

선박용 전기추진 장치의 기술동향

장성영, 박정태, 이갑재, 이광주, 김종규, 조성준*
현대중공업(주) 기전연구소

A Review of Electric Ship Propulsion System

S.Y.JANG J.T.PARK K.J.LEE K.J.LEE J.G.KIM S.J.CHO*
Hyundai Heavy Industrial CO.,LTD Mechatronics Research Institute

ABSTRACT

This paper introduces the ship propulsion system in different aspects. In fact there are many types to accomplish electric propulsion. The latest installations are based on fixed generator speed and motor speed control. The AC motor drive systems with synchroconverter, cycloconverter, PWM converter are chosen for the ship electric propulsion. The configurations of the ship electric propulsion system must be considered about following criteria : torque and speed performances, redundancy, cost, harmonics, available space and shape. This paper introduces possible configurations of the ship electric propulsion and the major and minor points.

1. 서론

최근 선박 기관실의 설비는 선박의 보다 효율적이고 안전한 설계를 위해 변화되었다.^[1] 선박의 추진 방식을 살펴보면 크게 diesel-mechanical 방식과, diesel-electric 방식으로 나눌 수 있다. 최근 들어 전기 추진 방식의 장점이 부각 되고 있는데, 연구 결과에 의하면 선박의 전기추진장치는 기계적 배치의 유연성, 보다 효율적인 선박의 구조 설계, 진동과 소음 감소, 신뢰성 및 유용성 증가, 유지보수의 편의성 등의 장점을 가지고 있다.

선박용 전기추진 장치는 토크 및 속도 성능, redundancy, 비용, 사용 가능한 공간 및 기관실의 형태 등에 따라 여러 가지 구성이 가능하다.^[2]

따라서 본 논문은 2절에서 선박용 추진 장치의 diesel-mechanical 방식과 diesel-electric 방식에 대하여 기술하고, 3절에서는 전기추진 장치의 기본 구성 방식, redundancy 구현 방법, 장점 및 단점,

실제 구성에 등을 기술하고 각 방식을 비교 분석한다.

2. 선박의 추진 장치

선박의 추진장치는 근래에 들어 큰 변화를 겪고 있다. 지난 수십년 동안 널리 사용되던 diesel-mechanical 추진 장치에서 diesel-electric 추진 장치로 변화되고 있다.

diesel-mechanical 추진 장치는 그림 1 (a)와 같이 구성된다. 각 구성품을 살펴보면 추진을 위한 주 디젤엔진, 보조 디젤엔진, 기어박스, 발전기, 프로펠러, 구동축 등이다. 주 디젤엔진이 기어 박스를 통해 샤프트에 동력을 전달하여 프로펠러를 구동시키는 방식이며, 추진을 위한 용도 외에 선박의 조명, 통신 등 기타 장비들을 위한 전원 공급용 보조 디젤 엔진과 발전기 등 전원설비가 별도로 존재한다.

diesel-electric 추진 장치는 그림 1 (b)와 같이 구성된다. 디젤 엔진, 발전기, 컨버터, 모터, 프로펠러, 구동축 등으로 구성되어 있다. diesel-electric 추진 장치는 추진을 위한 주 디젤엔진과 타장치의 전원공급을 위한 보조 디젤엔진이 통합된 형태로 구성되며 디젤엔진에 연결된 발전기가 추진 모터와 선박의 타 장치에 전원을 공급한다. 발전기에 연결된 컨버터는 발전기로부터 공급되는 전원을 제어하여 모터를 원하는 속도로 구동시키는 기능을 수행한다. 이러한 diesel-electric 추진 장치는 diesel-mechanical 추진 장치에 비해서 앞에서 언급한 바와 같이 기계적 배치의 유연성, 신뢰성 증대, 유지보수의 편의성 등의 장점을 가진다. 하지만 일반적으로 diesel-electric 또는 diesel-direct라 불리는 전기 추진 장치는 diesel-mechanical 추진 방식이 가지고 있는 구조와 유사한 기계적 구성을 가지고 있으므로 구동축에 의한 진동 및 소음을 크게 저감

시킬 수 없고, 또한 샤프트를 이용한 추진 방식은 미리 정해진 선체 형태에 따라서만 설계를 해야 하는 단점을 가지고 있다.

