

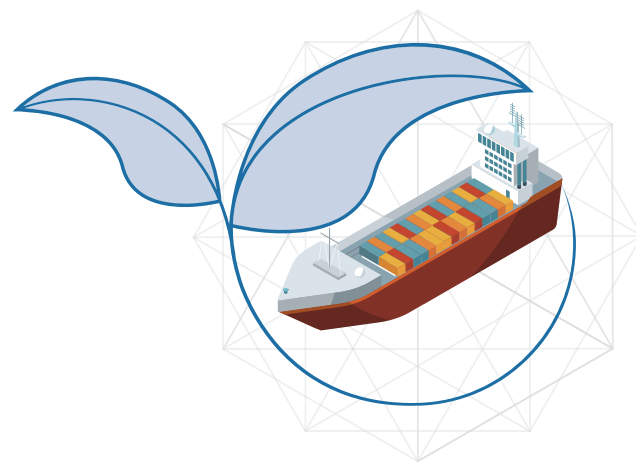
북극해 운항 선박의 친환경 연료 적용 현황 및 전망

대우조선해양 구조연구부 책임연구원
최중호(jhchoi@dsme.co.kr)

‘필자의 말,’

과거에는 접하기 힘들었던 정보들을 누구나 쉽게 찾아볼 수 있는 정보화의 시대 속에 기축 통화인 미국 달러의 유동성 증가는 어느 영역이든 정확한 미래 전망을 매우 어렵게 하고 있으며, 중요한 에너지원인 석유 가격의 전망조차 어려운 상황이다. 하지만 지구온난화라는 용어가 일상생활에서 흔히 언급되는 요즘 시대에 예측하기 어려운 미래 수요 전망을 기반으로 친환경 선박 개발의 필요성에 대한 논의보다는 경쟁력 있는 친환경 선박 개발을 위해 어떤 기술이 더 필요한지, 부족한 기술은 어느 것이고 무엇을 더 해야 하는지를 파악하여 기술 확보를 위해 노력하는 것이 현실적으로 미래를 준비하는 모습이라고 판단된다.

2020년 12월 ‘2030 한국형 친환경 선박(Greenship-K) 추진 전략’이 정부 관계 부처 합동으로 발표됐다. 환경 규제 강화에 따라 친환경 선박으로의 패러다임 전환을 대비하여 체계적이고 중장기적인 기술 개발 계획을 담고 있다. 본고에서는 이 추진 전략과 현재 설계 및 운용되고 있는 친환경 선박의 적용 기술을 근거로 향후 북극해 운항 친환경 선박의 미래 모습을 전망해 보고자 한다.



- I. 친환경 선박 개발의 배경
- II. 친환경 선박
- III. 북극해 운항 선박과 친환경 연료 적용 전망
- IV. 마치는 말

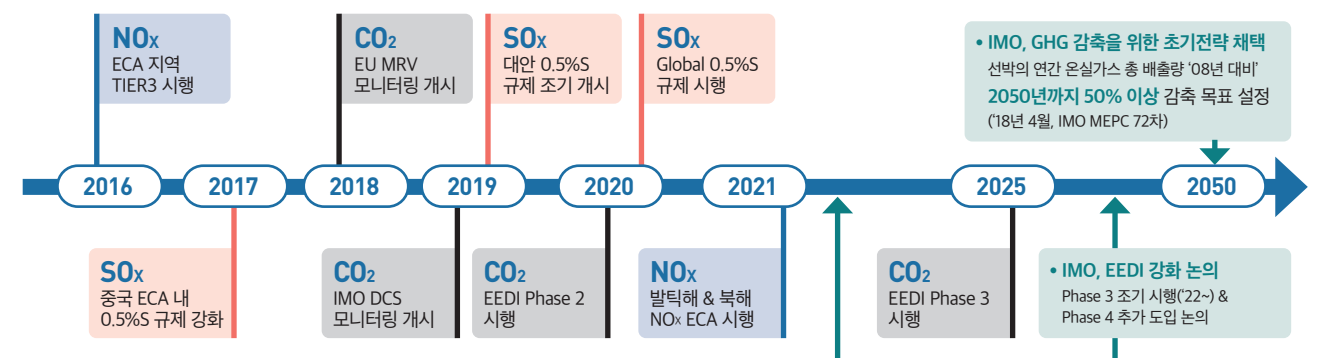
I 친환경 선박 개발 배경

화석 연료를 사용하는 선박은 자동차와 마찬가지로 미세먼 지 외에 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx), 이산화탄소가 배출 될 수밖에 없다. 많은 화물을 싣고 국가와 국가를 이동하는 선 박은 차량보다 더 큰 규모의 오염 물질을 배출하고 있고 이 오 염물질은 줄이는 것은 지구 온난화를 막는 데 있어 중요한 일이다. 선박의 운항을 관장하는 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)는 국제해양오염방지협약(MARPOL 73/78)을 개정하여 해양 환경 규제를 지속해서 강화하고 있으 며, 황산화물 배출 저감을 위해 선박 연료유 내 황 함유량 기준 을 3.5%에서 0.5%로, 질소산화물 배출 기준을 기존 대비 15% 저감하도록 하고 있다. 이에 더해 미국, EU, 중국, 대한민국 등 주 요국은 배출규제해역(ECA, Emission Control Area)을 지정해 선 박 연료유 내 황 함유량 0.1% 등 국제해사기구보다 더욱 강화된 환경 규제를 도입하고 있다. 국제해사기구 및 주요국의 규제는 선박의 주요 연료인 중유(HFO, Heavy Fuel Oil) 사용을 제한하 게 되어 MGO(Marine Gas Oil), MDO(Marine Diesel Oil) 등 저 유황유(Low Sulphur Fuel Oil) 사용, 황산화물 배기가스 정화장 치(SOx Scrubber) 적용, 액화천연가스(LNG, Liquefied Natural Gas)와 같은 친환경 대체 연료 사용 등 기존의 연료 사용 방식의 큰 전환이 필요하게 되었다.

국제해사기구는 온실가스(GHG, Green House Gas) 배출 기 준 또한 지속 강화하고 있다. 선박별 이산화탄소(CO₂) 배출 기 준을 2008년부터 단계적으로 강화해 국제 해운 부문 이산화탄 소 총 배출량을 2050년까지 2008년 대비 50% 감축을 목표

로 하고 있다. 새로 건조되는 400톤 이상 선박에 대하여 1톤 화 물을 1해리 운송할 때 발생하는 이산화탄소 배출량을 추정하는 에너지효율 설계지수(EEDI, Energy Efficiency Design Index) 를 도입해 적용 중이며, 2015년부터 2030년까지 5년마다 10% 씩 추가적으로 배출량 감축을 추진 중이다. 현재 운항 중인 선박 에 대해서도 에너지 효율지수(EEXI, Energy Efficiency Existing Ship Index)를 도입해 적용할 계획이다. 단기적으로 EEDI 규제 를 만족하는 선박 설계 능력이 요구되며, 연비 효율 향상을 위 해 저항을 적게 받는 선체의 형상 개발, 경계속도로 운항 가능 한 항로 및 운항 조건 설정, 연비 향상을 위한 연료 저감장치 개 발 및 설치 등을 적용 중이다. 경제운항의 경우 스마트십 기술과 연동해 이산화탄소 배출량을 줄일 수 있는 항로 및 선속을 제안 해 주는 시스템들이 설치되고 있다. 선종별, 항로별로 다르지만 일반적으로 정속 운항 속도 대비 선속을 10% 낮추면 연료 소모 가 20% 이상 감소해 이산화탄소 배출량이 줄어드는 효과가 있 고, 이를 운항 계획에 반영해 운항하도록 제안하고 있다. 하지만 이산화탄소 배출량을 20% 이상 낮추려면 설계 요소 이외에 친 환경 대체 연료 사용 등 중장기적으로 고연비, 저탄소 선박 개발 이 필요하다. 또한 현재 친환경 연료로 주목받는 액화천연가스 (LNG, Liquefied Natural Gas) 연료의 경우 액화천연가스 추진 선박의 수요가 급증하고 있으나, 온실가스 배출량 절감에는 큰 효과를 기대하기 어려우므로 수소, 암모니아 등의 대체 연료 적 용에 대한 기술 개발이 진행되고 있다.

