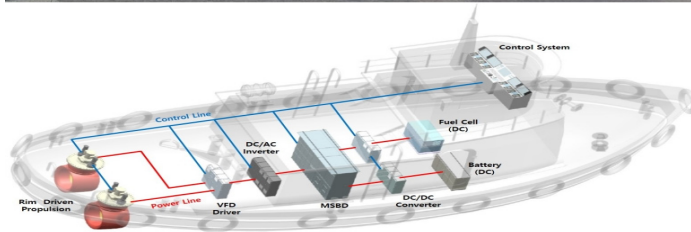




SNAKZINE

기술보고



림 구동 추진기 기술동향 및 전망

글 : (주)KTE 권순일 책임, 오상호 책임, 윤배광 이사 / sikwon@kte.co.kr, shoh@kte.co.kr, bkyoon@kte.co.kr

1. 서론

1.1 환경규제 강화

최근 IMO(International Maritime Organization, 국제해사기구) 주도로 선박 배출가스 배출량 감소를 위한 규제가 점차 강화되고 있다. ECA(Emission Control Area, 배출가스 통제 구역)의 선박 배기가스 중 질소산화물(NOx) 배출량은 2021년부터 Tier III 가 적용되어 80% 이상 줄이도록 규제하고 있으며, 전 세계 해역 내 모든 선박에 대해서는 선박연료의 황산화물(SOx) 함유량을 89% 까지 줄이도록 요구되고 있다. 또한, 온실가스 배출 감축 조치도 2013년부터 의무적으로 이행하도록 강화되고 있으며, 신규건조 선박은 EEDI(Energy Efficiency Design Index, 에너지 효율 설계지수)에 기초한 이산화탄소 배출량을 2022년 현재 20% 감축, 매 5년마다 10% 씩 감축하도록 요구되고 있다.

지속적으로 강화되고 있는 환경규제에 대응하기 위해 조선업계에서는 기존 디젤연료 대신 LNG 또는 LPG 가스연료 등 친환경 연료를 사용하거나, 탈황장치인 Scrubber 및 질소산화물을 저감시킬 수 있는 SCR(Selective Catalytic Reduction, 선택적 촉매환원법) 설치 등 배출가스 저감 설비를 추가하는 방안들을 적용하고 있다. 하지만 아직까지는 친환경 연료에 대한 저장과 관리, 인프라 구축 등의 문제와 정화설비에 대해서도 세정수의 2차 오염과 설비구축 비용 등 개선해야 할 사항들을 안고 있는 것이 현실이다.

환경규제에 대한 대응 방안으로 연료 소모량을 절감할 수 있는 친환경 고효율 추진 시스템과 LNG 수소 암모니아 등을 연료로 사용하는 친환경 연료선박, 연료와 전기 에너지를 조합하여 동력원으로 사용하는 하이브리드 선박, 수소나 암모니아 연료전지와 ESS 를 조합한 전기추진 선박 등의 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 이러한 전기 추진선박에 대한 연구의 증가와 더불어 선박 추진 체계 또한 엔진을 이용한 기계식 추진 장치에서 모터를 이용한 전기식 추진 장치로 점차 변화하고 있다.

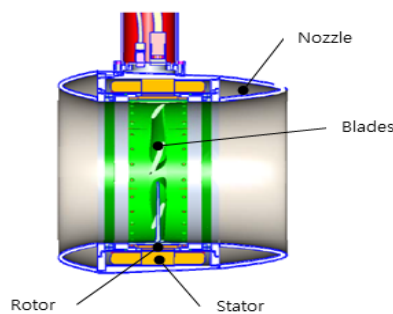
1.2 추진 시스템 변화 추세

강화되고 있는 환경규제와 기존 대응 기술의 한계로 인해 친환경 선박에 대한 관심이 높아지고 있다. 전기 또는 하이브리드 추진 선박의 시장 규모는 점차 증가하고 있으며, 유럽을 중심으로 세계 각국의 친환경 선박 도입을 위한 노력이 진행되고 있다. 친환경 선박으로의 변화 추세에 따라 기존 축계 시스템이 아닌 고효율 고성능의 전기 추진 시스템 개발이 필요한 시점이다.

