Journal of the KIMST, Vol. 17, No. 6, pp. 868-876, 2014
ISSN 1598-9127
DOI http://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2014.17.6.868

Research Paper | 추진 부문

이지스 구축함용 HED 시스템에 관한 연구

정성영[1] · 오진석[*,2]

[1] 한국해양대학교 메카트로닉스
[2] 한국해양대학교 기관공학부

A Study on Hybrid Electric Drive System for the AEGIS Destroyer

Sung Young Jung[1] · Jin Seok Oh[*,2]

[1] *Mechatronics, Korea Maritime & Ocean University, Korea*
[2] *School of Marine System Engineering, Korea Maritime & Ocean University, Korea*

(Received 22 March 2014 / Revised 20 September 2014 / Accepted 7 November 2014)

ABSTRACT

Arleigh Burke(DDG-51) and Sejong warship are AEGIS destroyer of US Navy and Korea Navy. These are designed to make more than 30knots by applying a COGAG(COmbined Gas turbine And Gas turbine) system. However, the gas turbine(LM2500) in this system has a low SFC (Specific Fuel Consumption) when the warship operated low speed. So, many kinds of companies are researching the HED(Hybrid Electric Drive) system to improve this problem. The purpose of this paper is to analyze the HED system and simulate by Sejong warship data. Serveral methods were used for that purpose. More specifically, the equipment modeling are employed for regression analysis by LabVIEW. As a result, it was found that the warship installed HED system could cut their fuel bills by as much as about 80,000,000won per year.

Key Words : HED(복합 추진 체계), AEGIS(이지스 방어체계), Propulsion Motor(추진전동기), Regenerative Brake(회생제동), Naval Ship(군함)

1. 서 론

최근 해양 전장 환경의 디지털화, 함정의 다목적화, 생존성 극대화 등 군사과학 기술이 발달함에 따라 함정에 설치되는 추진체계, 무기, 전투체계 등 다양한 장비들이 개발되고 있다. 일반적으로 해군 함정 획득 및 전투력 향상에 가장 중요한 요소는 첨단 고정밀 무기체계이지만, 최근 선진해군의 경우 국방예산 감축에 따라 함정 운용비 절감과 고성능 전투체계를 운용하기 위한 추가 전력량 확보가 중요한 요소로 대두되고 있다. 특히, 최근 급격한 유가 상승으로 인해 일부

* Corresponding author, E-mail: ojs@kmou.ac.kr
Copyright ⓒ The Korea Institute of Military Science and Technology

국가에서는 예정된 전투력 향상 훈련을 조정하는 등의 문제점이 발생하고 있다.

미 해군의 경우 전체 연료 소모량중 함정에서 약 40%를 소모하기 때문에, 함정의 운용비용을 감소시키기 위한 다양한 관점에서 연구가 수행되고 있다. 특히, 이지스 시스템이 설치된 DDG-51급 이지스 구축함의 연료 소모량은 함정 전체 연료 소모량의 약 40%로 타 함정에 비해 매우 많은 연료를 소모하고 있기 때문에, DDG-51급 이지스 구축함에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

다음 Fig. 1은 NAVSEA(Naval Sea Systems Command)에서 발표한 2020년까지 해상 연료 절감 계획안이며, Fig. 2는 미 해군 함정의 연료 소모량을 나타내고 있다[1].

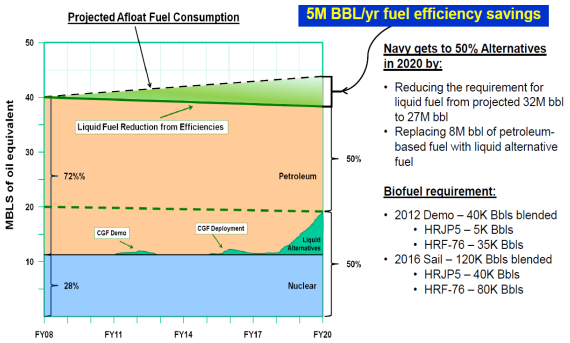

Fig. 1. The plan of saving fuel oil in the sea

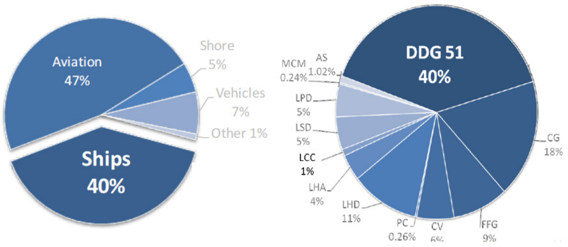

Fig. 2. The fuel consumption of warship in US

Fig. 1에 따르면, 2008년 기준 전체 에너지의 28%는 원자력에서 충당하고 나머지 72%는 화석연료를 이용하여 공급하고 있으며 이때 화석연료는 연간 약 32만 배럴을 소모한다. 그러나, 2020년에는 대체 연료와 원자력 에너지에서 50%를 공급하고, 연료 효율 상향을 위한 연구를 통하여 2008년 연간 32만 배럴에서 연간 27만 배럴로 5만 배럴을 줄이는 것을 목표로 하고 있다.

미 해군에서는 DDG-51급 이지스 구축함의 연료 효율 향상을 위해 선체 형상 개선, 프로펠러 효율 향상, 추진 시스템 개량 등 다양한 연구를 수행하고 있으며, 한국 해군에서도 이와 같은 문제에 대해 적극적으로 검토하고 있다.