그림 1 국제해사기구(IMO) 및 주요국 해양 환경 규제



*출처 : '2030 한국형 친환경 선박 추진 전략', 관계 부처 합동, 2020년 12월

'2030 한국형 친환경 선박 추진 전략'에 따르면 전 세계 상선 총 102,960척 중 5,753척(약 5.6%)만이 액화천연가스 추진 장치, 황산화물 배기가스 저감 장치 등 친환경 기술이 적용된 선박으로 파악된다. 친환경 기술이 적용된 5,753척 중 약 78%가 저감 장치가 장착되어 있고, 16%는 액화천연가스 추진 선박, 나머

지 6%는 대체연료 선박이다. 국제해사기구 및 각 나라의 황산화물 규제의 대응으로 친환경 기술의 적용 없이 저유황유를 사용하는 선박이 가장 많다. 하지만 앞서 언급된 중장기적인 환경 규제 강화 계획에 따라 암모니아와 같은 대체 연료 사용 등 친환경 기술 적용은 더욱 활발해질 것으로 예상된다.

II 친환경 선박

'환경친화적 선박의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률(이하 친환경 선박법)'이 2018년 공포되어 2020년부터 시행 중이다. 친환경 선박법에 따르면, 친환경 선박은 친환경 에너지 또는 연료를 동력원으로 사용하거나 해양 오염 저감 기술 또는 에너지 효율 향상 기술을 탑재한 선박으로 정의되며 아래와 같이 5가지로 분류할 수 있다.

- 해양 오염 저감 기술 또는 선박에너지 효율 기술 적용 설계 선박
- 액화천연가스(LNG), 수소, 암모니아 등 친환경에너지 추진 선박
- 충전되는 전기에너지를 동력원으로 하는 전기 추진 선박
- 연료와 전기에너지를 조합하여 동력으로 사용하는 하이브리드 선박
- 수소 등을 사용하여 발생시킨 전기에너지를 이용한 연료 전지 선박

(1) 해양 오염 저감 기술 또는 선박에너지 효율 기술 적용 설계 선박

해양 오염 저감 기술 또는 선박에너지 효율을 높이는 기술은 현재 가장 활발한 기술 개발과 더불어 실제 선박에 적용되고 있다. 스크러버라고 표현되는 황산화물 저감 장치의 경우 2010년대 중반부터 중유(HFO)를 사용하는 대형선들에 설치됐다. 대체 연료 등 다른 친환경 기술보다 비교적 이른 시일 안에 큰 설계 변경 없이 설치할 수 있는 장점이 있다. 스크러버 장치 내 알칼리성 바닷물에 의해 황의 산성분이 제거된 후 배출되는 형태로 해수 사용 후 다시 바다에 방류하는 '개방형 시스템', 알칼리성 성분인 수산화나트륨이 포함된 정화수를 사용해 정화 프로세스 후 불순물이 포함된 소량의 물만 따로 분리해 별도 처리한 뒤 바다로 방류하는 '폐쇄형 시스템', 선박의 상황에 따라 해수와 정화수를 사용할 수 있는 '하이브리드 시스템'이 있다. 노르웨이 선급(DNV) 자료에 따르면 2019년 전 세계 스크러버 시장의 65%가 개방형 스크러버다. 그런데 개방형 시스템의 경우 환경 오염 측면에서 문제점이 지적돼 주요 선진국에서는 사용을 금지했다. 따라서 폐쇄형 또는 하이브리드 제품이 좀 더 주목받을 것으로

예상한다. 중유 사용 선박은 스크러버 사용으로 황산화물 배출량을 최대 90%까지 감소시킬 수 있다. 그러나 저유황유와 중유의 가격 차이 변동과 대표적인 오염 물질인 중유 생산량 축소 등으로 인해 중장기적인 적절한 규제 대응 방법으로는 한계가 있을 것으로 보인다.

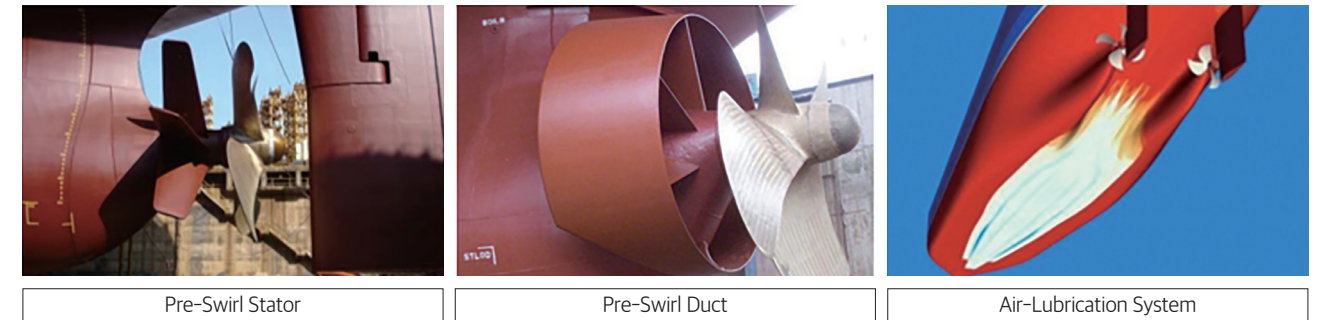
질소산화물(NOx) 배출량을 감소시키는 저감 장치로 배기가스 재순환장치(EGR, Exhaust Gas Recirculation)와 선택적 환원 촉매 장치(SCR, Selective Catalytic Reduction)가 대표적이다. 국제해양오염방지협약 부속서 6에 따라 질소산화물 배출 규제는 Tier I~III로 구분되며, Tier II~III이 적용된 2011년 이후부터는 규제 대응을 위해 회전 속도를 낮추고 행정을 길게 하는 방향으로 선박 엔진이 개발되고 있다. 배기가스 재순환 장치는 연소 후 배출되는 배기가스를 냉각하고, 필터를 거쳐 엔진 실린더 내부로 보내 실린더 내부 연소 온도를 낮춰 질소산화물 발생량을 줄이는 방식이다. 선택적 환원 촉매 장치는 촉매 반응을 통해 화학적인 방법으로 질소산화물 발생량을 줄이는 장치로 우레아(Urea)와 같은 환원제를 사용하여 질소산화물을 질소와 물로 전환한다.

선박에너지 효율 기술은 선박의 선형을 최적 설계하고 유체의 흐름을 원활하게 할 수 있는 부가물을 설치해 선박의 추진 시 발생하는 물의 저항을 줄이는 기술, 신소재 적용을 통한 선박의 경량화, 로터 세일 등 추진 효율을 향상시키는 기술, 항로 탐색 및 환경 조건에 따르는 운항 조건 변경 등 운항 효율을 최적화하는 기술 등이 있다.

선박 선형의 경우 과거 최대 선속을 달성할 수 있는 선형이 개발되었다면, 최근에는 오염물질이 적게 배출되는 엔진 사양 기준에 맞춰 설계 속도가 달성되도록 기술개발 방향이 변경됐다. 또한 전류 고정 날개(PSS, Pre-Swirl Stator), 공기 윤활 시스템(ALS, Air-Lubrication System) 등 에너지 저감 장치(ESD, Energy Saving Device) 개발이 활발히 진행돼 다수의 신조 선박에 설치되고 있으며, 이미 운항 중인 선박에 대한 적용 또한 적극적으로 진행 중이다.

자율 주행 차량처럼 바다 위에서도 선원 없이 항해하는 자율

그림 2 에너지 저감 장치(ESD, Energy Saving Device)



*출처 : 'An Overview of Hydrodynamic Energy Efficiency Improvement Measures', SOME 2015년

운항 선박 개발이 최근 주목받고 있다. 스마트십 기술로 통칭하는 자율 운항 선박의 대표적인 장점 중 하나가 경제 운항 솔루션 제공을 통한 상업용 선박 운송비 중 대부분을 차지하는 연료비 절감이다. 이는 곧 온실가스 배출량을 최소화할 수 있음을 의미한다. 파고, 조류, 바람 등과 같은 환경 조건을 예측·분석해 최적화된 항로 설정을 해주고, 현재 해역에서 경제 운항을 위한 최적 속도 등을 선장 및 육상에 있는 운항 센터에 제공하는 것은 현재 적용되고 있는 스마트십 기술이다. 이 기술을 자동화한 것이 자율 운항 선박으로 볼 수 있다. 선박의 무인화는 선박 보험, 고용 등 여러 이슈로 단기간에 성과를 볼 수 없는 상태이지만 무인화를 위해 확보된 경제 운항 솔루션과 같은 기반 기술은 현재 실제 선박에 활발히 적용되고 있다.