이러한 단점을 극복하기 위해 최근에 개발된 시스템은 Podded Azimuthing diesel-electric 추진 방식이다. 이 방식은 그림 1 (c)와 같이 구성되어 있으며 디젤엔진, 발전기, 컨버터 그리고 모터가 내장된 Pod 등으로 이루어져 있다. 디젤엔진과 발전기는 일반적인 diesel-electric 추진 방식에서 수행하는 기능과 마찬가지로 추진 모터와 선박의 타장치에 전원을 공급하는 역할을 수행하며 컨버터는 모터를 원하는 속도와 토크를 발생시키도록 제어하는 기능을 한다. 이러한 Pod를 사용한 선박 추진 장치는 기존의 diesel-electric 추진 장치가 갖는 장점 외에 전원 설비로부터 추진 모터까지 전원만 공급해 주면 되므로 선박의 설계시 기존의 방법과 달리 미리 정해진 선체 형태를 고려할 필요가 없다. 따라서 선박 구조 설계의 유연성이 뛰어나고 모터에서 프로펠러로 동력을 전달하는 샤프트가 없으므로 샤프트로 인한 저주파 진동 및 소음이 근원적으로 발생하지 않는 장점을 가지고 있다. 또한 회전 반경의 감소로 기동성, 접안성이 증대되며 저진동, 저소음화로 안락성이 크게 개선된다.

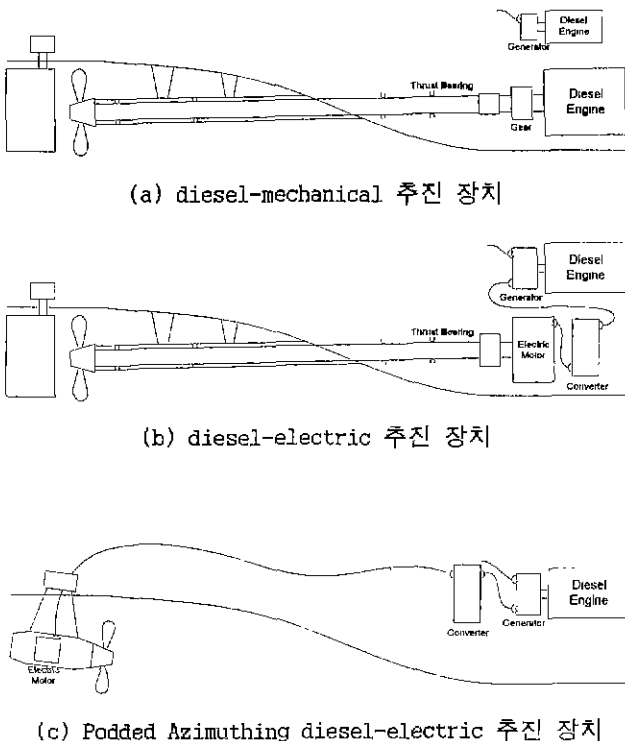


그림 1 선박 추진 장치
Fig. 1 Ship Propulsion System

3. 전기 추진 장치

3.1 Synchroconverter

Synchroconverter와 동기 전동기로 구성된 방식으로 기본 구성은 그림 2 (a)와 같다. 일반적으로 이와 같은 구성을 갖는 Synchroconverter와 동기 전동기의 구성은 약 5-6MW 이상의 용량을 갖는 대용량의 전기 추진 장치에 사용된다.

Synchroconverter로 구성되는 전기 추진장치는 사이클로컨버터에 비해서 3분의 1정도의 소자를 필요로 한다. 따라서 전력변환장치의 크기와 무게를 줄일 수 있고, 효율과 신뢰성, 유용성등을 개선할 수 있다.

선박의 전기 추진 시스템의 설계시 강조되는 기준중의 하나는 타기기에 전기 추진 시스템에서 발생하는 고조파가 영향을 주지 않도록 하는 것이다. 즉 선박의 통신, 제어장치 등이 연결되어 있는 네트워크에 추진 장치로 인해 발생한 고조파가 영향을 주어 오동작을 유발시키지 말아야 한다.