본 논문에서는 미 해군에서 연구 개발중인 하이브리드 전기추진 시스템(이하 HED 시스템)에 대한 연구를 수행하였다. HED 시스템은 기존의 COGAG(Combined Gas Turbine and Gas Turbine) 추진체계의 단점인 저속, 저부하 구간에서의 연료 효율을 개선하기 위해 EM(Electric Machine)과 인버터를 이용하여 저속에서는 EM을 전동기로 이용하여 추진하고, 고속에서는 발전기로 활용하는 시스템으로써 연료 절감 효과와 가스터빈의 운전시간 감소, 추가 전력량 확보 등 다양한 장점을 가지고 있다.

특히, 미국에서 개발중인 이지스 구축함용 HED 시스템은 기존의 COGAG 추진체계에 EM을 추가하는 방법으로 구성되기 때문에, 개조 및 신조시 설치 기간과 비용이 적게 든다는 장점이 있다.

현재 한국 해군은 세종대왕함 등 3척의 이지스 구축함(COGAG 추진체계)을 보유하고 있으며, 최근 해군에서 이지스 구축함 추가 건조 대한 소요 제기를 함에 따라 2020년 이후에는 이지스 구축함을 추가 보유할 것으로 예상된다. 이에 따라 기존의 이지스 구축함 및 의 신조함에 HED 시스템을 적용하는 방안에 대한 연구가 진행되어야 한다.

본 논문에서는 현재 미국에서 연구 개발중인 HED 시스템에 대한 조사 및 분석을 수행하고, 한국 해군의 이지스 구축함 운용 특성 및 제원을 분석하여 한국 해군 이지스 구축함에 적합한 HED 시스템 최적 구성 방안을 제안하였다.

2. 본 론

2.1 이지스 구축함 추진체계

1991년부터 미 해군에서 운용중인 DDG-51급 이지스 구축함은 3차원 위상 배열 레이더인 SPY-1D 다기능 위상배열 레이더와 SM-2 유도탄을 이용하여 이지스 시스템을 구축하였으며, 건조 방법 및 구조에 따라 Flight I, II, IIA으로 나뉜다. 다음 Table 1은 Flight I, II, IIA급에 따른 DDG-51급 함정의 특징을 정리한 것이다.

Table 1. DDG-51 ships specification by flight

	만재배수량	추진체계	승조원	대상함정
Flight I	8,422t	LM2500 4기	346명	DDG-51∼71
Flight II	9,033t		346명	DDG-72∼78
Flight IIA	9,217t		366명	DDG-79∼118

이지스 구축함의 추진체계는 GE사의 LM2500 가스터빈 4대를 이용한 COGAG(COmbined Gas turbine And Gas turbine)으로 구성되어 있으며, 발전기는 Rolls-royce사의 AG9140 3대가 설치되어 전투체계 및 보조기기 전력 공급을 수행한다.

다음 Fig. 3은 이지스 구축함의 추진체계를 나타낸 것이며, Table 2는 이지스 구축함의 주요 장비 특성을 나타낸 것이다[2].

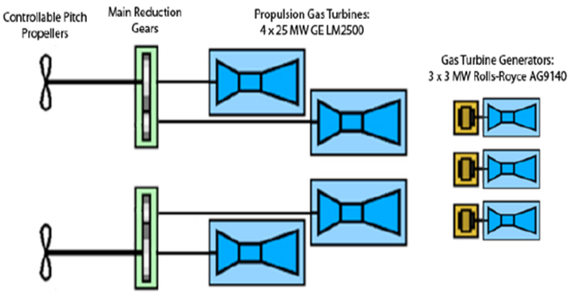

Fig. 3. The propulsion system of AEGIS

Table 2. AEGIS destroyer specification

No.	Name	Value
1	Maximum Ship Speed	31.4 knots
2	Maximum Shaft Speed	168 RPM
3	MRG Ratio	21.1765:1
4	Gas Turbine RPM	3600 RPM
5	Gas Turbine Power	25MW
6	Propeller	CPP(5 Blade)
7	SSS Clutch	Yes

이지스 구축함은 함속과 작전상황에 따라 Trail shaft mode, Split plant mode, Full power mode 3가지 상태로 추진기관을 제어한다.

1) Trail shaft mode : 21knots까지 사용하며, 가스터빈 4대중 1대만 이용하여 운항하는 모드
2) Split plant mode : 24knots까지 사용하며, 양 축에 가스터빈 하나씩 총 2대를 이용하여 운항하는 모드
3) Full power mode : 30knots 이상 사용하며, 가스터빈 4대를 모두 이용하여 운항하는 모드

일반적인 경우, 연료 소모량을 최소화하기 위해 21knots까지 Trail shaft mode, 24knots까지 Split plant mode, 30knots 이상 Full power mode로 가스터빈을 운용하지만, 해상상황, 작전상황, 해상보급 등 외부 환경에 따라 적절하게 운용한다.

다음 Fig. 4는 미국의 DDG-51의 운항 프로파일을 나타내고 있다[3].