선박의 기존 추진 시스템은 디젤엔진에서 동력을 발생시켜 축계 시스템을 통해 프로펠러로 동력을 전달하는 구조이다. 이러한 기존의 축계 시스템 대비 동력전달 효율 및 선박 배치에 유리한 Azimuth Thruster, Pod 추진기, 림 구동 추진기 등이 개발되어 선박에 적용되고 있으며, 친환경 선박용 추진기로서 각광 받고 있다. 본 기고에서는 이러한 전기추진 시스템 중 림 구동 추진 시스템에 대한 소개와 개발 동향에 대해 정리하고자 한다.

2. 림 구동 추진기 기술 개요

프로펠러 중심에서 축에 의해 프로펠러가 구동되는 기존 추진기와 다르게 림 구동 추진기는 프로펠러 외경 축에 림 형태의 전동기 회전자에 의해 프로펠러가 구동되는 구조이다. 림 구동 추진기의 일반적인 구조는 그림 1과 같다.



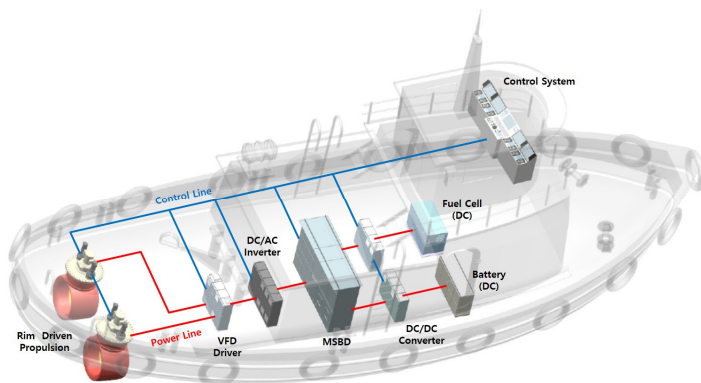
〈그림 1 림 구동 추진기의 구조〉

림 형태의 전동기에 프로펠러가 직결되어 동력전달을 위한 기계요소 없이 동력을 직접 전달하는 것이 가장 큰 특징이다. 외형상 프로펠러와 노즐로 구성되어 있으며, 노즐 내부에 영구자석형 림구동 전동기가 위치해 있다. 전동기는 Slip-Ring을 통해 선체 내부로부터 전원을 공급받아 구동되며, 전동기의 회전자가 회전함에 따라 직결된 프로펠러도 회전하면서 추력을 발생시킨다. 인버터(Inverter)와 서보 드라이브(Servo Drive)를 이용하여 림 구동 추진기의 회전속도와 방위각을 제어함으로써 추력의 크기 및 방향을 제어한다. 다만, 인버터 관련 장비는 현재 대부분 수입에 의존하고 있어, 림 구동 추진기 개발과 함께 국산화 개발이 필요한 부분이다.

노즐 내부에는 전동기 고정자와 회전자 사이의 유체 베어링이 회전체의 동적, 정적 하중을 지지해 준다. 유체 베어링의 지지 하중 부담을 덜기 위해 프로펠러 중심에 축, 베어링을 포함한 허브를 설치하는 경우가 있으며, 허브 적용 여부에 따라 림 구동 추진기는 크게 Hub Type 과 Hubless Type 으로 나뉜다. Hub Type 은 Hubless Type 보다 하중 지지 안정성측면에서 장점이 있지만, 추력 및 Cavitation 측면에서는 효율이 떨어지는 단점이 있다. 각 제조사들은 작은 용량에는 Hubless Type 을, 큰 용량에는 Hub Type 을 적용하는 경향이 있으며, Hubless Type 에 대해서는 유체 베어링의 대형화와 이에 대한 신뢰성을 확보해야하는 과제가 남아있다.

추력의 방향은 선회장치를 통해 제어한다. 림 구동 추진기 조립체가 선회식 베어링 장치에 결합되며, 서보 드라이브(Servo Drive)를 통해 선회식 베어링을 구동하고 림 구동 추진기 조립체를 회전시키며 추력 방향을 제어한다.