해양 오염 저감 장치의 경우 친환경 대체 연료를 사용할 경우 연료의 종류에 따라 설치 여부가 결정될 수 있다. 예를 들어 중유가 아닌 저유황유를 사용할 경우 황산화물 배출이 자연스럽게 감소하므로 황산화물 저감 장치 적용이 불필요하다. 황이 함유되지 않는 액화천연가스를 연료로 사용할 때도 마찬가지다. 이 경우 질소산화물 저감 장치(SCR)가 탑재된 엔진을 적용하여 규제에 대응할 수 있다. 따라서 친환경 대체 연료 사용이 활발해질 경우 저감 장치의 시장 규모가 다소 축소될 수도 있다. 하지만 선박에너지 효율 기술은 선박 자체의 에너지 효율을 향상시켜 친환경 대체 연료가 적용될 경우도 선박 운영 경비의 절감 차원에서 수요가 지속 발생할 것으로 예상된다. 이는 조선 산업의 기술 격차를 만들어 주는 주요 기술로 볼 수 있다.

(2) 액화천연가스(LNG), 수소, 암모니아 등 친환경 에너지 추진 선박

액화천연가스, 압축천연가스(CNG, Compressed Natural Gas), 액화석유가스(LPG, Liquefied Petroleum Gas), 메탄올, 암모니아, 수소, 바이오연료, 에탄올, 풍력, 태양광 등의 에너지원을 추진 연료로 사용하는 선박을 '친환경 에너지 추진 선박'으

로 정의한다. 국제해사기구는 해상안전인명협약(SOLAS)에 가스 운반선을 위한 안전 규정(IGC Code, International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk)을 1983년 제정해 적용하고 있다. 또한 2015년 가스 연료 추진선을 위한 안전 규정(IGF Code, International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels)을 제정했다. 이 규정들에 포함된 가스 연료의 경우 규정을 만족하는 선박이 개발되는 것이며, 규정에 언급되지 않은 가스 종류나 항목의 경우 안전성을 검증하기 위한 추가 검토가 이루어지고 있다.

친환경 연료를 사용하는 선박을 개발하기 위한 핵심 기술은 친환경 연료를 사용할 수 있는 엔진과 같은 추진 기관 개발, 연료저장설비, 연료 공급 장치 기술이다. 친환경 연료로 현재 가장 많이 사용되는 액화천연가스 추진 선박의 개발 역사를 기반으로 친환경 에너지 추진 선박의 개요를 서술해 보고자 한다.

액화천연가스 추진 선박은 액화천연가스 운반선 기술에서 파생됐다. 1958년 미국 앨라배마조선소에서 화물선을 개조해 만든 '메탄 파이어나호'가 세계 최초의 액화천연가스 운반선으로 기록되어 있으며, 이후 1964년 독립각형 탱크 방식의 '메탄 프린세스'호, 1969년 멤브레인 탱크 방식의 '폴라 알래스카호', 1973년 '베네타호'가 건조됐다. 이후 1975년부터 액화천연가스 운반선은 대형화돼 현재에 이르렀다.

액화천연가스 운반선은 개발 초기 단계부터 천연가스를 연료로 사용해왔다. 천연가스를 냉각과 가압으로 액화시켜 특수한 보냉 화물창 안에 주입해 운반하는 것이 액화천연가스 운반선이다. 영하 163°C에서 액체 상태가 유지되는 천연가스 특성상 화물창 내부 온도가 오르면 기화가 발생하는데 외부로부터 열이 유입되는 것을 완벽히 차단하는 방열 시스템 구현에는 한계가 있어 화물창 내부의 액화천연가스는 기화가 발생할 수밖에 없다. 이 증발가스(BOG, Boil-Off Gas)를 그대로 두면 화물창 내부 압력이 지속적으로 증가해 폭발할 수 있으므로 증발가스를 연료로

사용하거나 재액화시켜 화물창으로의 복귀, 혹은 태워버리는 방안이 필요하다.

1960년대 처음 등장한 액화천연가스 운반선은 이 증발가스 문제 해결을 위해 스팀터빈엔진을 적용했다. 증발가스로 보일러 물을 끓여 발생한 고압의 스팀으로 터빈을 구동하고 이를 추진력으로 활용했다. 스팀터빈엔진은 2000년 무렵까지 40여 년간 액화천연가스 운반선의 주요 추진 기관이었다. 하지만 낮은 열효율과 고압 스팀의 사고 위험, 과도한 이산화탄소 배출 등으로 최근에는 적용되지 않고 있다.

스팀터빈엔진 이후 DFDE(Dual Fuel Diesel Electric) 시스템이 개발되어 현재까지 적용 중이다. DF(Dual Fuel) 엔진은 열효율이 우수한 내연기관으로 천연가스와 디젤오일을 모두 연료로 사용할 수 있다. 증발가스와 연료로 DF 엔진을 가동해 전기를 생산한 후, 이 전기로 모터를 구동하여 추진하는 방식이다. 2000년대 건조된 대부분의 액화천연가스 운반선이 이 추진 방식을 채택했을 만큼 열효율과 안정성 향상, 오염물질저감 등 스팀터빈엔진에 비해 장점이 많다.

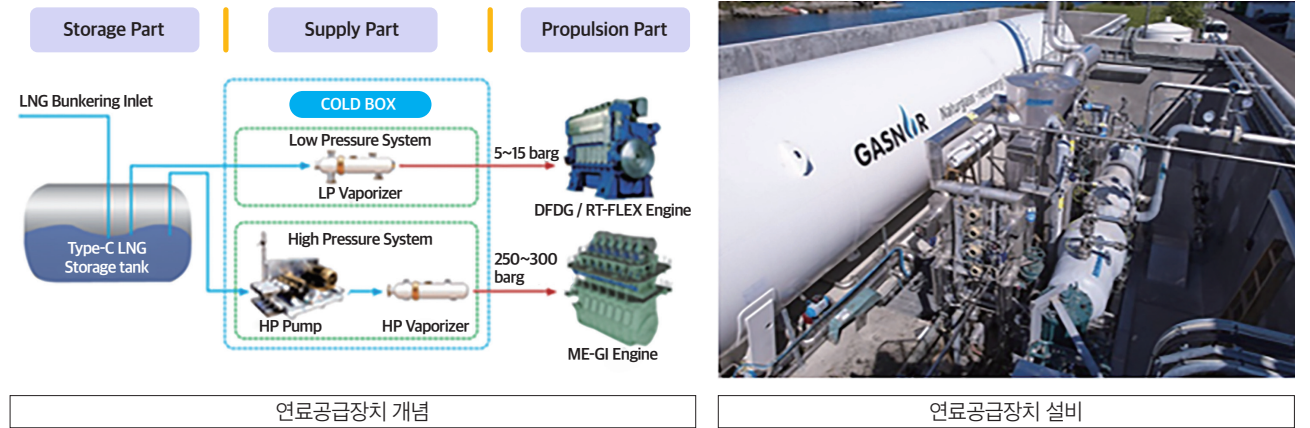
화물창 종류와 단일시스템 종류에 따라 발생하는 증발가스의 양은 달라질 수밖에 없지만, 일반적인 멤브레인 방식 화물창을 채택한 경우 발생한 증발가스가 모두 연료로 사용되는 것은 아니다. 엔진을 계속 사용하고 있는 경우에도 잉여 증발가스가 발생하는데 이 잉여 가스를 별도의 연소시스템을 통해 태우거나, 재액화장비를 설치하여 화물창으로 돌려보내는 방법이 있다. 재액화장비는 기체 상태의 증발가스를 압축해 고온고압의 기체로 만들고 냉각수 등으로 냉각해 저온고압 상태로 만든 후, 팽창기를 통해 기체의 압력을 떨어뜨려 저압 극저온 상태로 냉각시켜 주는 방식을 주로 사용한다. 하지만, 재액화장비의 설치 비용과 가동을 위한 에너지 비용을 고려하면, 대기 중에 직접 연소가 되어 환경오염에 문제가 될 수 있으나, 이러한 연소시스템으로 태워버리는 것이 더 경제적이다.