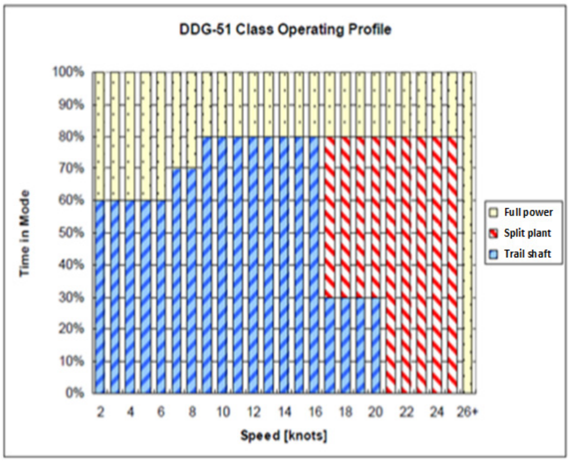

Fig. 4. DDG-51 operating profile

한국 해군의 이지스 구축함인 세종대왕함 등은 Flight IIA를 기반으로 한국 해군에 적합하게 개량되었으며, 추진체계 및 발전기는 동일하다.

2.2 COGAG의 특성

이지스 구축함은 추진 및 전력 생산을 위하여 높은 출력과 진동 소음이 적은 특성을 가진 LM2500과 AG9140을 사용한다.

LM2500과 AG9140은 각각 함정용 가스터빈 엔진과 가스터빈 발전기로써 이지스 구축함에 필요한 기동성 및 높은 출력을 제공하지만, 출력이 낮은 구간에서 연료 효율이 매우 떨어지는 단점을 가진다. 다음 Fig. 5와 6은 가스터빈의 연료 효율 곡선을 나타낸다[3].

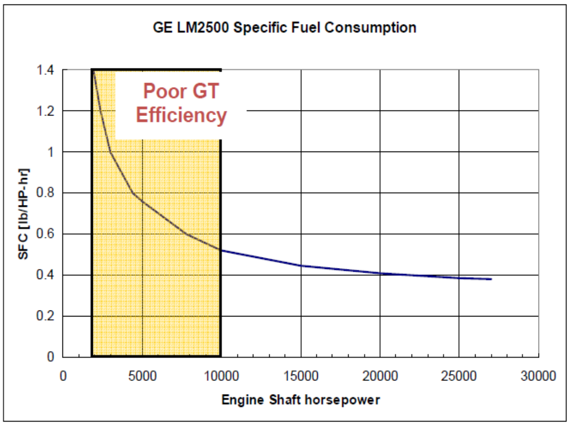

Fig. 5. LM2500 fuel efficiency curve

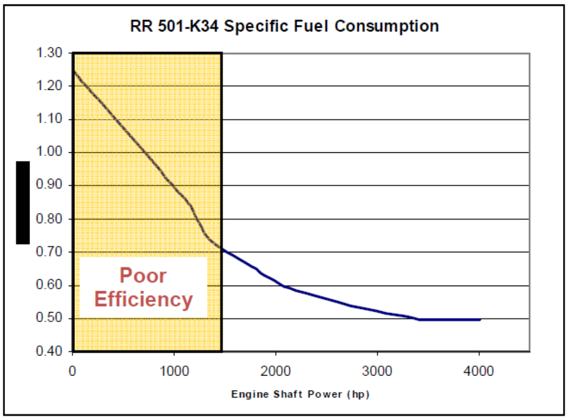

Fig. 6. AG9140(RR 501-K34) fuel efficiency curve

LM2500는 25,000HP에서 SFC는 약 0.39bl/HP·hr임에 비해 5,000HP에서 SFC는 0.75bl/HP·hr로 약 2배 정도 연료 효율이 낮아짐을 확인할 수 있다.

이와 같은 문제를 해결하기 위하여 함정에서는 Trail Shaft, Split plant, Full power mode를 이용하여 LM2500의 부하율을 높임으로써 연료 효율을 향상시킨다. 다음 Fig. 7은 미 해군 이지스 구축함의 운용 모드에 따른 연료 소모량을 나타내고 있다.

Fig. 7을 보면 전반적으로 Trail shaft mode가 Split plant, Full power mode에 비해 연료 소모량이 낮게 나타나지만, 0~12knots의 저속구간에서의 연료 소모량은 타 구간에 비해 높이 나타난다. 이것은 저속에서의 함 추진 요구 추력이 매우 낮기 때문에 나타나는 현상으로써, 운용 모드 전환으로는 해결할 수 없다.