Blade 는 반경방향의 길이가 증가할수록 Blade 두께가 두꺼워지는 형상으로 기존의 Blade 와는 상반된 형태를 가지고 있다. 이러한 형태의 Blade 에 대한 연구가 국내에서는 아직 전무한 상황이며, 각 제조사의 독자적인 Blade 형상에 대한 충분한 연구를 통하여 기존 제조사 대비 높은 성능의 Blade 개발이 필요하다.



〈그림 2 Hubless Type 림 구동 추진기〉

3. 림 구동 추진기 특징점

3.1 구조적 장점

기존의 축계 시스템이나 Azimuth Thruster 는 동력원으로부터 발생된 동력을 축, 베어링, 기어 등의 기계 부품들을 통해 프로펠러까지 전달한다. 그러나 림 구동 추진기는 동력원인 전동기로부터 발생된 동력을 동력전달 부품 없이 프로펠러로 바로 전달하며, 이로 인해 축, 베어링, 기어 등에 의한 동력전달 손실을 최소화 할 수 있는 장점이 있다.

기존 축계 시스템이나 Azimuth Thruster, Pod 등은 프로펠러 중심의 축을 통해 프로펠러가 구동되는 구조이지만, 림 구동 추진기는 프로펠러 외경 축의 림 형태 전동기를 통해 구동되므로 프로펠러의 Tip 과 Root 부가 반대 형태이며, 프로펠러 중심축에 허브가 없는 구조이다. 이 차이점으로 인해 허브에서 발생하는 Hub Vortex Cavitation, Tip Vortex Cavitation 등에 의한 에너지 손실을 감소시켜 추력 효율에 유리한 구조를 가진다.

프로펠러 중심에 축, 허브가 없어 로프나 그물 같은 해상 부유물이 축에 감기는 사고를 방지할 수 있다. 이는 해상 부유물에 많이 노출되는 연근해 선박, 어선 등의 중소형 선박에 적용함에 있어 큰 장점으로 작용한다.

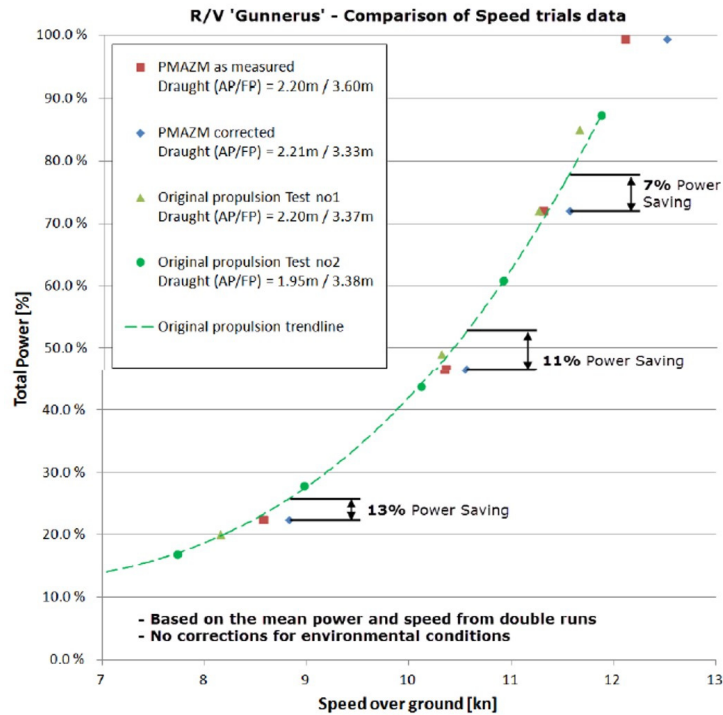
3.2 선체에 미치는 영향

기존의 축계 시스템과 비교하면 동력전달 부품인 축, 베어링, 기어 및 러더 등의 부품이 필요 없다. 이로 인해 선체에 추진기를 보다 유연하게 배치할 수 있으며, 선미 형상을 유동에 유리한 형상으로 최적화하기에 유리하다. 또한 추진기 및 관련 구성 품을 선미에 집중적으로 배치할 수 있어 화물창 공간을 효율적으로 활용할 수 있다. 따라서 선박의 소요동력, 에너지 손실을 줄일 수 있는 장점이 있다.



