다면 IPS의 연료소비량의 가장 적어 질 것으로 예상된다.

최고속력 변화에 비해 배수량의 변화가 연료소비량에 미치는 영향은 적으나, 전기식 추진체계를 도입해야한다면 대형함정 보다는 소형함정이 그 효율성이 더 커질 것이다. 하지만, 전기추진시스템을 도입하게 된다면 기계식 추진체계에 비해 배수량이 증가하게 되고, 소형함정일수록 전기추진체제로 인한 배수량 증가가 전체 배수량 증가에 미치는 영향을 더 커질 것으로 예상된다.



4.5 발전용량 대 추진마력에 따른 연료 소비량 비교

Fig. 4.3에서 확인할 수 있듯이 설정한 가상함정 모두 기존의 기계식 추진체계의 연간 연료 소비량이 가장 적었다. 이를 통해 Table 4.6에서 언급한 프로펠러 곡선과의 간격이 가까울수록 효율이 높아진다는 사실을 다시 한 번 확인할 수 있었다.

가상함정 DDH, FF, LST 는 가상함정 AOE, LPH 비해 각 추진 시스템 간 연료소비량의 차이가 많이 발생했다. DDH, FF, LST 의 추진마력 대 발전기 용량 비가 14 % 미만 이었고 AOE, LPH 는 24 % 이상 이었다. 추진마력 대 발전기 용량 비가 클수록 전기 추진 시스템의 효율이 증가하는 것으로 보인다. 최고 속력이 높은 함정 일수록 전기추진 시스템의 효율이 떨어질 것으로 예상된다. 또한 다른 함정들은 IPS가 연료 소비량이 가장 많았지만 AOE의 경우는 IPS가 CODLAG에 비해 연료 소비량이 적었다. 여러 대의 발전기 이용하여 효율을 높인다면 AOE와 같은 군수지원함이 위 가상 함정들 중 통합전기추진방식에 가장 적합한 함정으로 판단된다.

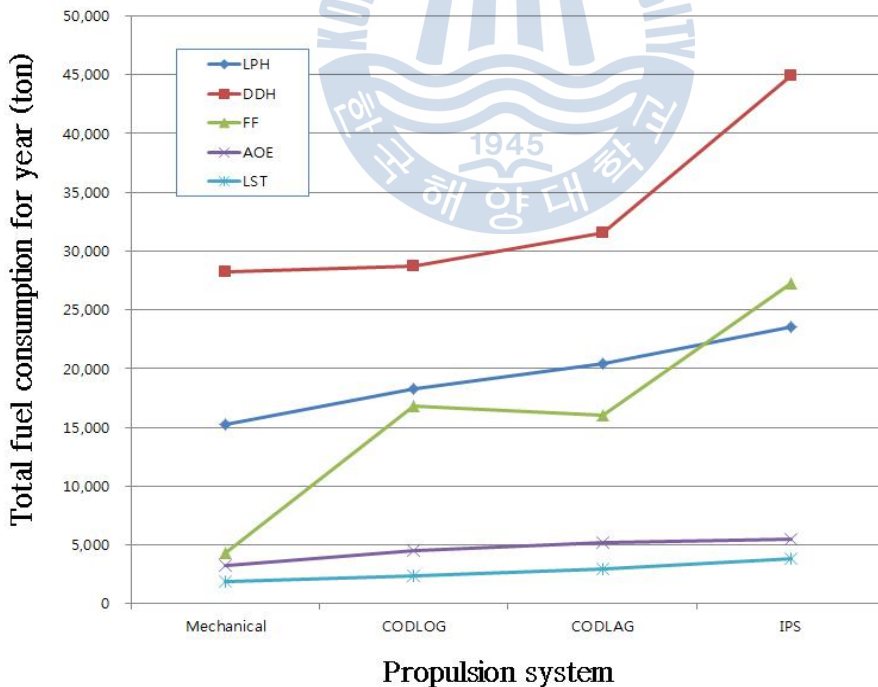


Fig. 4.3 Total fuel consumption for year by Propulsion system

4.6 함정별 최적 동력 시스템 제안

Table 4.8에서 확인할 수 있듯이 설정한 가상함정 모두 기존의 기계식 추진 체계의 연간 연료 소비량이 전기식 추진체계에 비해서 가장 적었다. 향후 대한민국의 해군에서 건조할 함정은 최초 설정한 가상함정의 최고속력, 소요전력, 배수량이 변화될 것이다. Table 4.20은 미래의 상황에 맞게 건조될 함정들의 최고속력, 배수량, 소요전력을 수정한 것이다. 레이저를 이용한 근접무기방어체계(CIWS, Close-In Weapons System), 위상배열 레이더와 같은 고전력을 필요로 하는 무기체계와 탐지체계 도입을 고려해 최초 가상함정 대비 소요전력은 200%, 증가시켰고, 늘어난 장비에 따라 배수량은 1% 증가시켰다. 또한 유도탄을 이용한 원거리 전투가 미래해전의 주류를 이룰 것을 고려해 최고속력은 10% 감소 시켰다.

Table 4.20 Specification of modified supposed vessels

Class & type		Max Speed (knots)	Capacity of generator (kW)	Displacement (ton)
LPH	initial value	23	10,000	18,000
	modified value	20.7	30,000	18,180
DDH	initial value	30	9,381	11,000
	modified value	27	28143	11110
FF	initial value	30	4,000	3,500
	modified value	27	12,000	3,535
LST	initial value	16	1,275	4,300
	modified value	14.4	3,825	4,343
AOE	initial value	20	2,320	9,000
	modified value	18	6,960	9,090

Table 4.20의 수정된 최고속력, 소요전력, 배수량을 적용하여 각 함정의 추진 시스템별 연간 연료소비량을 Table 4.21과 같이 계산하였다.