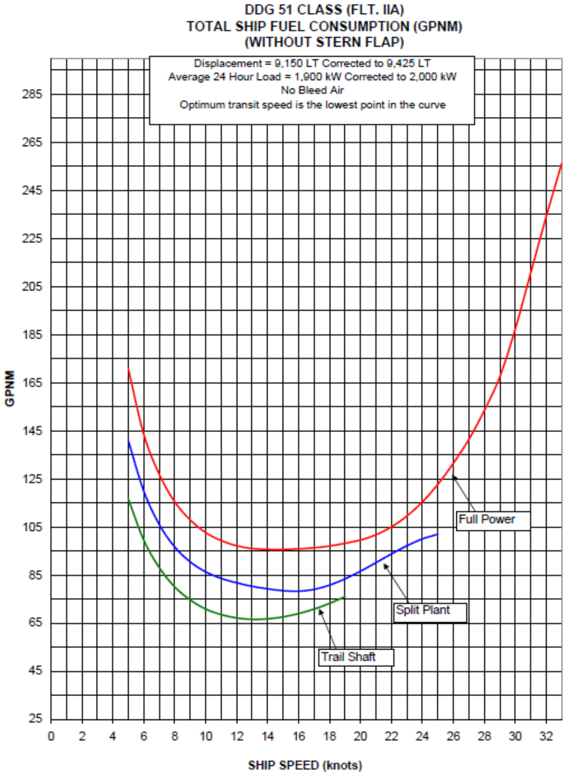

Fig. 7. The fuel consumption of operation mode

2.3 HED 시스템 구성

Fig. 7의 저속 구간(0~12knots)의 연료 효율 저하 문제를 해결하기 위해 미 해군은 HED 시스템을 연구 개발중에 있다. 다음 Fig. 8과 9는 HED 시스템의 개념도와 감속기어에 설치된 HED 시스템을 나타내고 있다[4,5].

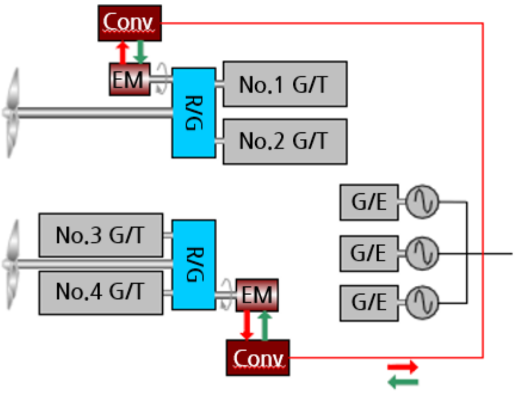

Fig. 8. The concept of HED system(1)

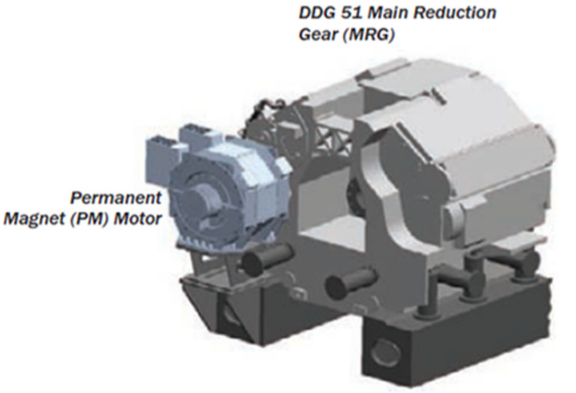

Fig. 9. The concept of HED system(2)

HED 시스템은 감속기어에 EM(Electric Machine)과 Converter를 설치하여 저속에서는 EM에 전력을 공급하여 전동기로 동작하게 함으로써 추진 동력을 확보하고, 고속에서는 EM을 발전기로 동작하게 함으로써 가스터빈의 부하를 높인다. EM을 전동기로만 사용하는 운용 모드를 Motoring mode라고 하고, EM을 전동기, 발전기로 모두 사용하는 운용 모드를 Motoring-Generating mode라 한다. HED 시스템은 필요에 따라 Motoring mode와 Motoring-Generating mode를 적절히 활용하여 가스터빈의 연료 효율을 향상시킨다.

2.4 미 해군 HED 시스템 시뮬레이션

미 해군의 HED 시스템 시뮬레이션을 위해서는 이지스 구축함의 상황에 따른 추진기관 운용 모드와 함속에 따른 운용 모드 사용 빈도를 나타내는 운용 프로파일에 대한 자료가 필요하다. 이지스 구축함의 운용 프로파일은 Fig. 4에서 나타나고 있으며, 미 해군의 이지스 구축함 운용 모드는 Fig. 10과 같다.

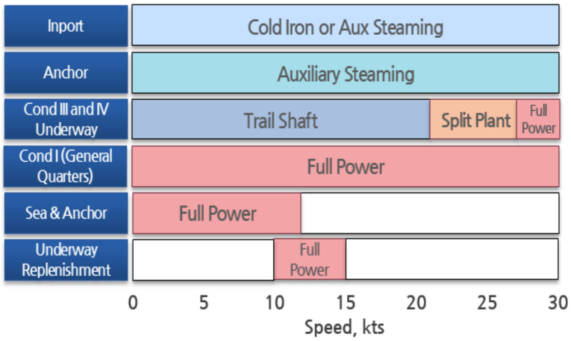

Fig. 10. The operation mode of AEGIS(NOT HED)

평시(Cond Ⅲ, Ⅳ, Underway)시 연료 효율을 높이기 위해 함속에 따라 Trail shaft(0~21knots), Split plant (0~27knots), Full power(0~30knots 이상) mode로 운용하며, 함속 10knots 이하에서는 CPP의 Pitch를 이용하여 함속을 제어한다.

다음 Fig. 11은 HED 시스템을 적용한 이지스 구축함의 운용모드이다.