2000년대 말부터 ME-GI(Main engine Electronic control Gas Injection) 엔진과 X-DF(eXtra long stroke Dual Fuel) 엔진이 차례로 개발되었다. 이 새로운 엔진들은 디젤오일과 압축된 천연가스를 연료로 사용하기 때문에 연료공급시스템 내에 압축기가 설치되고 이 압축기에 열교환기와 팽창기만을 추가로 장착하여 재액화장비를 보다 경제적으로 구현할 수 있게 되었다. 발전기로 전기를 생산하여 추진하는 방식보다 직접 엔진을 가동하여 추진하는 방식은 엔진 효율이 높고 잉여 증발가스를 재액화할 수 있는 장점이 있어서 2010년대 중반 이후 다수의 시스템이 액화천연가스 운반선에 설치되고 있다. 실제 운항을 통한 경제성 및 안정성 확인 후 유조선, 컨테이너선, 벌크선 등 다른 선종의 액화천연가스 추진선으로 적용되고 있다.

대형 액화천연가스 운반선의 액화천연가스 저장 방식은 과거 모스(Moss) 형식과 같은 독립형 탱크 방식에서, 현재 대다수의 선박에서 공간 활용을 높이기 위한 멤브레인 방식을 적용하고 있다. 액화천연가스 추진선 연료저장 방식의 경우 화물 종류에 따른 선박의 형태, 운항 거리 및 액화천연가스 벙커링 방식 등 선박의 종류별 운항 특성, 선박의 가격, 선박의 건조 기간, 액화천연가스 저장 방식들의 장·단점 등이 검토됐으며, 유조선과 벌크선의 경우 Type-C 독립형 탱크, 컨테이너선의 경우 Type-B 독립형 탱크와 멤브레인 탱크가 가장 많이 적용되고 있다.

연료공급장치는 육상 액화천연가스 기지, 액화천연가스 생산 설비, LNG-RV (LNG-Regasification Vessel), LNG-FSRU(LNG-Floating Storage Regasification Unit), LNG-FPSO(LNG-Floating Production Storage and Offloading) 등 액화천연가스 설비들의 발전과 함께 개발 및 개선되어 오고 있다. 엔진의 특성과 재액화 설비의 추가가 연료공급장치 설계의 핵심이며, 위험화물인 액화천연가스를 컨테이너선, 벌크선과 같은 일반화물선에 적용하기 위해서는 리스크 분석을 통한 위험 영역 선정, 격벽 배치 등 연료공급장치와 선박 설계가 함께 진행되어야만 한다.

그림 4 액화천연가스 연료공급장치



*출처 : 액화천연가스 연료공급시스템 관련 언론사 보도자료 (대우조선해양)

앞서 언급했듯이 액화천연가스 추진선은 2000년대 말 ME-GI, X-DF 등 천연가스를 직접 연료로 연소하는 엔진들이 개발되면서부터 본격적으로 검토되었다. 국제해사기구 및 각국의 해양환경 오염 규제와 기반 기술로 볼 수 있는 저장 설비와 연료공급장치 관련 기술은 이미 액화천연가스 운반선에 적용되고 있었기 때문에 다수의 선박 발주가 당시에 예상되었다. 하지만, 기술적인 문제가 아닌 다른 문제들로 인해 수주 및 건조로 바로 이어지지 못하였다. 액화천연가스를 연료로 공급받기 위한 시설 즉, 벙커링을 위한 설비가 액화천연가스의 위험성으로 인해 이미 개발되어 운용 중인 대다수 대형 항구에 설치되는 것이 어려웠고, 선가 대비 높은 초기 투자비 또한 문제가 되었다. 저유황유와 오염저감장치를 설치하는 방법 또한 대안으로 존재하고 있는 상황에 액화천연가스 벙커링의 제한은 액화천연가스 추진선 사업화의 큰 장벽이었다. 액화천연가스 벙커링 선박 등이 건조된 2010년대 후반부터 조금씩 액화천연가스 추진선의 발주가 시작되어 현재는 발주되는 대형 화물선의 대다수가 액화천연가스 추진 방식을 채택할 정도로 액화천연가스 추진선 시장은 급성장하고 있다. 하지만, 향후 강화될 것으로 계획되어 있는 이산화탄소 배출규제를 만족할 수 없어 이산화탄소 포집 기술, 수소연료전지나 배터리를 이용한 하이브리드 시스템 등이 대안으로 대두되고 있다.

현재 가장 사업화가 활발한 친환경 대체 연료 선박인 액화천연가스 추진선과의 비교를 통해 다른 친환경 대체 연료들을 살펴보면 각 연료의 전망이 가능할 것 같다. <그림 5>는 영국 Watson Farley & Williams에서 해운 선사, 조선소, 선급, 연구소, 투자사 등 해운 업종 종사자들에게 미래 전망에 대해 설문 조사한 결과 중 대체 연료에 대한 것이다. 친환경 선박의 분류 기준과 약간 다르긴 하지만 어느 영역이 시장의 관심을 받을 것인가를 볼 수 있는 자료이다. 복수 응답이 가능했기 때문에 그림의 비율을 백분율이 아닌 얼마나 많은 관련 업종 종사자들의 관심을 받고 있는지에 대한 척도로 보면 될 것 같다.

그림 3 액화천연가스 추진선의 독립형 연료 저장 설비



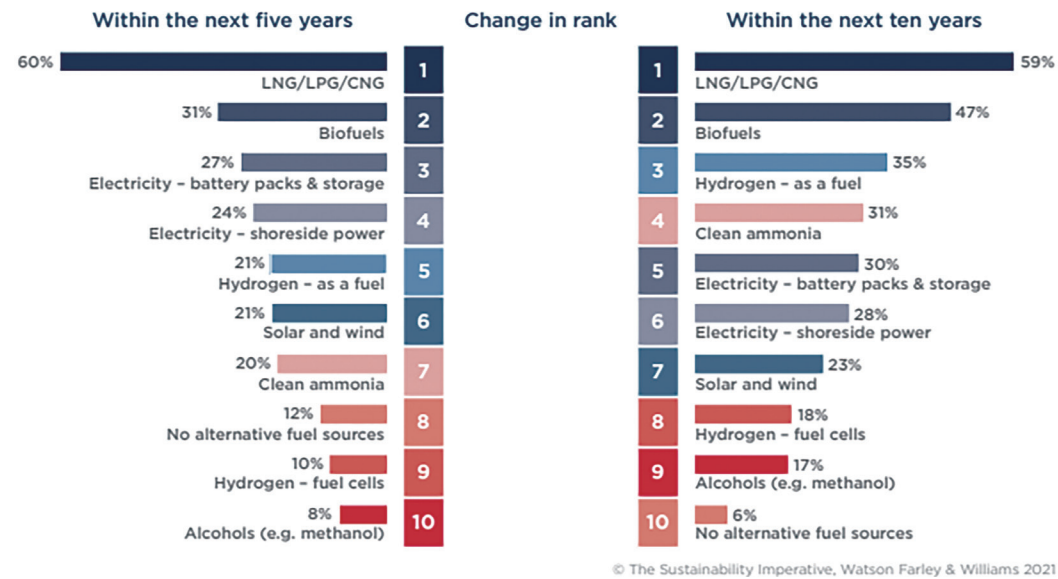
Type-B 탱크 및 컨테이너선 적용

Type-B 탱크 적용 유조선

*출처 : 독자 기술로 개발된 액화천연가스 추진선들에 대한 언론사 보도자료 (대우조선해양/현대중공업)



그림 5 설문조사 결과 - 대체 연료에 대한 전망



설문조사 결과에 따르면 액화천연가스는 향후 10년 내에도 가장 활발하게 적용될 것으로 판단되며, 바이오연료가 두 번째로 많은 선택을 받고 있다. 바이오연료는 원료의 종류에 따라 1세대(곡물류), 2세대(목질계), 3세대(미세조류)로 구분이 되며 원료들이 대기 중 이산화탄소를 생물학적으로 회수하거나 폐기물을 사용함에 따라 친환경 연료로 분류된다. 추출, 담화, 발효, 촉매 등의 공정을 통해 바이오디젤, 바이오알코올이 생산되며 기존 화석연료와 거의 동일한 성질을 가지고 있어 기존 선박에서 이용하던 연료공급장치와 연료저장설비를 그대로 사용할 수 있는 장점이 있다. 다만, 바이오연료 생산을 위한 대규모 설비투자가 필요하며, 원료가 식량이다 보니 수요가 많아질 경우 식량, 사료와의 경쟁으로 국제곡물가격에 영향을 미칠 수 있으며, 원료 생산을 위해 삼림 지역을 개간할 경우 이산화탄소 흡수 감소가 야기될 수 있는 우려가 있다. 해운선사 입장에서는 추가적인 투자 없이 규제 대응이 가능하므로 몇 년 전부터 꾸준히 바이오연료를 사용한 시험 운항을 통해 실증 작업을 해오고 있다. 실증 후 기존 사용 연료인 중유 및 저유황유와 큰 차이점이 없다면 바이오연료의 생산량, 항구까지의 공급 방법, 가격 등의 영향이 사업화에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 보인다.

