



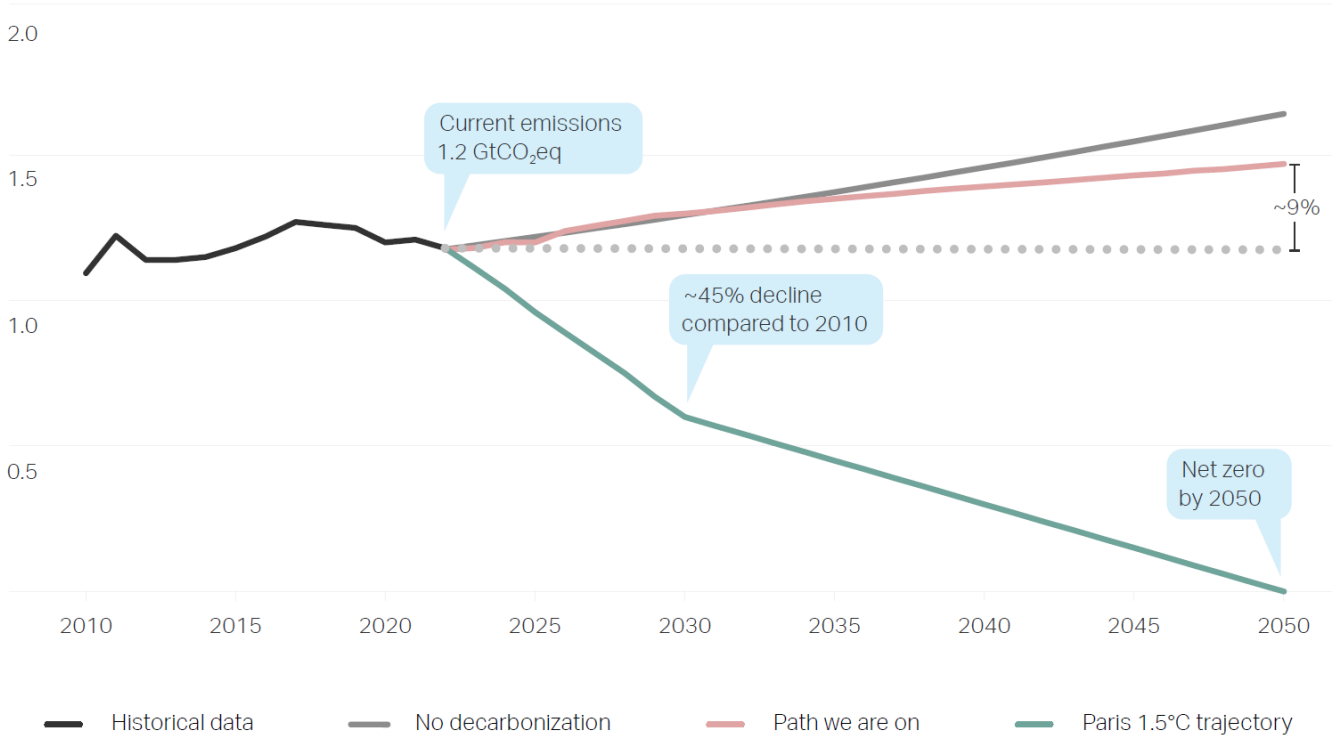
해운 탈탄소 전략 (1)

글 : (주)보성 권효재 상무 / kwon7775@bosunggroup.com

해운은 글로벌 물류를 책임지는 기간 산업으로서 조선업의 핵심 고객입니다. 파리 협약과 2050 넷제로 달성 목표가 공식화된 이후 유럽의 선주, 선사들을 중심으로 해운 분야의 탈탄소 전략들이 논의되고 있으며, 머스크 등 대형 선사들은 구체적인 계획과 함께 다양한 투자를 진행하고 있습니다. IMO 역시 지속적으로 규제를 신설, 개정하면서 이런 흐름에 동참하고 있으며, 탈탄소 달성 방안으로 여러 기술들이 거론되고 있습니다. 그러나 너무나 다양한 이슈들 - 대체연료, 엔진 기술, 온실가스 규제, ESG 투자, 성능/운항 평가, 연료 공급망 등 - 이 걸려있고 각각의 주제들에 대한 논의는 많지만, 전체적인 그림에 대해서 이해하기는 쉽지 않은 어려움이 있었습니다. 마침 해운 탈탄소 전략을 선도하는 전문 연구기관인 Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping (이하 약어로 'MMMCZCS'로 표기)에서 최근의 논의들을 종합한 [Maritime Decarbonization Strategy 2022] 보고서를 발표하였습니다. 2회에 걸쳐 해당 보고서의 내용을 살펴보고, 우리에게 생소하나 해운 산업에서는 중요하게 여기는 탈탄소 이슈들은 무엇인지 짚어 보겠습니다.