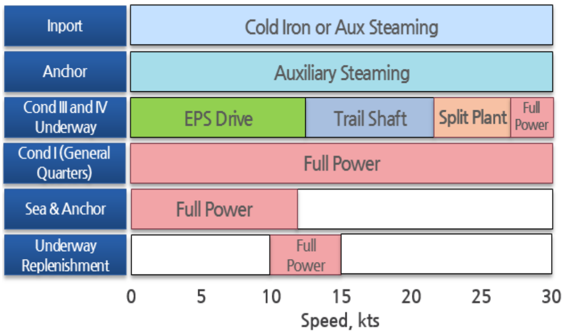

Fig. 11. The operation mode of AEGIS(HED)

Fig. 10과 비교해보면, 평시(Cond Ⅲ, Ⅳ, Underway)에 EPS(Electric Propulsion System) Drive가 0~12knots까지 적용되었음을 확인할 수 있다. 이때 EPS Drive 사용 가능 구간은 발전기의 여유 전력량에 따라 결정한 것으로 예상된다.

미국 DRS사의 Gene Castles와 Ashinsh Bendre는 Fig. 11의 이지스 구축함 운용 모드와 HED 시스템의 운용 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 다음 Fig. 12, 13은 Motoring mode와 Motoring-Generating mode에서의 연료소모량을 나타낸다.

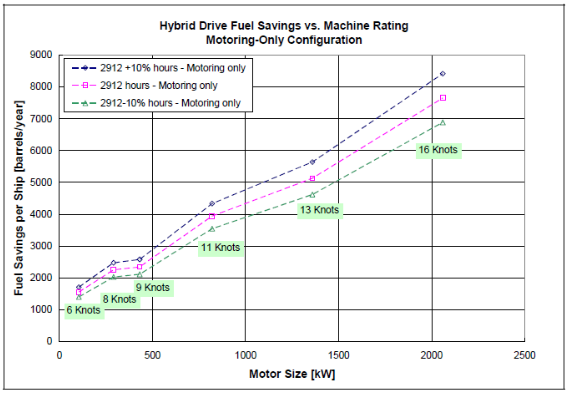

Fig. 12. HED system fuel consumption(Motoring mode)

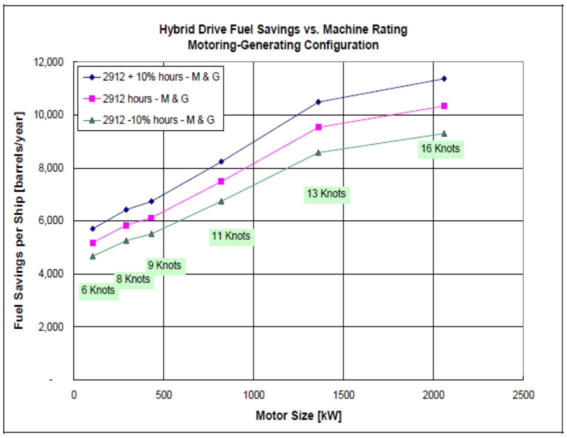

Fig. 13. HED system fuel consumption(Motoring-Generating mode)

위 시뮬레이션은 함정이 일년 평균 2,912시간동안 추진장비를 사용하였다고 가정하였으며, 시뮬레이션 결과 Motoring mode일 경우, 1년에 4,800배럴, Motoring-Generating mode일 경우 8,900배럴의 연료를 절감할 수 있음을 확인하였다[3].

2.5 HED 시스템 설치에 대한 분석

현재 미 해군에서 개발중인 HED 시스템은 이지스 구축함 개조하는 방안까지 고려가 되어야 하기 때문에, 감속기어 내부 회전축에 설치하는 방법을 제안하고 있다. 내부 회전축에 설치하는 방법은 1) Turning gear를 대체, 2) High speed shaft에 설치, 3) Intermediate speed shaft에 설치로 나눠게 된다[5,6].

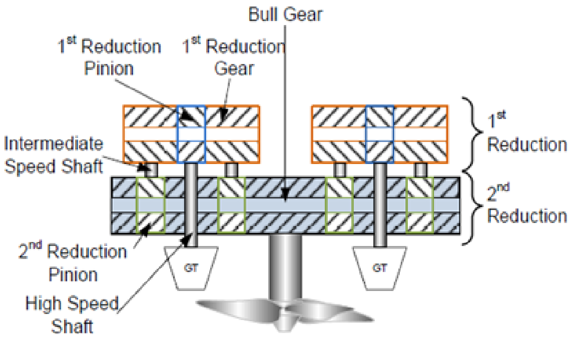

Fig 14 The concept of reduction gear

우선 Turning gear의 기능을 EM에서 대체하여 설치 공간을 확보하는 방안에 대하여 검토 결과, 함정은 일반 상선과 다르게 경제 모드시 Turning gear가 축 회전을 고정하는 기능과, 정비시 저속으로 회전하는 기능 등 다양한 역할을 수행하기 때문에 설치가 어려울 것으로 판단된다. High speed shaft에 설치하는 경우, 회전 속도가 빠르기 때문에, 같은 용량의 EM을 설치하더라도 크기를 줄일 수 있다는 장점이 있으나, 고속의 RPM으로부터 EM을 보호하기 위한 별도의 구성이 필요하다. Intermediate speed shaft에 설치시 EM과 Shaft간 연결되는 커플링만 변경하면 가능하기 때문에 설치 및 정비가 용의하다는 장점이 있다.

3. 한국 해군 HED 시스템 적용을 위한 검토

HED 시스템 효율성을 분석하기 위해서는 1) 운용 모드 및 함속에 따른 소요마력 분석, 2) 운용 프로파일 분석, 3) 함내 전력 부하 분석이 수행되어야 한다.