친환경 연료로서 수소와 암모니아의 경우 향후 10년 내 활용에 대해 다소 높은 선택을 받았다. 액화천연가스 이후 대체 연료를 수소나 암모니아로 보는 시각이 우세한 듯하다. 수소나 암모니아를 직접 연료로 사용하는 선박용 엔진은 아직 개발 중이다. 수소와 암모니아 모두 종류화염속도 등과 같은 연소 특성에서 디젤, 액화천연가스 등과 차이가 있어 직접 연소를 시키기 위해서는 엔진 개발이 필요하다. 세계 최고 기술의 선박 엔진 회사

중 하나인 MAN 에너지솔루션에서는 2024년 상용화를 목표로 암모니아 엔진을 개발 중이며 수소 엔진의 경우 암모니아 엔진보다 시장 진입이 늦을 것으로 예상하고 있다.

수소와 암모니아 역시 저장을 위해서는 액화가 필요하다. 수소는 영하 253도에서 액화시켜야 하므로 운송 및 저장 과정에서 큰 에너지가 소모되며, 운송 과정에서 발생하는 증발가스 역시 다른 연료 대비 커서 이로 인한 에너지 손실량도 많다. 또한, 영하 253도의 극저온 환경과 수소가 금속에 침투하여 금속이 유리하고 같이 깨지기 쉬운 형태로 변하는 수소취화 현상을 해결할 재료가 저장 용기에 적용되어야 한다. 스테인리스 스틸, 복합 재료 등 이미 적용 가능한 재료는 있으나, 필요한 저장 용량 및 이에 따르는 탱크 크기, 벙커링 프로세스 등이 엔진 개발 이후 최적화 및 경제성 평가 과정을 거치면서 검토되어야 한다.

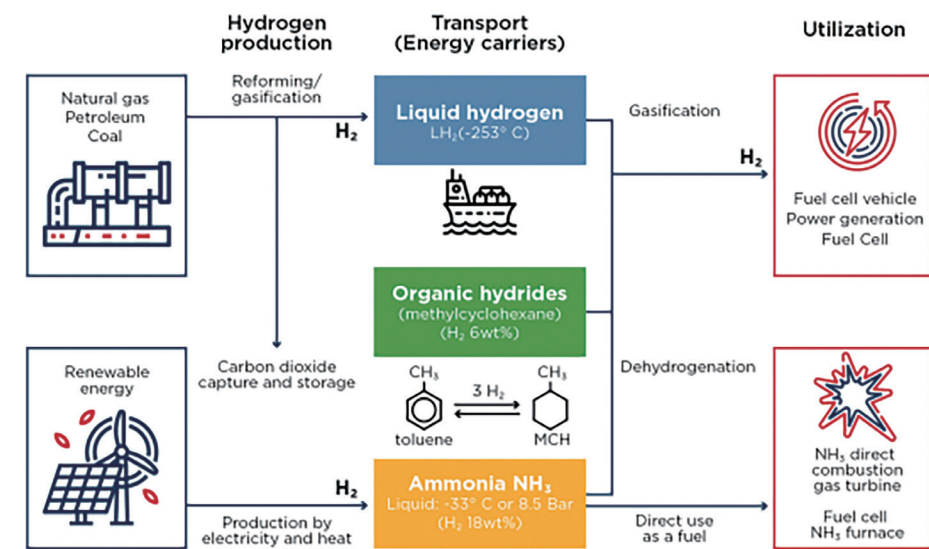
암모니아의 경우 가스운반선을 위한 안전규정(IGC Code)상 Type-A 탱크 형태의 암모니아 운반선이 이미 운항 역사가 깊어 액화천연가스 사례와 같이 암모니아 사용 엔진만 개발된다면 짧은 기간 안에 상용화될 것으로 예상하고 있다. 다만, 안전규정(IGC Code)에 유독성 물질로 분류된 화물은 연료로 사용할 수 없다는 규정이 있기 때문에 독성 가스인 암모니아의 연료 적용을 위해서는 규정 변경 또는 예외 조건에 대한 검토가 필요하다. 암모니아 운반선이 이미 운항 중이므로 단기간에 연료저장설비 및 연료공급장치 개발이 가능할 것으로 보이지만, 아직 엔진이 개발 중인 상황이라 수소와 마찬가지로 엔진 개발 후 보다 더 세부적인 개발 과정이 필요하다.

친환경에너지를 연료로 사용하는 선박은 현재 액화천연가스 추진선이 가장 많이 발주되어 건조 및 인도되고 있으며 향후 10

년 정도는 액화천연가스가 대체 연료 시장의 주류가 될 것으로 예상하고 있다. 선박의 연료는 해양오염방지 규정에 대응하기 위해 결정하는 것이 가장 우선이지만, 연료 공급망, 공급 방법, 가격 또한 추진 연료 결정에 큰 영향을 끼친다. 연료공급 설비를 갖추기 위해서는 대규모 투자가 필요하며, 액화천연가스의 경우 연료공급을 위한 대규모 투자가 최근 10년 내 세계 주요국에 있

었다. 수소, 암모니아와 같은 다른 대체 연료들도 이와 유사한 형태의 시설 투자가 필요하며, 수소, 암모니아의 생산을 위한 투자 역시 필요한 상황이다. 환경오염방지 측면에서 수소와 암모니아는 미래에 주로 사용될 유력한 대체 연료들이다. 하지만, 가까운 시일 안에 액화천연가스 이외에 다른 친환경 연료를 사용한 선박의 시험 운항이 아닌 실제 운항은 보기 어려울 듯하다.

그림 6 수소/암모니아의 생산과 사용



*출처 : Zero Carbon Outlook, ABS, 2022

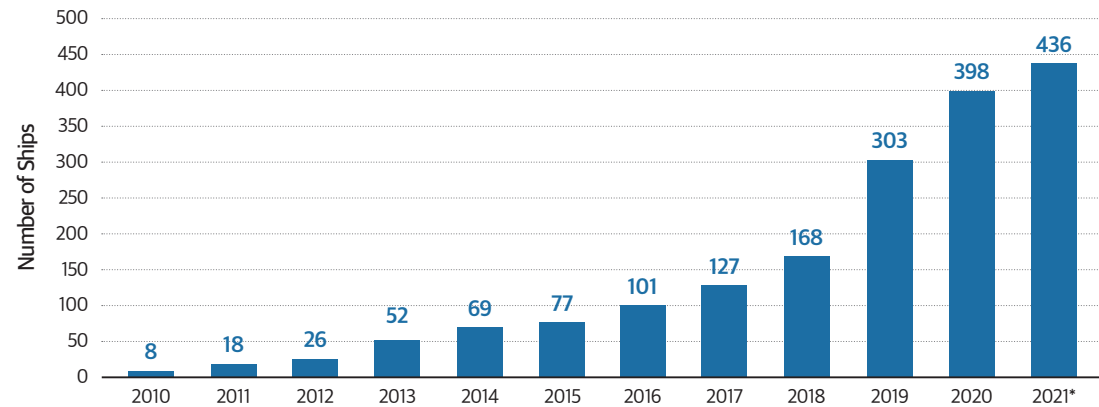
(3) 충전되는 전기에너지를 동력원으로 하는 전기추진 선박과 연료와 전기에너지를 조합하여 동력으로 사용하는 하이브리드 선박

