

선박용 전기추진시스템의 기술개발 동향.

박정태*, 이갑재, 장성영, 이광주, 김종규, 조성준
현대중공업 기전연구소

A Trend of the Technical Development of Electric Propulsion Systems for Ships

J. T. Park*, K. J. Lee, S. Y. Jang, K. J. Lee, J. K. Kim, S. J. Cho
Hyundai Heavy Industries Co.,Ltd., Mechatronics Research Institute

Abstract - In this material, the characteristics and types of the electric propulsions for ships are examined and compared. And a trend on the technical developments of electric propulsion systems for ships are examined. So, this material will be a few helpful in researching and developing the electric propulsions for ships.

1. 서 론

선박용 전기추진 시스템은 선박의 조정성, 유지,보수, 및 신뢰성이 우수하지만, 기존의 원동기 직결 추진 시스템과 비교하면, 원동기와 프로펠러 사이에 위치하는 발전기와 전동기 및 전력 변환장치의 손실크기 만큼 효율이 저하하며, 또한 상대적으로 초기 투자비를 증가시키게 되어 쇄빙선, 잠수함, 준설선(cable laying vessel, pipe laying vessel, etc), 조사선(research vessel), 군함 등 특수선박에 적용되어 왔다.

최근에는 전기추진 시스템이 대형 호화 객선에도 적용되고 있는데 그 이유로는 첫째, 디젤엔진이 발전기용의 원동기로 사용되기 때문에 본체의 탄성지지가 쉽고, 또한 일정 회전수로 운전되기 때문에 선체의 진동 대책을 행하기 쉬우며, 추진을 위해 전동기를 사용함으로써 디젤엔진에 비해 토크 맥동이 적어 저진동/저진동 특성이 우수하고, 둘째, 전 회전수 영역에서 원활하고 정확한 회전제어가 가능하고 또한 저속영역에서 다른 추진장치에서는 얻기 어려운 고투르를 얻는 것이 가능하며, 셋째로 복수대의 발전기에 의해 구성되는 발전시스템은 선박의 운항상태(부하상태)에 따라 대응, 발전기를 분할하여 사용하는 것이 가능하여 가장 보수빈도가 높다고 하는 발전기 엔진의 보수, 점검작업에 의한 운항상의 제한을 최소화할 수 있다는 이유로 그 적용 범위가 확대되고 있는 추세이다.

본 고에서는 선박용 전기추진 시스템의 특징, 분류 및 비교를 통하여 전기추진 시스템의 개요를 소개하고 전기추진 시스템의 최근 개발 동향을 살펴봄으로써 각종 선박에 대한 전기추진시스템의 적용 가능성을 타진하였다.

2. 선박용 전기추진 시스템의 특징

선박용 전기추진시스템과 기존의 원동기 직결 추진 시스템과의 비교를 통해 장단점을 분석하고, 다양한 선박에의 적용을 검토하였다.

2.1 전기추진시스템의 특징

전기추진 시스템은 특수목적에 대해서는 다른 추진 시스템에 비해 우위가 인정되어 있으며 전기추진 시스템은 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- 미세 운전 가능, 조정 기능 우수
- 신뢰성, 생존 귀항성 우수
- 원동기에 대한 역전장치 불필요

- 원동기 배치가 프로펠러 배치에 무관계
- 각종 기기 배치의 유연성
- 원동기 대수 임의선정 가능
- 발전기 대수의 적당한 선택에 의해 순항시(巡航時) 감기(減機)상태에서 효율 좋은 운전가능
- 원격 조종이 용이

전기추진 시스템은 전술한 바와 같은 여러 이점이 있는 반면, 일반적으로 원동기 이외에 발전기, 전동기, 보상기 및 제어기기 등 동력전달 기기를 원동기와 프로펠러 샤프트 사이에 설치하기 때문에 원동기에 의한 직접 구동 추진방식에 비교하면 필연적으로 다음과 같은 결점을 가진다.