3.1 운용 모드 및 함속에 따른 소요마력 분석

한국 해군의 이지스 구축함인 세종대왕함 등은 미국 이지스 구축함 Flight IIA를 기반으로 한국 해군에 적합하게 개량되었으며, 추진체계 및 발전기는 동일한 구조를 가지고 있다.

함 운용 모드도 미 해군 이지스 구축함과 동일하게 사용하고 있다. 다음 Table 3, 4, 5는 국내 이지스함의 운용 모드에 따른 가스터빈의 연료 소모량 및 소요마력을 나타낸 것이다.

다음 데이터에 따르면, 경제모드는 약 0~21knots, 순항모드는 약 0~29knots, 전속모드는 약 20~31knots까지 사용하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 연료소모량은 같은 속도에서도 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

Table 3. Trail shaft mode

속력 (KTS)	피치 (%)	기관회전수 (RPM)	총 소요마력 (kW)	G/T 1대당 SFC (ℓ/kWh)	단위시간당 연료소모량 (ℓ/h)
4.4	6.6	1,181	1,339.2	0.8272	1108.8
8.9	93.9	1,361	3,223.7	0.5171	1668.1
17.1	96.7	2,031	9,546.2	0.3446	3292
21.4	94.6	2,624	18,772.6	0.2894	5437.3

Table 4. Split plant mode

속력 (KTS)	피치 (%)	기관회전수 (RPM)	총 소요마력 (kW)	G/T 1대당 SFC (ℓ/kWh)	단위시간당 연료소모량 (ℓ/h)
5.4	31.9	1,196	2,709.2	0.8218	2228.9
8.0	58.1	1,194	2,524	0.8557	2161.3
11.7	96.3	1,205	2,918.7	0.7887	2303.8
14.1	99.8	1,348	4,218.2	0.6473	2732.6
17.1	99.7	1,658	7,017	0.4954	3478.8
20.2	99.9	1,964	11,365.3	0.4054	4611.4
23.3	100.2	2,370	19,112.2	0.3445	6587.9
27.1	100.3	2,738	31,452.1	0.3014	9486.9
28.9	100.4	2,955	41,558.4	0.2843	11821.9
29.3	100.4	2,982	41,708.3	0.8405	11857.9

Table 5. Full plant mode

속력 (KTS)	피치 (%)	기관회전수 (RPM)	총 소요마력 (kW)	G/T 1대당 SFC (ℓ/kWh)	단위시간당 연료소모량 (ℓ/h)
20.2	100.1	1,970	12,209.8	0.532	6501.9
23.2	102.3	2,283	19,302.6	0.4302	8309.8
27.1	100.4	2,680	29,438.2	0.3729	10986.1
29.7	100.6	3,086	50,049.8	0.3202	16036.4
31.6	100.4	3,570	75,914.5	0.2888	21939.3

또한, 경제모드 0~21.4KTS, 순항모드 0~20.2KTS에서는 프로펠러의 피치를 제어하여 속도를 유지하기 때문에, 실제 함정의 형상에 따른 소요마력보다 높게 나고 있다.

3.2 함정 운용 프로파일 분석

다음 Fig. 15는 약 8개월간의 국내 이지스함의 운용 프로파일을 나타내고 있다.

함정 운용 프로파일과 함정 소요마력을 분석한 결과, 함속 5KTS 이하에서의 함정 운용이 거의 없음을 확인하였다. 일반적으로 함속 5KTS 이하로 운항시 조타가 거의 불가능하기 때문에 위와 같은 속도로 함정을 운용하지 않으며, 가스터빈 출력이 매우 낮아 정확한 연료 소모량을 측정하기 어려움으로 5KTS이하는 동일한 연료를 소모한다고 가정하였다.

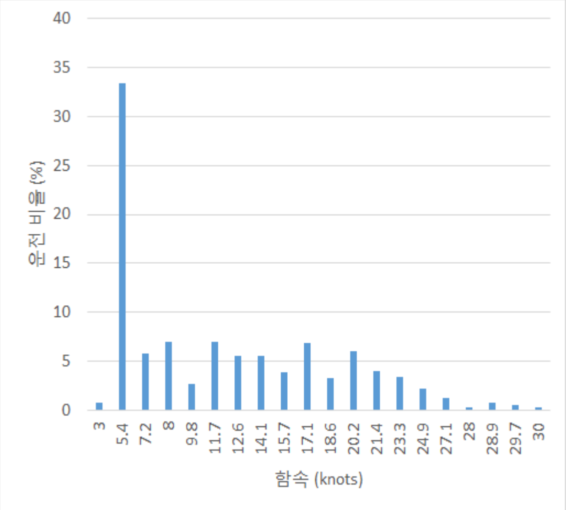

Fig. 15. The operation profile of warship

3.3 한국 이지스 구축함 전력 부하 분석

HED 시스템 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 함내 전력 부하 분석이 선행되어야 한다.

이지스 구축함의 함내 전력 부하는 운항 모드(Winter, Cruising)일 때 4,570.9kW(Magine 10%)로 나타나며, 가스터빈 발전기 AG9140 한 대당 생산 전력량은 2,550 kW(부하율 85%)로 3대가 설치되어 있음으로 총 생산 전력량은 7,650kW이다. 총 생산 전력량에 운항 모드 함내 전력 부하를 고려하면 사용 가능 여유 전력량은 3,079.1kW가 된다.