전기로 모터를 가동하여 추진하는 선박은 오래전부터 적용되어 오고 있는 추진 방식이다. 중유나 액화천연가스를 연료로 발전기를 가동한 후 발생된 전기를 사용하여 추진하는 방식은 선박의 종류와 운용 방법에 따라 설계 조건을 정한 후 이에 맞춰 발전기 용량을 결정하는 기술적인 단계들을 거쳐 설계된다. 친환경 선박의 경우 오염물질 배출량을 줄이기 위해 화석연료를 사용하는 발전기 대신 배터리를 설치하여 운항하는 것을 생각해 볼 수 있다. 전기자동차와 마찬가지로 배터리의 안전성과 배터리 용량의 문제로 운항 거리의 제한이 있을 수 있고 충전 인프라 또한 필요하다. 이런 제한 사항들로 인해 완전 전기추진 방식보다는 에너지저장시스템(ESS, Energy Storage System) 개념으로 배터리를 사용한 하이브리드 추진 방식에 관한 연구가 활발하다. 에너지저장장치는 전력 수요가 적으면 전력을 저장하고 소비가 많은 시간에는 저장된 전력을 사용하도록 함으로써 신재생에너지의 불규칙한 전력을 안정화해주는 장치로, 에너지의 효

율성이 향상되고 전력 계통의 안전성을 높여 전기에너지의 활용도를 높여주는 장치이다. 배터리의 종류와 용량은 지속해서 개발되어 향상되고 있지만, 유럽-아시아와 같은 원거리 항해를 고려하기에는 한계가 있으므로 일반 공해상에서는 화석연료를 사용한 운항을 한 후 해양오염규제가 적용되는 지역은 에너지저장 시스템을 이용하여 추진하는 방식이다. 또한, 전기추진 선박의 경우 만약의 사태에 대한 위험 회피의 목적으로 설계용량을 만족한 발전기 이외에 비상용 발전기가 추가 설치된다. 일반적으로 동일한 발전기가 설치되며 이를 에너지저장시스템으로 대체하는 경우 상당한 건조비 절감 효과가 있을 수 있다.

유럽의 경우 나라 간 운항 거리가 멀지 않고 운항을 통한 물류 이동이 빈번하므로 배터리를 활용한 전기추진 방식의 선박이 운항 중이며 배터리 생산량 증가로 가격이 하락한 2019년 무렵부터 전기추진 선박의 수가 급격히 증가하고 있다. 우리나라도 정부의 친환경선박 개발 전략의 일환으로 공공기관 선박에 대해 친환경 선박으로의 전환을 추진하고 있으며, 선박용 에너지저장 시스템을 개발하고 있는 것으로 알려져 있다.

그림 7 배터리가 탑재된 선박의 수



*출처 : Zero Carbon Outlook, ABS, 2022

(4) 수소 등을 사용하여 발생시킨 전기에너지를 이용한 연료전지 선박

연료전지는 연료를 사용하여 전기를 만들어내는 발전기의 일종이다. 기존의 발전기는 연소 반응으로 생긴 열에너지를 운동 에너지로 변환하고 이 운동 에너지를 전기에너지로 변환시키는 여러 차례의 에너지 변환 과정을 가지는 데 반해, 연료전지는 연료의 화학 에너지를 전기에너지로 직접 변환시키는 한 번의 변화 과정만 가지므로 높은 효율을 가질 수 있을 것으로 예상된다. 구조에 따라 고분자 전해질형(PEMFC), 인산형(PAFC), 용융탄산염(MCFC), 고체산화물(SOFC), 알칼리형(AFC)로 분류되며 연료로 수소, 메탄올, 에탄올, 암모니아 등이 고려된다.

연료전지 선박을 개발하기 위해서는 연료전지와 에너지저장시스템, 연료저장설비, 전기추진시스템이 필요하며, 선종별 특성을 고려하여 적합한 연료전지 방식과 연료저장설비를 결정하

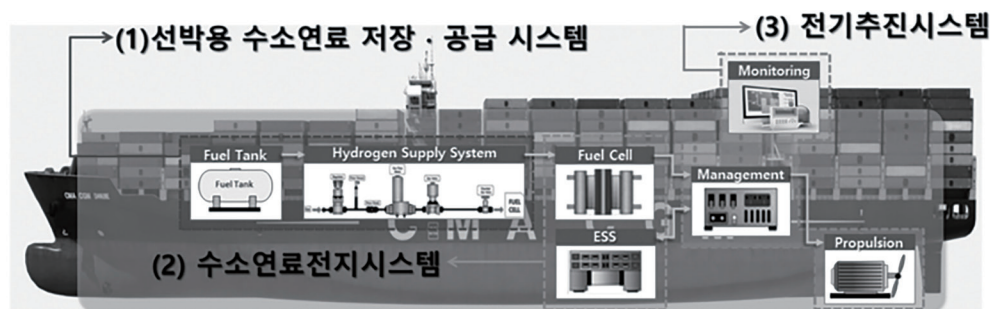
는 것이 중요하다. 예를 들어 액화천연가스 운반선에서 수소를 연료로 사용하는 연료전지를 적용할 경우 수소를 액화천연가스로부터 얻어 연료로 사용할 수는 있지만 개질 과정에서 발생하는 이산화탄소를 처리하는 방안, 개질 시스템의 크기 등을 추가로 고려해야 하므로 적절하지 않다는 결론이 나올 수도 있다.

국내 기업과 정부는 연료전지 및 연료전지 선박 개발을 위해 노력 중이다. 대형선박용 연료전지의 경우 에너지효율이 높고 수소와 천연가스를 연료로 사용하는 고체산화물(SOFC) 형태를 고려하고 있다. 해외에서는 개발 단계를 넘어 실증사업을 진행하여 성과를 내고 있다. 발전기, 아지포드(azipod) 등 선박의 전기추진 시스템을 생산하는 회사 대부분이 유럽에 있어 유럽에서의 전기추진 및 연료전지에 관한 실증 연구는 10여 년 전부터 꾸준히 진행 중이다.

그림 8 수소연료전지 선박 개념도

수소연료 추진 선박

- 선박 추진 구동 연료로 친환경 수소 사용, 기존 중유 사용 선박 대비 오염 물질 배출량 획기적 저감



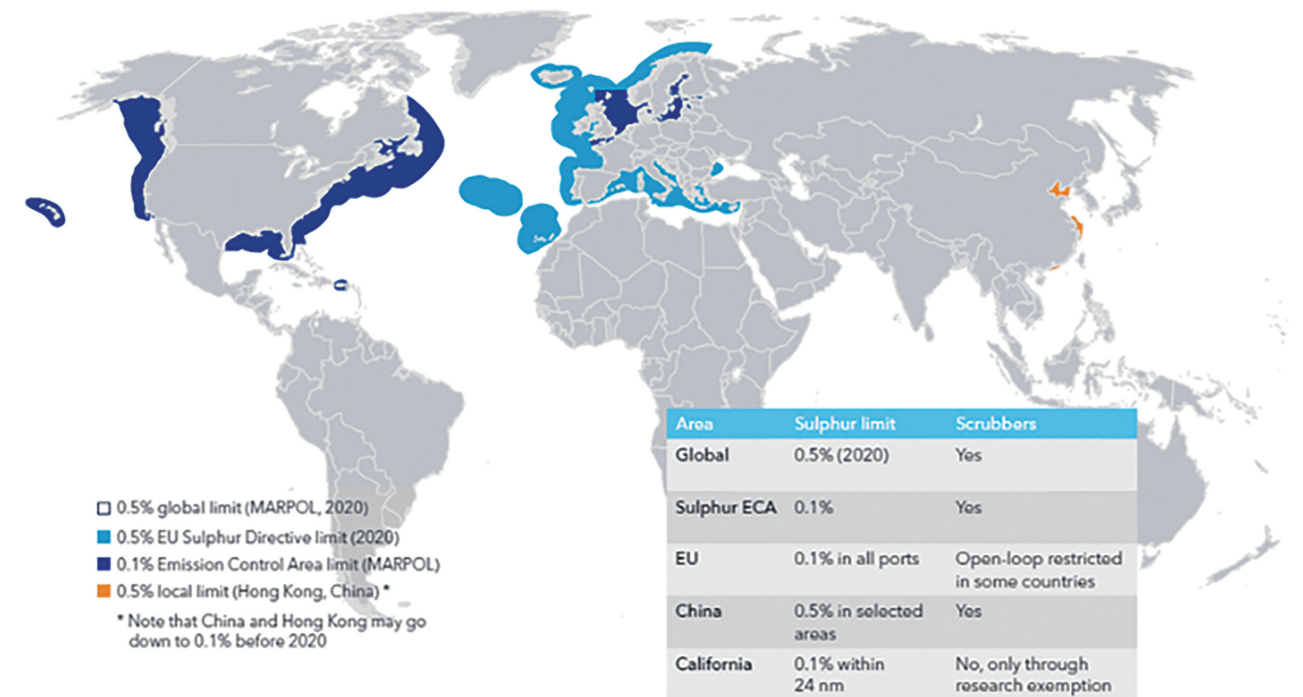
*출처 : 선박용 수소연료전지 기술개발 동향과 방향, KEIT PD 이슈리포트, 2019년