- 에너지 전달 효율이 낮다
- 중량이 무겁다.
- 설비비가 비싸다.

결국 선박의 건조 가격, 연료비는 선박의 운항 체산 등에 중대한 영향을 주기 때문에 전기추진은 전기추진의 우수성 및 기능을 필요로 하는 쇄빙선, 케이블 준설선, 해양조사선, 잠수함 등의 특수한 선박에 적용되어 왔다. 그림 1은 최근 적용되고 있는 전형적인 전기추진 시스템의 전력 회로도이다.

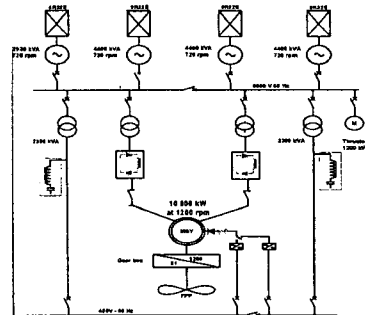


그림 1. 전형적인 전기추진 시스템 전력 회로도

발전, 배전 계통을 대칭으로 설치하여 주 발전기 및 계통의 고장에 대한 redundancy를 확보하고 또한 추진 전동기의 고정자 권선을 독립된 2병렬 권선을 사용함으로써 권선 사고에 대한 redundancy도 확보 가능하다.

또한 추진 플랜트 전원과 다른 선내 기기의 전원을 공용으로 사용하기 위해 고압(6.6 kV) / 저압 440 V 배전 계통 시스템을 채용하는 경우가 많고, 배전 계통은 단일사고에 의한 중요 시스템의 완전정지가 발생하지 않도록 고려된다.

2.2 전기추진 시스템의 각종 선박에의 적용

선박에는 각각의 목적에 따라 여러 종류가 있으며, 각 추진 및 전기계통에 요구되는 기능은 서로 다르다. 각각의 선박에 대한 추진시스템에 요구되는 특징을 표1에

보였다.

쇄빙선에서 쇄빙을 위해서는 추력과 빠른 가감속, 신속한 정역전 조작, 큰 과부하 내량이 요구된다.

객선은 우수한 주거성과 안전한 운행능력이 요구된다.

잠수선은 전지를 에너지원으로 사용하지 않으면 안되며, 음향 기기 사용으로 인해 정숙성이 요구된다.

조사선은 연구의 효율화를 위해 엄밀한 정숙성, 조선성, 관측설비와의 협조성 등이 요구된다.

케이블 준설선은 점점 보수를 위한 고도의 조선성능이 요구된다.

군함에 있어서는 전투성을 증시킨 기기배치의 자유도, 함선위치를 탐사 당하지 않기 위한 정숙성, 병기시스템 등의 전기적 협조성이 요구된다.

탱크 상선에 있어서는 운행경제성이 가장 중시되며 제한된 선형에서 최대의 하역을 얻을 수 있는 수단으로써, 기기 배치의 자유도가 요구된다.

LNG 선에 있어서는 운항 중에 자연히 기화하는, 연소용 기화가스를 보일러에 보내는 압축기의 가변속 운전과, 가스유량을 최적으로 제어하는 것이 필요하다.

위와 같은 각종 선박의 추진에 전기추진 시스템이 매우 매력적인 해결 방법으로 제시되고 있다.

표 1. 각종 선박에 대한 추진시스템의 요구특성

선종 특징	쇄빙선	객선	잠수함	조사선	케이블 준설선	군함	탱크 상선	LNG선
운동성	○			○	○	○	○	
정숙성		○	○	○		○		
에너지원			○					○
타전원과 의 공용		○		○		○	○	
부하변동	○							
기기배치		○				○	○	
경제성							○	○
소형화							○	

3. 선박용 전기추진 시스템의 분류 및 비교

3.1 전기추진의 분류

일반적으로 전기추진이라는 것은 '선박 내부의 발전장치에서 얻어지는 전기에너지로 선박의 주 추진기를 회전시켜 추진력을 얻는 추진방식'을 가리키기 때문에 여기서는 해수에 전하력을 부여하고 그의 반동으로 추진력을 얻는 전자(電磁)추진 방식, 트러스터 (Thruster) 등의 보조 추진방식 등을 제외하는 것으로 한다.