HED 시스템은 총 2대의 추진전동기를 사용함으로 사용 가능 여유 전력량 3,079.1kW을 고려하면 한 대당 1.5MW급 EM을 사용할 수 있다.

EPS Drive로 사용가능한 출력이 약 3MW임으로 함속에 따른 요구 추력을 고려했을 때, 이지스 구축함의 운항 모드는 Fig. 16과 같이 나타난다.

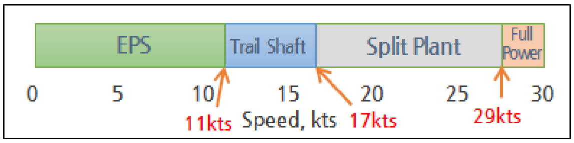

Fig. 16. The opration mode of AEGIS

HED 시스템을 사용하는 경우, 0∼11knots에서는 EPS drive, 11∼17knots에서는 Trail Shaft, 17∼29knots에서는 Split plant, 29knots 이상에서는 Full power로 운용된다.

이 외, HED 시스템을 함정에 적용하기 위해서는 EM의 용량뿐만 아니라, 설치 공간, 설치 방법등이 고려가 되야 하며, 이와 관련하여 함정 내부 주 기관실 배치도에 대한 검토가 필요하다. 그러나, 이 자료의 특성상 접근이 어렵기 때문에, 본 논문에서는 EM 설치 공간이 충분하다는 가정하에 연구를 수행하였다. 추후 설치 공간 및 방법에 대한 검토를 수행하여 EM 선정 최적화가 진행되어야 할 것이다.

3. 한국 해군 HED 시스템 시뮬레이션

HED 시스템의 운용 모드는 Motoring mode와 Motoring-Generating mode가 있다. 그러나, Motoring-Generating mode의 경우, 양방향 전력 변환 및 생산된 전력을 주 전원으로 공급시 신뢰성, 안전성등에 대한 상세한 검토가 필요하고, 함내 사용되고 있는 부하와 사용 빈도등이 고려되어야 함으로 본 연구에서는 Motoring mode에 대해서만 시뮬레이션을 진행하였다.

시뮬레이션에 필요한 각 장비별 모델링은 가스터빈 및 발전기, EM의 출력 특성과 연료 효율, 함속에 따른 소요마력, 운용 프로파일등에 대한 데이터를 회귀분석을 통하여 모델링하였다.

다음 Fig. 17은 함속에 따른 연료 소모량을 계산하는 과정을 나타내고 있다.

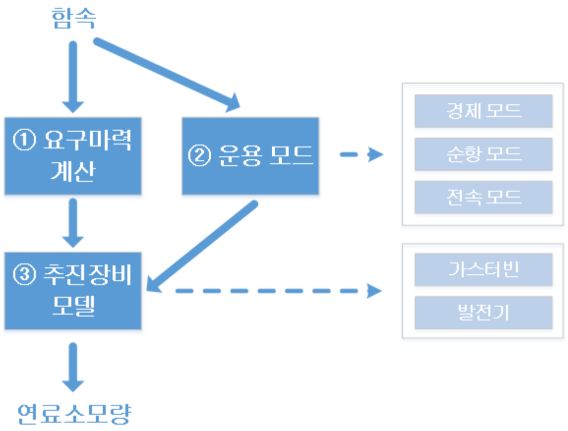

Fig. 17. Calculation of fuel consumption

다음 Fig. 18, 19는 함속에 따른 가스터빈의 연료 소모량, 발전기의 연료 소모량을 나타내고 있다.

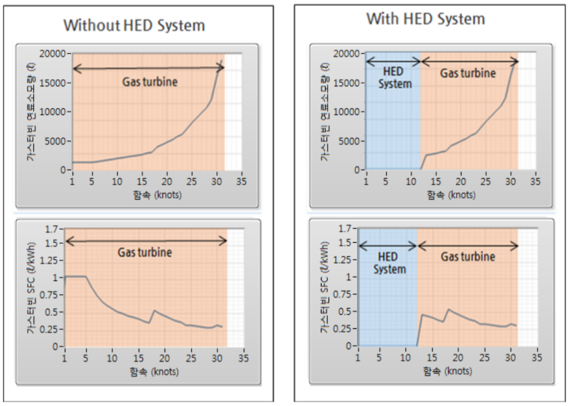

Fig. 18. Fuel consumption of speed(gas turbine)

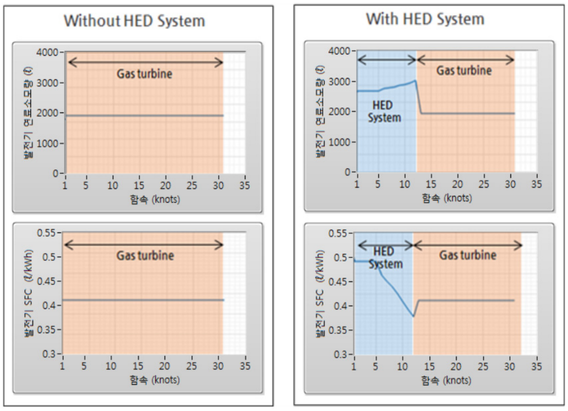

Fig. 19. Fuel consumption of speed(generator)

Fig. 17의 가스터빈 연료 소모량을 보면, HED 시스템을 사용하지 않는 경우 0∼30knots까지 연료 소모량이 변화하지만, HED 시스템을 사용하는 경우 0∼12knots까지 EM을 이용하여 추진하기 때문에 연료를 소모하지 않는 것을 확인 할 수 있다.