〈그림 3 선체 구조 비교〉

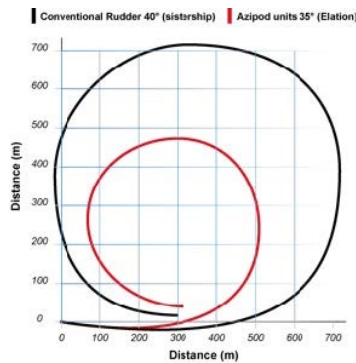
Rolls-Royce 사에서는 기존 축계 시스템이 장착된 선박에 림 구동 추진기로 교체하여 기존 축계 시스템과 소요 동력을 비교하였다. 그 결과 대부분의 속도 영역에서 기존 추진기 대비 림 구동 추진기의 소요 동력이 10% 내외로 저감됨을 확인할 수 있었다.



〈그림 4 Rolls-Royce 실선 비교 사례〉

림 구동 추진기는 Azimuth Thruster, Azipod 등의 선회식 추진기보다 추진기 자체의 회전 반경이 짧아 선미 선형 설계에 유리한 장점이 있다.

선회식 림 구동 추진기는 기존의 축계-러더 시스템 대비 선박의 선회반경을 줄여 운항 효율을 높일 수 있다. 실제 ABB 사에서는 선회식 추진기(Azipod)와 기존의 축계-러더 시스템의 선회반경을 비교하였으며, 선회식 추진기의 선회반경이 기존 축계-러더 시스템보다 약 38% 줄어듦을 확인할 수 있다. 러더 대신 선회장치를 적용해 운항 효율을 향상, 제어 자동화 및 제어 응답성 향상을 통해 친환경 선박뿐만 아니라 스마트, 자율운항 선박에 적용하기에도 유리하다.



〈그림 5 선회반경 비교 사례〉

기존의 축계-러더 시스템은 각종 축계 구성 부품 설치 및 축 정렬, 러더 설치 등의 공정이 요구되지만 선회식 림 구동 추진기는 제작사에서 공급된 추진기 조립체를 선체에 조립하는 작업만 요구되어 선박 건조 공정을 단축할 수 있는 장점이 있다.

4. 림 구동 추진기 기술 현황

해외 선진 사들은 Side Thruster, Azimuth Thruster, Pod 등의 추진기 모델을 보유하고 있음에도 추진 시스템의 효율 및 신뢰성 향상, 강화되는 환경규제 대응을 위해 림 구동 추진기를 개발하여 선박에 적용하고 있는 추세이다. 대부분의 림 구동 추진기의 정격 용량은 500 kW 내외이며, 최대 용량은 3,000 kW 정도이다. 각 제조사 별 림 구동 추진기 보유 현황을 표 1에 정리하였다.

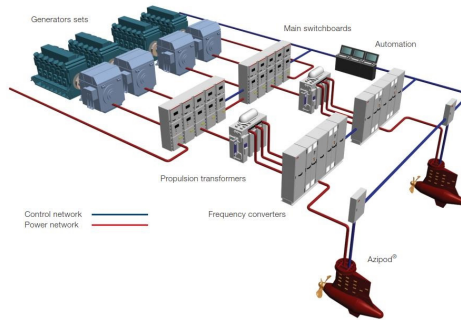
제조사	Propulsion		Thruster	
	용량 (kW)	직경 (mm)	용량 (kW)	직경 (mm)
Voith (Hubless Type)	50~500	380~1350	50~500	380~1350
Voith (Hub Type)	550~1500	1350~2300	550~1500	1350~2300
Kongsberg (Hub Type)	1100~2600	1900~2600	1000~1600	1600~2000
Brunvoll (Hubless Type)	600	1500	200~900	800~1750
Schottel (Hubless Type)	-	-	200~800	800~1600
HG Marine (Hubless Type)	300~3000	700~2600	300~3000	700~1600

〈표 1 림 구동 추진기 현황〉

각 제조사들은 림 구동 추진기를 Tunnel Thruster, Azimuth Thruster, Retractable Thruster 등의 다양한 형태의 추진기로 사용하고 있으며, 요트, 페리, 예인선 근해 지원 선박, 내수면 선박, 연구 선박 등에 적용하고 있다. 중국의 HG Marine 사는 주 추진기, Side Thruster, 선외기 등 다양한 용도의 림 구동 추진기를 최대 3,000 kW 까지 상용화 하였다. 영국의 해군 연구기관인 RINA 에 따르면 2018년 기준 상업적 용도의 선박 100 ~ 200 척에 림 구동 추진기가 장착된 것으로 추정하고 있다.