전기 추진방식은 전기 기기의 종류 및 주회로 전력변환 장치에 따라 DC-DC 방식, AC-DC 방식, AC-AC (정속도) 방식, AC-AC(가변속) 방식으로 나눌 수 있으며, 표 2와 같이 분류 및 비교가 가능하다.

3.2 DC-DC 방식

직류방식은 직류전동기의 속도제어방식의 차이에 의해 Ward-Leonard 방식 및 정전류 방식, 정전압 방식으로 분류될 수 있다.

Ward-Leonard 방식은 직류발전기의 전압을 변화시켜 직류전동기의 속도를 제어하는 방법으로

- 저속영역에서 큰 토크를 가능, 가속한 부하변동이

- 많은 쇄빙, 트롤 및 케이블 준설선에 적합

- 직류발전기, 직류전동기의 정류자 편간의 전압치 제한으로 고압적용이 어렵고, 유지, 보수문제 있다.

정전류방식은 용도 및 정격이 다른 복수의 직류 발전기와 직류전동기를 직렬로 접속하고 이러한 직류발전기에 의한 주회로에는 언제나 일정한 전류를 순환시킴과 함께 직류전동기의 계차를 각각 조정하여 회전속도를 제어하는 방식으로 준설선 및 케이블 준설선에 적용되고 있는데 실적은 극히 적다.

정전압방식은 직류전동기의 전기자 회로에 삽입된 저항기를 조정함으로써 속도제어를 행하는 방식으로 최근에는 적용 예가 전혀 없다.

3.3 AC-DC 방식

Static Leonard 방식, AC-R-DC (다이오드 정류기) 방식으로 분류된다.

Static Leonard 방식은 일반적으로 디젤기관 구동의 동기발전기, 컨버터 및 프로펠러 직결의 직류전동기 등으로 구성되며, 특징은 다음과 같다.

- 동기발전기를 적용으로 소형 경량화 가능
- 타타식 직류전동기 적용으로 정출력 토크특성
- 복수대의 동기발전기는 병렬운전이 용이
- 발전, 배전 장치에 융통성, 중량 경감, 경제성
- 종합 효율은 Ward-Leonard 방식과 대체로 동일
- 컨버터의 위상제어에 의한 고조파 장애의 단점

AC-R-DC 방식은 일반적으로 디젤 기관구동의 타타식 동기발전기, 다이오드 정류기 및 프로펠러에 직결되는 타타식 직류전동기 등으로 구성되며 주요 특징은 다음과 같다.

- 노이즈 장애 대폭적 경감
- 추진장치 외의 선박내 부하에의 급전 불가
- Static Leonard 방식에 비해 설비비 낮다.
- 발전기의 교류화로 보수 정비가 비교적 용이

3.4 AC-AC(정속도) 방식

동기전동기방식과 유도전동기 방식이 있으며 속도제어는 가변피치 프로펠러를 사용한다.

동기전동기 방식의 특징은 다음과 같다.

- (1) 고전압 적용 가능하여 소형화, 경량화 도모
- (2) 동기전동기는 유도전동기에 비해 고정자와 회전자 사이의 공극을 크게 할 수 있기 때문에 대출력의 추진장치에 적절하다.
- (3) 역률을 1로 운전가능, 전류용량, 중량 경감
- (4) 통상 동기전동기에 제동 권선 설비로 기동
- (5) 추진토크의 현저한 변동으로 탈조, 정지 발생

유도전동기 방식의 주요 특징은 다음과 같다.