0∼12knots에서는 HED 시스템을 사용하는 경우, 발전기의 연료 소모량이 상승하다가 12knots 이후에는 일정하게 유지됨을 확인 할 수 있다.

다음 Fig. 20은 HED 시스템을 적용했을 때와 적용하지 않았을 때 함속에 따른 연료소모량 차를 나타낸 것이다.

연비 절감 효과를 고려하기 위해서는 Fig. 15의 운용 프로파일을 고려하여 식 (1)로 나타낼 수 있다.

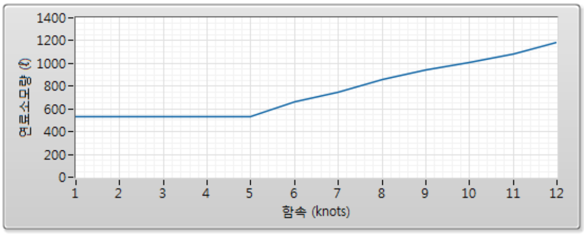

Fig. 20. Difference of fuel consumption

$$P_{HED} = \sum_{1}^{11} (E(i) \times R(i)) \times H \times P_{F76} \qquad (1)$$

P_{HED} : HED System 연간 연료 절감비(원)
$E(i)$: 함속별 HED System 연료 절감량(ℓ)
$R(i)$: 함속별 운전 비율(%)
H : 연간 함정 운전 시간(h)
P_{F76} : F76 연료비(원/ℓ)

Fig. 15을 참조하여 $\sum_{1}^{11}(E(i) \times R(i))$를 계산하면 446.726ℓ/h, 연간 함정 운전 시간 H는 2123.85h으로 나타난다. LM2500(이지스 구축함 가스터빈 추진기)에 사용되는 연료는 F-76으로 2013년 10월 조달청 기준 기준 리터당 840.3원이었음으로, 연간 연료 절감비는 약 797,259,006원이 된다.

4. 결 론

최근, 북한의 핵 미사일 및 장사정포의 위협, 전시작전통제권 전환 등에 인하여 국내 이지스 구축함 추가 건조에 대해 긍정적으로 검토되고 있다. 그러나, 이지스 구축함을 추가 운용하기 위해서는 저속에서 가스터빈의 연료 효율, 전투 체계 발달로 인한 요구 전력량 상승 등에 대한 문제가 반드시 해결되어야 한다.

본 논문에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 미 해군에서 연구중인 HED 시스템을 조사 및 분석하였고, 한국 해군 이지스 구축함에 적용하기 위하여 시뮬레이션을 진행하였다. 그 결과, HED 시스템을 적용한 함정이 적용하지 않은 함정에 비해 연간 약 8억원의 연료비 절감 효과를 낼수 있음을 확인하였다.

위와 같이, HED 시스템은 저속에서 전동기를 이용하여 운항하는 특징으로 인해 연료비 절감, 운항거리 향상, 수중 방사소음 감소 등 다양한 장점을 가지고 있음으로, 차후 새로 건조될 이지스 구축함에 HED 시스템을 적용할 필요가 있을 것으로 판단된다.

References

[1] Dr. Timothy J. McCoy, “Naval Energy Forum,” 2014.
[2] Michael E. Webber, Carolyn C. Seepersad, Robert E. Hebner, Thomas M. Kiehne, Dongmei Chen, “Hybrid Powertrain Performance Analysis for Naval and Commercial Ocean-going Vessels,” The University of Texas at Austin, 2012.
[3] Gene Castles, Ashish Bendre, “Economic Benefits of Hybrid Drive Propulsion for Naval Ships,” IEEE, 2009.
[4] Integrated Marine Systems Catalog, 2011.
[5] Dwight Alexander, Tommy Lo, Dr. James Bravo and Dr. Yakov Fleytman, “Integrated Main Reduction Gears for Hybrid Drive Surface Ship Applications,” IEEE, 2011.
[6] DRS Technologies, “Hybrid Electric Drive(HED) Tutorial,” ASME Turbo Expo, IGTI Marine Committee, June 6-8, 2011.
[7] Fred T. Willett, Greg Reed, Gene Castles, omic Benefits of Hybrid Drive Propulsion for DDG-51 Class Ships,” Proceedings of ASME Turbo Expo 2008 : Power for Land, Sea and Air, 2008. 06
[8] Gerald G. Brown, Jeffey E. Kline, Richard E. Rosenthal, Alan R. Washburn, “Steaming on Convex Hulls,” Interfaces, Vol. 37, No. 4, pp. 342~352, 2007. 7.
[9] Ronald O'Rourke, “Navy DDG-51 and DDG-1000 Destroyer Programs: Background and Issues for Congress,” Congressional Research Service, 2009. 6.
[10] Timothy McCoy, Jim Zgliczynski, Niles W. Johanson, Frederick A. Puhn, Thomas W. Martin, “Hybrid Electric Drive for DDG-51”.