III 북극해 운항 선박과 친환경 연료 적용 전망

북극해 지역을 통한 항해가 빈번해짐에 따라 북극해에서의 안전한 항해와 극지 환경을 보호하기 위한 규범의 필요성은 대다수 사람이 공감하고 있을 것이다. 국제해사기구는 2002년 결빙구역을 운항하는 선박에 대한 가이드라인을 채택한 후 안전과 관련한 조치는 해상인명안전협약(SOLAS), 오염방지조치는 선박오염방지협약(MARPOL)의 개정안으로 2014년 극지 수역에서 운항하는 선박을 위한 국제규범(Polar Code)을 채택하였다. 그중 오염방지조치는 오염물질별로 유류와 유류혼합물의 배출 금지, 유류 탱크의 선체 내 위치, 유독액체물질 배출 금지, 유해물질 운송의 국가 기관 승인, 오수 배출 금지, 쓰레기 배출 금지 등이다. 북극해에 가장 많은 선박인 어선과 500톤 이하 선박은 적용 대상에서 제외되었고 선박평형수 배출을 금지가 아닌

권고로 두었고, 핵 추진선의 방사성 물질 유출에 관한 규정이 없는 점 등이 논란이 되었다. 무엇보다도 대기오염과 온실가스 문제를 다루지 않았기 때문에 논란이 크다. 북극해를 통한 해운 활동이 큰 폭으로 증가할 것으로 예견되는 상황에서 다른 해역보다 더 강화된 대기오염과 온실가스 배출에 대한 규제가 적용되어야 할 것 같지만 국제적 규제는 없다고 볼 수 있다. 국제해양오염방지협약(MARPOL 73/78)은 해양오염 방지를 위해 특별한 강제조치가 요구되는 특별해역(Special Area)과 배출규제지역(Emission Control Areas)을 지정할 수 있도록 되어 있으나, 북극해에는 폐기물 수용시설이 제한적이라는 이유로 특별해역으로 지정되어 있지 않다.

그림 9 배출규제지역(Emission Control Areas)



*출처 : Pathway to Net Zero Emissions, DNV, 2021

현재 규제를 고려할 경우 북극해는 전 세계 해역과 같이 연료의 황함유량 0.5%만을 만족시키면 되기 때문에 저유황유 사용이나 스크러버 설치 등으로 규제 대응이 가능하다고 할 수 있다. 북극해항로(NSR, Northern Sea Route) 통과 기준으로 작년 한 해 북극해를 운항한 대형선박은 벌크선, 유조선, 액화천연

가스 운반선, 일반 화물선 등이며, 쇄빙선, 어선과 같은 소형선박은 북극해 지역에 다수 운항 중인 것으로 알려져 있다. 북극해 운항 선박을 크게 3종류로 구분해 보면 일반 선박, 내빙 선박, 쇄빙 선박으로 분류할 수 있다. 일반 선박은 해빙이 없는 해역을 운항하는 선박, 내빙 선박은 해빙이 있는 해역을 직접적인 쇄빙

활동 없이 쇄빙선 등이 만들어 놓은 채널을 운항할 수 있는 선박, 쇄빙 선박은 해빙이 있는 해역을 쇄빙하면서 운항하는 선박이다. 일반 선박과 내빙 선박의 경우 선박의 추진시스템으로 다양한 고려가 가능하지만, 쇄빙 선박은 대부분 전기추진 시스템을 적용하고 있다. 두꺼운 해빙이 다수 존재하는 해역에서는 쇄빙을 위해 일반 선박보다 높은 추진력이 필요하고, 높은 수준의 조종성능(manueverability)이 요구된다. 이를 위해 프로펠러와 축으로 대표되는 일반적인 선박의 추진 방법이 아닌 아지포드

(azipod)와 azimuth thruster가 주로 적용되며 이 장비들은 모두 전기추진 방식이다. 세계 최대 크기의 쇄빙 상선인 야말 액화천연가스 운반선은 DFDE(Dual Fuel Diesel Electric) 추진 방식으로 액화천연가스와 디젤 오일을 연료로 사용하고 있다. 핵 추진선으로 유명한 러시아의 Arktika급 쇄빙선도 원자로로 전기를 생산하여 3개의 축(프로펠러)을 모터로 회전시켜 추진하는 방식이 적용되었다.

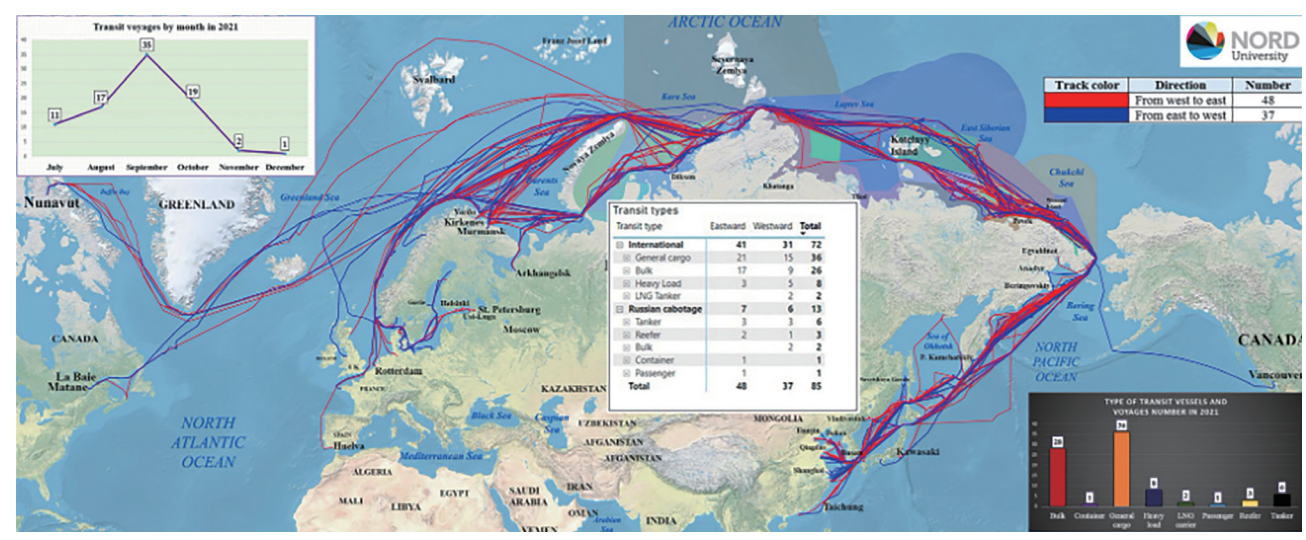
현재 상황에서 해양오염방지 규정을 근거로 전망된 모습은 2025년까지 액화천연가스 추진 선박의 발주와 건조가 증가할 것으로 예상되고, 강화되는 이산화탄소 규제로 인해 2030년부터 액화천연가스 추진선이 아닌 다른 대체 연료를 사용한 무탄소 선박의 발주가 예상되며, 2040년부터는 연료유 추진선의 퇴출이 예상된다.

퇴출이 예상되며, 현재 가장 이상적인 연료인 액화천연가스는 이산화탄소 배출량 감축의 한계(30%)가 있어 2030년 이후 개발되는 선박에는 다른 연료가 적용될 가능성이 크다고 볼 수 있다. 전기추진 시스템이므로 수소연료전지, 암모니아 연료전지와 같은 연료전지와 에너지저장시스템을 적용하는 방식이 에너지 효율을 달성할 수 있어 좋은 개발 방향으로 예상할 수 있다.