선박의 추진 시스템은 기존의 기계식 추진 시스템에서 전기식 추진 시스템으로 변경되고 있는 추세에 따라 선진 추진기 제작사들은 추진기뿐만 아니라 발전원부터 전력변환 시스템, 배전 시스템, 추진 전동기 드라이버, 제어 시스템까지 갖춘 추진 시스템을 Package 화하여 제공하고 있다. 원격제어가 용이하며, 시스템의 안정성을 높인 전기 추진 시스템은 친환경 선박 및 자율운항 선박 구현에도 필수적인 플랫폼이다.

ABB 사는 전원 공급 장치부터 전력 분배/변환 장치, 부하 측 드라이버까지의 추진 시스템을 Pod 와 함께 공급하고 있다. ABB 사뿐만 아니라 Kongsberg, Brunvoll, Wartsila 등 선진사 들은 대부분 전기추진 시스템에 대한 솔루션을 Package 화하여 제공하고 있다.



〈그림 6 ABB 사 전기추진 시스템〉

해외 선진사 주도로 림 구동 추진기뿐만 아니라 추진 시스템까지 이미 개발 완료되어 선박에 적용하고 있는 추세이다. 하지만 국내에서는 관련 연구나 개발이 많이 뒤쳐져 있는 실정이며, 추진기 개발뿐만 아니라 림 구동 추진기 적용에 적합한 선형 설계, 선회식 추진기 제어에 대한 연구 개발 기술 확보가 필요하다.

친환경 전기추진 선박 개발 동향에 따라 최근에는 선박 내 전력망이 기존의 교류(AC)에서 직류(DC) 기반으로 변화하고 있는 추세이다.

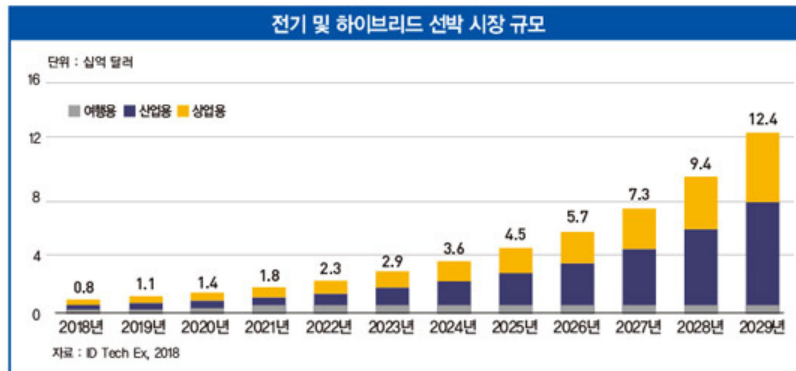
DC 배전은 중부하 운전 시, 엔진 회전속도를 부하에 따라 조절할 수 있어 연료 절감효과 및 부품, 장비 간소화로 인한 선체 공간 확보에 유리하며, 무게 절감으로 선박 연료 효율을 높일 수 있는 장점이 있다. 아울러 림 구동 추진기 또한 구동용 인버터(Inverter)의 전력변환이 간소화되어 인버터 전력변환에 의한 손실 저감 및 제품 단가 경쟁력이 있다.

다만, 직류배전 시스템의 보호 및 차단장치 분야는 교류배전 시스템 대비 기술적인 어려움이 있으며 이 단점은 지속적으로 연구개발 되고 있다.

5. 결론

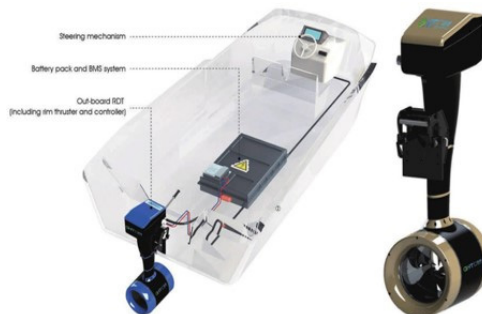
IMO(International Maritime Organization, 국제해사기구) 주도의 선박 배출가스 규제가 강화되고 있으며, 규제에 대응하기 위해 LNG, 암모니아, 수소, 연료전지, 하이브리드 기반의 다양한 동력원을 가진 선박에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 추진 시스템은 기계적 동력을 프로펠러까지 전달하는 방식인 기계식 추진 시스템에서 크게 벗어나지 못하고 있는 실정이다.