- (1) 동기전동기 방식에 비해 가격이 싸다.
- (2) 가변 피치 프로펠러와 조합되어 속도제어 불필요

표 2. 전기추진의 분류 및 비교

	기본구성	특징
DC-DC 방식	직류발전기 - 직류전동기	· Ward-Leonard, 정전류, 정전압 방식 · 대용량 시스템에는 부적합 · 유지, 보수 면에서 불리 · 전용 전원설비가 필요
AC-DC 방식	교류발전기- AC/DC변환기- 직류발전기	· Static Leonard, 다이오드 정류기 방식 · 발전기의 교류화에 의한 보수작업 저감 · 토크 특성 좋음
AC-AC 방식	<정속도방식> 교류발전기- 교류전동기	· 시스템구성 간단, 속도제어 위해 CPP필요 · 정동기 기동 대책 필요 · 대용량 시스템에 적합 · 보수성 좋음
	<가변속 방식> 교류발전기- AC/AC변환기- 교류전동기	· 주파수변환기 (사이클로컨버터, 싱크로컨버터 등) 필요 · 광역 속도제어 가능 · 보수성 좋음 · 선박 내 전원과 공용가능(노이즈 대책필요)

※CPP : 가변 피치 프로펠러

3.5 AC-AC 방식 (가변속 방식)

최근에 적용되기 시작한 방식으로 '동기발전기 - 전력 변환기 - 교류전동기'의 구성되어 있다. 전력변환기는 사이클로컨버터, 싱크로컨버터(전류형 인버터), 전압형 PWM 인버터 등이 사용되며 주요특징은 다음과 같다.

- (1) 토크 특성, 효율 및 급전의 융통성 등은 Staic Leonard 방식과 동등.
- (2) 발전기, 전동기 모두다 교류기기기기 때문에, DC-DC 방식 및 AC-DC 방식에 적용되는 직류기와 같은 정류자 및 브러시 등이 없어 유지, 보수 유리
- (3) 주 회로에 전력 변환장치에 의한 고조파 발생, EMI, EMC 대책 필요

4. 최근 전기추진 시스템의 개발 동향

최근 선박용 전기추진 시스템으로, 기존 전기추진 장치에 비해 설치공간의 확보에 유리하고, 뛰어난 동특성을 가진 Pod 형을 개발, 적용중인 회사로서 ABB, Simens, Gec-Alstom 의 개발동향을 살펴본다.

ABB사는 80년대 초부터 최근까지 전기추진시스템을 개발해 왔으며, 쇠빙선, 준설선, 북해 핵-쇄빙선, 시추선, 대형객선 등에 적용 실적이 있으며, Cyclo - converter, PWM system을 적용한 제품을 개발, 판매 중에 있다. 또한 방위각으로 회전하는 Azipod란 상품명 가진 Pod 형의 전기추진 시스템을 개발, 쇠빙선, 대형객선에 적용 실적을 가지고 있다.

Gec-Alstom 사는 Mermaid란 상품명 가진 Pod형 전기추진 시스템을 90년대부터 개발, 제작해 왔으며 대형 호화객선, 쇠빙선 등에 적용시켜 왔다. 그림 2는 Pod형 Mermaid 추진 시스템과 기존 전기추진 시스템을 비교한 그림인데, Diesel - mechanical 드라이브 방식, Diesel-electric 드라이브 방식, Pod형 Azimuth 전기 추진 방식을 비교하면 다음과 같다.

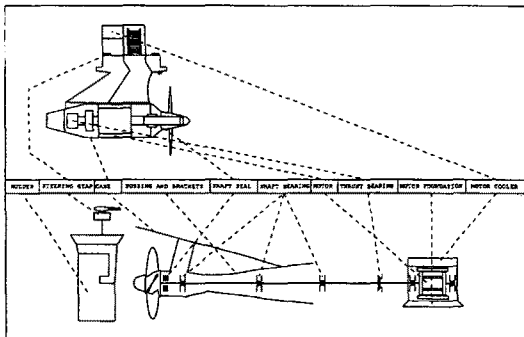


그림 2. 기존 전기추진과 Pod형 전기추진시스템 비교

Diesel - mechanical 드라이브 방식은 가장 공간을 많이 차지하는 방식으로, 주엔진, 기어, 축, Rudder 등을 고려한 배치로 인하여 다른 모든 기기 및 Hull 모양이 영향을 받는다.