Table 4.21의 연간 연료소비량에서 확인할 수 있듯이 모든 수정된 가상함정에서도 기계식 추진체계의 연료소비량이 가장 적었다. 전기식 추진체계의 연료소비량만 비교했을 때는 LPH, DDH, LST는 CODLOG가 연료소비량이 가장 적었고, FF의 경우 CODLAG가 AOE는 IPS가 연료소비량이 가장 적었다.

향후 건조될 함정에 전기식 추진체계를 도입해야 한다면 LPH, DDH, LST는 CODLOG, FF의 경우 CODLAG가 AOE는 IPS를 제안한다.

Table 4.21 Fuel consumption of modified supposed vessels

Class & type	Total fuel consumption for year (ton)			
	Mechanical	CODLOG	CODLAG	IPS
LPH	23,366	24,007	25,197	25,992
DDH	25,945	30,573	32,741	41,091
FF	7,595	16,428	16,251	23,481
LST	2,888	2,975	3,367	3,672
AOE	4,959	6,193	6,882	6,015

제 5 장 결 론

본 논문은 기존에 해군에서 운용 중인 함정 중 대형수송함(LPH), 구축함(DDH), 호위함(FF), 상륙함(LST), 군수지원함(AOE)을 기준으로 가상함정을 설정하여 기존에 사용하던 기계식 추진시스템과 전기추진시스템을 이용하는 복합식 추진시스템, 통합전기추진시스템 중 어떤 추진 시스템이 효율성이 뛰어난지 비교하였다. 계산한 연료소비량을 기준으로 함정의 최고속력, 소요전력, 배수량을 변화시켜 연료소비량의 변화를 확인하였다. 향후 대한민국 해군에서 건조할 함정을 고려해 가상함정의 최고속력, 소요전력, 배수량이 변화시켜 최적의 추진시스템을 제안하였다.

본 논문의 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 함정의 최고 속력이 높을수록 함정 기동에 필요한 추진마력은 급격하게 증가한다. 함정의 최고 속력이 높을수록 기계식 추진체계의 효율이 전기식 추진체계의 효율보다 높아진다.
2. 소요 전력이 증가한다면 IPS의 효율이 다른 추진체계의 효율보다 높아짐을 확인했다. 소요 전력이 추진마력에 비해 작다면 기계식 추진체계의 효율이 전기식 추진체계의 효율보다 높아짐을 확인했다.
3. 배수량이 작을수록 기계식 추진체계보다 전기식 추진체계의 효율이 높아진다. 전기식 추진체계를 도입해야한다면 대형함정보다 소형함정이 효율이 더 높아짐을 확인했다. 하지만 소형함정일수록 전기식추진체계 적용에 따른 배수량 증가가 전체 배수량 증가량에 미치는 영향이 더 커져 무기체계와 탐지체계 선택의 제약이 예상된다.
4. 연료소비량만 고려하여 전기식 추진 체계를 도입해야한다면, LPH, DDH, LST는 CODLOG, FF는 CODLAG, AOE는 IPS가 가장 효율적인 추진시스템일 것

이다.

각국의 해군이 전기추진함정을 건조 중이고, 대한민국도 이에 동참하고 있다. 전기추진함정의 효율성을 고려한다면 대형 전투함과 같은 고속함정뿐만 아니라 상대적으로 최고속력이 낮은 군수지원함이나 대형 상륙함에 전기추진 시스템을 적용할 수 있게 많은 연구가 필요할 것으로 보인다.



참고문헌

- [1] 백현민, 「함정의 통합 동력 시스템 구성에 관한 연구」, 한국해양대학교 대학원 석사논문,2013.
- [2] CDr. C.G Hodge and CDr. D.J Mattick, 「The Electric Warship」, Trans IMarE, Vol. 106, Part 2, pp. 109-125.1995.
- [3] Hodge, C. G. and D. J. Mattick, 「The electric warship then, now and later」, Proc. INEC 8.,2008
- [4] 김소연, 설승기, 「Integrated Power System of High Speed Destroyer for Increased Fuel-efficiency and Power-reliability」, 2012.
- [5] WIKIPEDIA, List of naval ship classes in service, https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_naval_ship_classes_in_service Accessed NOV. 2014.
- [6] 대한민국해군, 군사자료실, <http://www.navy.mil.kr/html/web1/001006003001.html> Accessed NOV. 2014.
- [7] 이형민, 조병진, 「고출력 에너지 사용 체계 플랫폼 실현을 위한 해군함정의 통합 동력 시스템 발전 경향 분석」, 한국마린엔지니어링학회지 제35권 제6호 pp. 796~801,2011.9
- [8] 길병래, 김정렬, 전효중, 조권희, 이돈출, 「軸系裝置와 프로펠러」, 대진문화사, pp.173~177, 2006.

[9] 송강섭, 「조선공학」, 부산, pp. 293 , 1978.

[10] 조권희, 이상일, 이상득, 이명호, 박고룡, 문장, 「전용선론」, 다솜출판사, 2014.

[11] MAN B&W, 「Diesel-electric Propulsion Plants」, Diesel Electric Propulsion Plants Engineering Guideline, p.4, 2012.