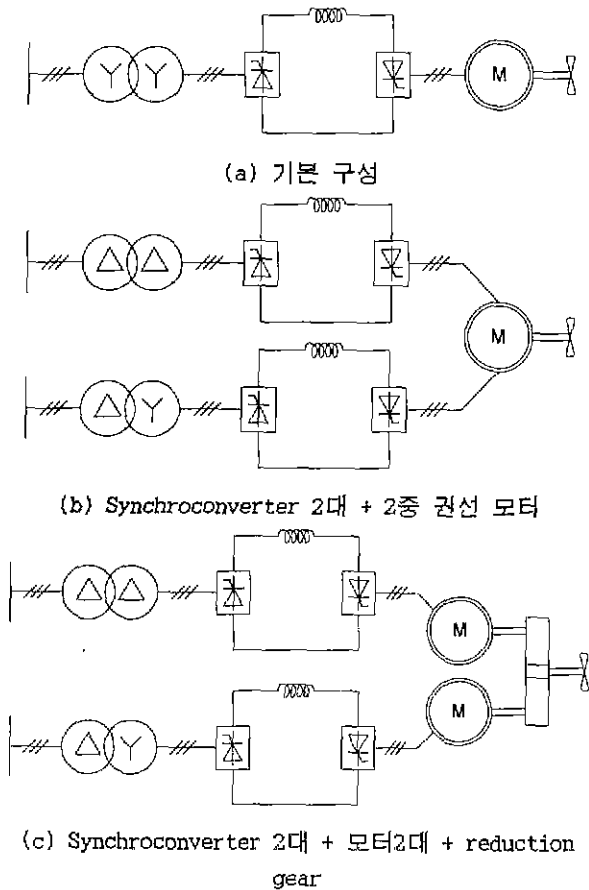
사이클로컨버터가 모터의 속도에 따라 발생하는 고조파가 변화하는데 반해 Synchroconverter는 네트워크 주파수에 비례하는 고조파가 발생되므로 쉽게 필터링이 가능하다. 또한 컨버터와 인버터의 bridge를 서로 독립적으로 제어 및 보호할 수 있고, DC-link단의 리액터로 전류를 제한할 수 있다. 소음 및 진동면에서도 전류형 인버터는 우수한 성능을 가지고 있다.

선박에 있어서 추진 장치의 redundancy는 필수적인 요건이다. 항해중 악천후나 사고 등으로 인해 추진 장치의 정상 동작이 불가능한 경우에도 가까운 해안까지는 반드시 자력으로 항해가 가능해야만 하기 때문이다. 그러므로 선박용 전기추진 장치는 다양한 redundancy 확보 방안을 설계시 적용하고 있다.

Synchroconverter와 동기 전동기를 사용한 전기 추진 장치에서 redundancy 확보의 방안으로는 그림 2 (b), (c)와 같은 방법을 고려할 수 있다. 그림 2 (b)의 경우 동기 전동기는 2중 권선으로 제작되며 전기적으로 30도의 위상차를 가지고 있다. 또한 각 권선에 연결된 6펄스 컨버터는 $\Delta-\Delta$, $\Delta-Y$ 로 연결된 두 개의 변압기로 인해 모터측과 전원측이 모두 12펄스 컨버터로 구동되는 효과를 가진다. 그림 2 (c)와 같은 Synchroconverter 전기 추진 시스템은 두 개의 모터가 각각 6펄스 컨버터로 구동되고 2개의 입력과 1개의 출력을 갖는 reduction gear로 구성된다. reduction gear는 모터를 높은 속도로 구동시킬 수 있어서 모터의 크기와 무게를 줄일 수 있지만 reduction gear의 고장시 추진력을 전부 잃게 된다는 단점이 있다. 그림 2의 (b), (c)와 같은 구성을 갖는 Synchroconverter로 구성된 전기 추진 장치에서 하나의 Synchroconverter가 고

장났을 경우 나머지 하나의 컨버터만으로도 운전이 가능하다.

동기 전동기는 외부에서 여자 시키는 회로가 별도로 존재한다. 그러므로 동기 전동기를 사용한 경우 완벽한 redundancy를 구현하기 위해서는 여자회로 자체에 전원을 공급할 수 있는 별도의 전원이 준비되어야 한다.



(a) 기본 구성
(b) Synchroconverter 2대 + 2중 권선 모터
(c) Synchroconverter 2대 + 모터2대 + reduction gear