Diesel-electric 드라이브 방식은 엔진실 내부에서 엔진을 설치하는데 있어 수직방향으로 융통성이 있으므로 설계를 하는데 있어 Diesel - mechanical 방식보다 비교적 여유가 있으나, 어떤 경우에서도 축을 이용한 추진 방식은 항상 미리 정해진 Hull 모양에 따라서만 설계를 해야하는 단점이 있다.

Pod 형 Azimuth 전기 추진 방식은 Hull과 엔진실을 설계하는데 있어 최대한의 융통성을 제공하며, 그 결

과, 정해진 선박의 크기 내에서 화물 적재 칸을 넓히거나 반대로 선박의 크기를 줄일 수 있다. 또한 rudders, steering gear, stern thrusters 등이 필요없게 되어 선박의 구조가 보다 간단해진다.

Siemens는 ABB사의 Pod 형에 비교하여 프로펠러를 앞뒤에 동시에 적용하였고(그림3) SSP (Siemens Schottel Propulsor)란 상품명을 가지고 있다. Siemens 와 Schottel의 합작으로 개발하였고 Pod형 Azimuthing diesel-electric 추진장치로 5 MW에서 30 MW에 이르는 제품이 생산 가능하며, SSP 에 적용되는 추진전동기는 영구자석을 이용하여 여자를 하기 때문에 전기적인 여자 또는 여자에 필요에 주변기기와 외부냉각장치 등의 불필요함으로 인해 기존의 권선형 동기전동기보다 약 2 %의 효율이 증가 가능하다.



그림 3. Siemens의 Pod 형 전기추진장치

한편, 최근의 전동기 적용 동향은 전력전자기술의 급속한 발전에 의해 Static Leonard 방식에 의한 직류전동기 구동을 지나 사이클로 컨버터에 의한 선박 추진전동기의 교류화가 실현되어 왔으며 견고하고 저가의 유도전동기를 직류전동기와 동등하게 제어가 가능한 벡터제어의 기술도 확립되고 있으며, 영구자석 전동기가 개발되고 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 전기추진시스템의 특징, 각종 전기추진 방식의 장단점을 살펴보았으며, AC - AC(가변속) 방식이 적용된 Pod형 Azimuth 전기추진 시스템이 최근의 전기추진 시스템에 대한 가장 주목받는 시스템이었다.

앞으로의 연구 전망으로는, 전기추진 시스템 적용으로 기관배치의 자유도에 의한 선박내 공간의 유효한 활용에 의한 운행채산성의 향상, 에너지 전달 효율향상 방법으로 발전시스템과 matching되는 원동기의 최적 효율운전법의 확립, 영구자석 전동기의 대형 선박에의 적용 확대 등이 생각될 수 있다.

(참 고 문 헌)

- (1) 井上 響, "전기추진의 각종방식의 특징과 동향", 일본박용기관학회지, 제19권, 제2호, pp90-110, 1984.
- (2) 佐藤孝雄, "전기추진 시스템 각종방식의 비교", 일본박용기관학회지, 제19권, 제2호, pp129-134, 1984.
- (3) 堀籠教夫 외, "박용 전기전자 시스템, 기기의 최선단기술", 일본박용기관학회지, 제27권, 제2호, pp 147 - 186, 1992.
- (4) M. Murphy, "Variable speed drives for marine electric propulsion", Transactions of the Institute of Marine Engineers, Vol. 108, Part 2, pp 97-107, 1996.