북극해 운항 선박의 경우 전기추진 시스템의 장점이 많아 혁신적인 추진시스템이 개발되지 않는 한 전기추진 방식이 계속 유지될 것으로 보이며 전기추진의 연료에 대한 검토가 필요할 것 같다. 현재 가장 많이 적용되는 저유황유를 포함한 연료유는

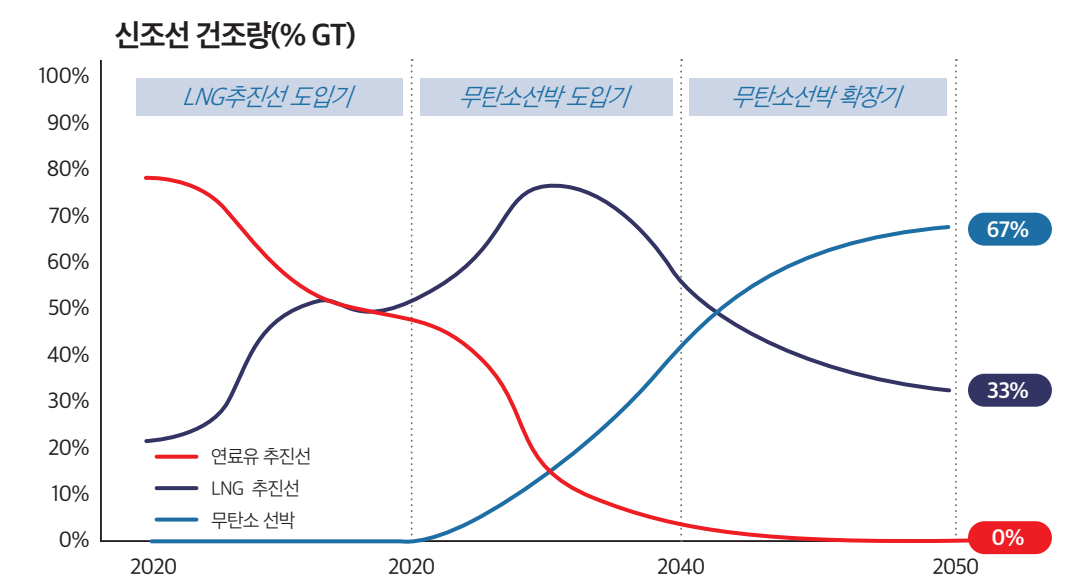
하지만 일반 선박과 비교해 고효율이 요구되는 쇄빙 선박의 특성상, 연료전지를 이용한 발전량이 현재 설치된 발전기의 용량과 비슷한 수준이 되도록 개발해야만 한다.

그림 10 북극해항로(NSR) 통과 선박



*출처 : Transit Voyages on NSR in 2021, CHNL IO News, NORD University

그림 12 신조 발주 선박의 연료 전망



*출처 : 2030 한국형 친환경 선박 추진 전략, 관계부처 합동, 2020.12

그림 11 쇄빙 선박의 추진시스템



*출처 : Azimuth Thruster와 Azipod 홍보자료 (Kongsberg/Wartsila)

IV ▶ 마치는 말

필자는 20여 년간 조선소에서 근무하며 세계 최대 크기의 액화천연가스 운반선(Qatar Gas Project) 개발, 쇠빙 액화천연가스 운반선(Yamal Project) 개발, 액화천연가스 화물창 개발, 고망간강 적용 액화천연가스 추진 컨테이너선 개발(McTIB Project) 등 액화천연가스선 관련 연구개발 활동을 주로 해왔기 때문에 다른 대체 연료들의 적용에 대해 다소 편협한 시각을 가지고 있다. 액화천연가스 운반선의 역사는 앞서 언급되었듯이 60년이 넘고 그 기간에 계속 기술개발이 진행됐다. 즉, 기술 성숙도가 굉장히 높다고 볼 수 있다. 현업에 종사하고 있다 보니 높은 기술 성숙도에도 불구하고 아직도 기술 적용이 원활하지 않은 않다. 운반선에서 추진선으로 바뀌었을 뿐이지만 성숙한 기술을 보유하기까지 연구 기간은 약 10년이 필요하였다. 전 세계 액화천연가스 운반선의 대다수를 수주하던 2010년쯤 액화천연가스 추진 컨테이너선의 개념을 개발한 후 2021년 실제 프로젝트에 적용하고 있다. 다른 대체 연료의 기술 성숙도는 액화천연가스와 비교해 얼마나 될까 생각해 볼 때 현업 적용의 시기가 긍정적이지는 않다고 생각하고 있다.

하지만, 대체 연료 적용에 대한 필요성과 기술개발 수요가 크다는 것은 충분히 공감할 수 있을 듯하다. 과거 액화천연가스 운반선도 실제 운항 경험이 많이 쌓인 10년 후쯤 가스운반선을 위한 안전 규정(IGC Code)이 제정되었다. 대체 연료 분야 역시 마찬가지로 실증이 가장 필요한 항목이라고 볼 수 있다.

세계 최대 비료 회사와 오일메이저가 있는 노르웨이의 경우 암

모니아 연료 활용, 이산화탄소 포집/저장 등 친환경 관련 연구개발을 선박 발주 예산에 포함할 만큼의 정부 주도 대형과제로 수행 중이며, 수소 추진, 연료전지 추진 등을 위해 미국과 유럽 다수의 국가가 연안 선박을 활용하여 실증프로젝트를 진행하고 있다. 우리나라도 친환경 선박 추진 전략을 정부가 발표하면서 여러 종류의 친환경 선박에 대해 실증프로젝트를 계획하고 있다. 친환경 선박 관련 기술확보는 물론 탄소 중립 목표 실현을 위해 중요한 밑거름이 될 것으로 보인다.

북극 운항 선박의 친환경 연료 적용 현황과 전망이 본고의 주제이므로 현재 북극 운항 선박들의 주요 연료와 추진시스템과 전망까지 언급했으나, 현재 북극해에 가장 필요한 것은 강화된 북극해 해양오염물질 배출규제이다. 북극해 연안국가, 북극해 이용국가, 국제사회 등의 이해관계가 얽혀있어 강화된 규정 적용이 어려울 수는 있겠으나, 앞서 언급했듯 북극해는 일반 공해와 같은 규정을 적용하고 있다. 다소 극단적인 예를 들자면 중유와 액화천연가스를 연료로 하는 이중연료 추진 일반 화물선이 북극해항로를 통해 부산과 오슬로 사이를 운항할 때 배출규제해역(ECA)인 항구 근처에는 액화천연가스를 연료로 사용하고 북극해에서는 중유를 사용할 수 있다는 것이다. 북극해를 통한 해운 활동이 큰 폭으로 증가할 것으로 예견되는 상황에서 다른 해역보다 더 강화된 대기오염과 온실가스 배출에 대한 규제가 적용되지 못한다면 지구온난화로 해빙이 녹아 생긴 신항로가 지구온난화를 더욱 가속하는 항로가 될 수도 있을 것 같다.

☞ 참고문헌

1. 국내문헌

- 김진희, "황 함유량 규제에 따른 연료유 품질 이슈 및 IMO 동향", 한국선급, 10th Maritime Korea Forum, 2019.6.25.
- 채수종, 『미래를 나르는 배 - LNG선』, 지성사, 2004.
- 노범석, 강석용, 유형수, 서성민, 『LNG 벙커링 이해와 실무』, GS인터비전, 2022.
- "2030 한국형 친환경선박(Greenship-K) 추진전략", 관계부처합동, 2020.
- "암모니아 연료추진선박 보고서", 한국선급, 2021.
- "선박용 수소연료전지 기술개발 동향과 방향", KEIT PD 이슈리포트, 2019.

2. 국외문헌

- Watson Farley & Williams, The Sustainability Imperative, 2021

- Setting the Course to Low Carbon Shipping - Zero Carbon Outlook, ABS, 2022
- Pathway to Net Zero Emissions, DNV, 2021
- Maritime Forecast to 2050, DNV, 2021
- Guidelines for Ships Operating in Arctic Ice-Covered Waters, IMO MSC/Circ. 1056 and MEPC/Circ. 399.
- International Code for Ships Operating in Polar Water (Polar Code), IMO, 2015
- An Overview of Hydrodynamic Energy Efficiency Improvement Measures, George Gougoulidis, SOME 2015

3. 기타 자료

- "Transit Voyages on NSR in 2021, CHNL IO News, NORD University"
<https://arctic-lio.com>