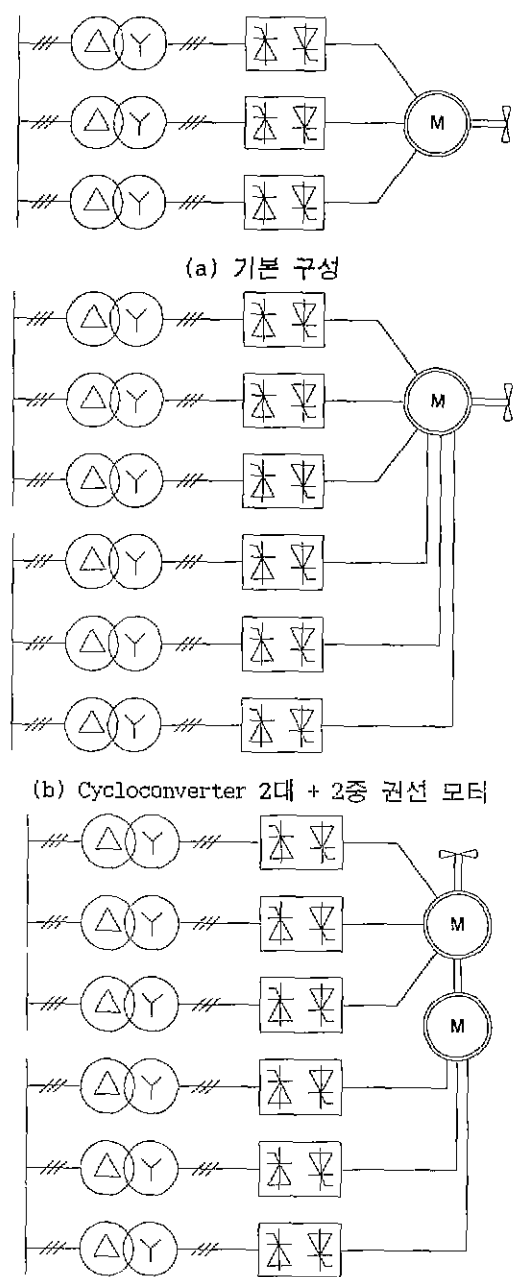
그림 2 Synchroconverter 구성
Fig. 2 Synchroconverter configurations

3.2 싸이클로컨버터 (Cycloconverter)

싸이클로컨버터와 동기 전동기를 이용한 전기 추진 시스템의 기본 구성은 그림 3 (a)와 같다. 싸이클로컨버터는 동기 전동기뿐만아니라 유도 전동기와 함께 구성하는 것도 가능하지만 일반적으로 선박의 전기 추진 방식은 대용량의 시스템이므로 동기 전동기가 많이 사용되고 있다. 특히 싸이클로컨버터를 이용한 시스템은 쇠빙선과 같이 저속에서 큰 토크가 필요한 선박에 적용되고 있다. 싸이클로컨버터 방식이 Synchroconverter에 비해 가지고 있는 장점은 모터축의 역율이 Synchroconverter에 비해 우수하므로 추진모터의 크기를 줄일 수 있고, 토크와 속도 제어의 동특성이 우수하다. 소음과 진동에 대해서는 Synchroconverter와 유사한 성능을 가지

고 있다.

싸이클로컨버터를 이용한 전기 추진 시스템의 redundancy 확보 방법은 그림 3 (b), (c)와 같은 구성을 가진다. 싸이클로컨버터는 전원 전압의 저주파수영역을 제어하므로 그림 3 (c)의 구성은 그림 2 (c)와 달리 reduction gear를 포함하지 않는다. 그러나 싸이클로컨버터의 redundancy 확보 방안은 부피, 무게, 소자의 수가 증가한다는 단점을 가지고 있다.



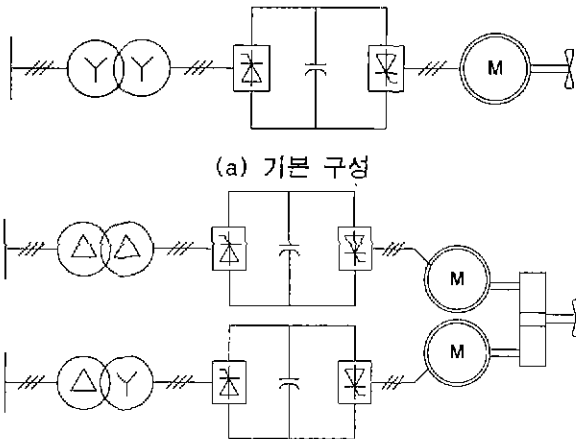
(a) 기본 구성
(b) Cycloconverter 2대 + 2중 권선 모터
(c) Cycloconverter 2대 + 모터 2대

그림 3 Cycloconverter 구성
Fig. 3 Cycloconverter configurations

3.3 PWM 컨버터

PWM 컨버터와 유도 전동기로 구성된 PWM 컨버터 전기 추진 장치는 그림 4 (a)와 같다. 일반적으로 PWM 컨버터 전기 추진 장치는 대용량인 주 추진장치보다 5-6MW 이하의 용량을 갖는 보조 추진 장치에 사용된다. PWM 컨버터 방식을 주 추진 장치에 사용하면 소자의 정격 한계로 인해 한 bridge당 소자의 수가 증가하고 이로 인해 복잡성과 신뢰성의 감소가 야기된다. 하지만 균함 등과 같이 엄격한 소음과 EMC 규격을 적용하는 선박의 경우 Synchroconverter에 비해 스위칭 주파수를 높여 발생 고조파를 줄일 수 있으므로 대용량의 주 추진 장치에도 적용되고 있다.^[3]

PWM 컨버터의 redundancy 확보방안은 그림 4 (b)와 같이 두 대의 컨버터와 모터, reduction gear로 구성된다. 이 방식은 위에 언급한 바와 같이 reduction gear의 고장시 전체 추진력을 잃는 단점이 있다.