해외 선진사들은 이미 수십 년 전부터 모터를 구동하여 프로펠러에 동력을 전달하는 방식의 Azimuth Thruster나 Pod를 개발하여 실선에 적용해 왔으며, 추진기뿐만 아니라 발전계통 - 전력변환장치 - 전력분배장치 - 추진기를 Package 화한 추진 시스템으로 공급하고 있다. 이러한 추진 시스템은 전기추진 선박의 개발과 맞물려 선박의 동력원 개선에 따른 에너지 절감뿐만 아니라 선박 전체의 에너지 효율을 향상시킬 수 있는 중요한 요소로 자리 잡고 있다.



〈그림 7 전기 및 하이브리드 선박 시장 규모〉

림 구동 추진기는 선박의 주 추진기 용도뿐만 아니라 소형 어선용 선외기, 무인잠수정(ROV) 추진기 등 다양한 형태의 추진기로도 활용될 수 있다. 선박용 추진기 외에도 조수간만의 차를 이용하는 조류발전기, 물의 낙하 에너지를 이용한 소수력 발전기 등의 에너지 발전 분야에서도 활용 가능한 기술이다.



〈그림 8 소형 어선용 선외기 활용 사례〉



〈그림 9 조류발전기 활용 사례〉

해상 환경규제에 따라 전기추진 선박 및 관련 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 경쟁이 치열하다. 림 구동 추진기에 대해 국내에서는 연구소 단위의 개발이 진행되고 있으나, 실선 적용은 전무하다.

활발한 친환경 전기추진 선박의 연구개발에 발맞춰 Pod나 림 구동 추진기와 같은 모터-프로펠러 직접 구동 방식 추진기의 필요성이 증가하고 있으나 발전원부터 추진기까지 Package화 하는 외국 선진사와의 기술격차는 점점 벌어지고 있다. 격변하고 있는 친환경 전기추진 선박의 추진기술과 조선 시장을 주도하기 위해서는 모터 직접구동 방식에 적합한 고효율 모터 및 제어기술, 특화된 Blade 그리고 유체 베어링의 대형화 기술의 연구개발이 시급하다. 아울러 이러한 추진기 적용을 최적화할 수 있는 선체 개발과 발전 배전, ESS 등과의 시스템 통합 분야에 대한 연구를 통하여 다가오는 친환경 시장에서의 경쟁력을 확보해야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

김수남, 박영호 [DC 전기추진선 기술동향, 현대일렉트릭]

Gunnar Johsen, Olav Haug Vikebakk [Ship Efficiency – Permanent Magnet Technology, Rolls-Royce] (2014)

[Azipod D-gearless thruster, ABB] (2019)

Kimmo Kokkila [Polar expedition ships: Ultimate passenger safety and comfort with Azipod propulsion, ABB] (2017)

이창언 [ABB의 독보적인 Marine and Offshore Solution, ABB Korea] (2011)

<https://magazine.hankyung.com/business/article/202009099324b> [바다 위의 테슬라 온다... 닷 올린 '친환경 스마트 선박'] (2020)

Oystein Engelhardtsen [Revolt og klassegodkjenning av autonome skip, DNV GL] (2016)

VOITH [Voith Inline Thruster(VIT), Voith Inline Propulsion(VIP)]

Norway Exports [<https://www.norwayexports.no/news/the-first-ship-ever-with-azimuth-rim-driven-thrusters-to-be-put-into-commercial-service/>] (2011)

Charged Electric Vehicles Magazine

[<https://chargedevs.com/newswire/rolls-royce-unveils-marine-battery-system/>] (2018)

DNV GL [The next bevolt] (2014)

[<https://blog.naver.com/PostView.naver?blogId=hongkevin&logNo=221988554036>] (2020)

EMEC [<https://www.emec.org.uk/about-us/our-tidal-clients/open-hydro/>]