(a) 기본 구성
(b) PWM 컨버터 2대 + 모터 2대 + reduction gear
그림 4 PWM 컨버터의 구성
Fig. 4 PWM Converter configurations

3.4 선박용 전기 추진 시스템의 구성에
위에서 살펴본 가능한 여러 가지 선박용 전기 추진 시스템 중에서 대용량 주 추진 장치에 많이 사용되는 Synchroconverter와 동기 전동기로 이루어진 선박용 전기 추진 시스템의 구성예를 살펴보겠다. 그림 5는 선박용 전기 추진 시스템의 Single line diagram이다. 그림 5에 보여진 전기추진 시스템은 디젤엔진과 발전기 6 sets, 추진 변압기 4대, 타기기 전원공급용 변압기 3대, 고조파 필터 2대로 이루어져 있다. 추진 장치는 Podded Azimuthing diesel-electric 방식으로 구성되어 있다. 동기 전동기는 redundancy를 확보하기 위해 2중 권선 구조의 전동기를 사용하였고 12펄스 컨버터 2대가 각각의 권선에 전원을 공급하여 컨버터 한 대의 고장시에도 운행이 가능하다. 또한 동기기의 여자회로를 위한

여자회로가 존재한다.

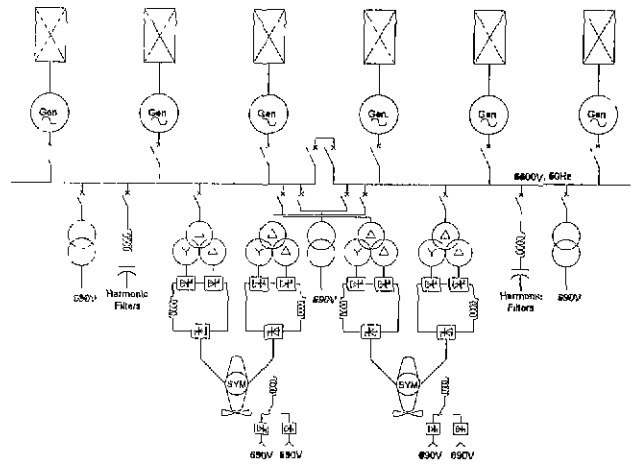


그림 5 선박용 전기 추진 장치의 구성예
Fig. 5 Single-Line Diagram of Ship Electric Propulsion System

4. 결론

본 논문에서는 선박용 전기 추진 장치의 최근 기술 동향에 대해서 살펴보고 각 구성 방법에 따른 장점과 단점을 비교하였다. 선박용 전기 추진 장치는 diesel-mechanical 방식에서 diesel-electric 방식으로 발전되고 있다. 또한 일반적인 diesel-electric (direct) 방식에서 최근 들어 Podded Azimuthing diesel-electric 방식이 대두되고 있다. 또한 전기 추진 장치의 구성에 있어서 컨버터와 모터의 구성에 따른 분류와 redundancy 확보 방안을 살펴보았다. 결론적으로 현재 대용량 선박의 추진 시스템으로는 Synchroconverter와 동기 전동기의 조합이 주로 사용되고, 중소용량 추진 시스템과 보조 추진 시스템으로는 전압형 인버터와 유도 전동기의 조합이 선박용 전기 추진 장치로 사용되고 있음을 알 수 있다.

참고 문헌

[1] K.J. Rawson, "The Architecture of Maritime Systems," *IEEE Proc. A*, Vol. 133, No. 6, pp. 333-337, 1986, Sept.
[2] P. Maffioli, A. Cornaretto, G. Puccini, M. Ftacchia, "Alternative propulsion concepts for Product Carriers," *Proceedings of the International Conference on Ship and Marine Research*, 1994.
[3] A. Crane, J. McCoy, "Electromagnetic Compatibility Design for a 19MW Motor Drive," *IEEE IAS*, Vol. 3, pp. 1590-1595, 1999.