우선, 종합적이고 거시적인 해운 탈탄소 전략이 필요한 이유를 알아보겠습니다. 기후재앙을 피하기 위해 2050년까지 넷제로를 달성하여 지구의 평균 기온 상승을 산업화 이전 시기 대비 1.5도 이내로 억제하는 것이 파리 협정 이후 전지구적 공통 목표입니다. 인류의 연간 온실가스 배출량이 CO2 환산톤 기준으로 연간 500억톤 수준인데, 해운 분야에서는 이중 약 2.4% 인 12억톤을 배출하고 있습니다. 우리나라 연간 배출량이 7억톤임을 감안하면 12억톤은 결코 적은 양이 아닙니다. 전세계 국경을 이동하는 배와 비행기에서 배출되다 보니 국가간 배출량 저감 목표 관리의 틀에서 벗어난 맹점이 있습니다. 예를 들어, 덴마크는 에너지 전환-탄소중립 정책에서 세계에서 손꼽히는 선진국이지만, 덴마크의 국가 기준 온실가스 배출량에는 국제 해운 부분이 빠져 있습니다. 세계에서 가장 큰 선사인 Maersk가 덴마크 회사임을 감안하면 국경 범위 내에서 일어나는 온실가스 배출 관리만으로 충분하지 않음을 알 수 있습니다. 이 보고서를 작성한 MMMCZCS에 2020년 최초 출자를 한 곳도 덴마크의 A.P. Moller 재단이며, 연구소가 해운 탈탄소 전략에 집중하는 것도 이런 사정과 무관하지 않습니다.

해운 분야의 탄소 배출량은 특정 국가에서 오롯이 책임질 수도 없고, 특정 국가의 규정을 취사 선택할 수도 없기 때문에, IMO라는 국제 기구를 통해 배출량 목표 관리를 하고 있습니다. 하지만, 산업과 에너지 분야의 화석연료 사용량을 전기화와 수소 등을 통해 감축하는 방법이 해운 분야에서는 적용하기 어렵고, IMO 회원국들 사이의 이해관계 조율이 쉽지 않아 아직까지 IMO에서는 실효성 있고 종합적인 탈탄소 전략을 제시하지 못하고 있습니다. MMMCZCS에서는 현재와 같은 수준의 규제와 변화 속도로는 해운 분야의 온실가스 배출 저감은 불가능하며, 오히려 연간 1.2%씩 증가하고 그 결과 2050년 넷제로 달성은 불가능하다고 보고 있습니다. 2050 넷제로를 위해서는 당장 효과를 낼 수 있는 기술 적용, 투자, 규제 개선을 즉시 실시해야 하며, 중간 목표로 2030년 배출량을 2010년 실적 대비 45% 저감을 해야 한다고 분석하고 있습니다. 한 마디로 지난 몇 년간 선사, 연료 공급사, 조선사, 엔진 메이커, IMO 등이 다양한 노력을 하고, 유수의 회사들이 넷제로 목표를 천명하고 행동에 착수했으나 이 정도로는 유의미한 변화를 줄 수 없다는 위기의식이 깔려 있습니다.



〈해운 분야 온실 가스 배출량 실적과 전망〉
출처: Maritime Decarbonization Strategy 2022)

그렇다면, 2030년까지 해운분야 온실가스 배출량을 45% 줄이기 위해서는 현재 사용하는 화석연료를 얼마나 줄여야 할까요? 전세계 해운분야에서 총 6 EJ(1018 joules)을 줄여야 합니다. 쉽게 감이 안 오는 규모인데, 연료유로 환산하면 연 1.4억톤 규모로서 현재 사용하는 연료유 소비량을 거의 절반 수준으로 감축해야 합니다. 단순 에너지량으로 비교하면 1 EJ의 에너지는 80GW 규모의 풍력 발전소가 연간 만드는 전력량인 280 TWh와 같은데, 이는 멕시코의 연간 전력량에 맞먹습니다. 만약 6 EJ에 해당하는 화석연료를 모두 재생전기로 대체한다면 (전환효율 100% 가정) 480 GW 규모의 풍력 발전소가 필요합니다. 재생전기 수전해를 통해 수소, 암모니아, 메탄올 등 대체연료를 만들면 전기-수소 생산-연료 생산-수송-활용 등 전체 과정에서 전환효율은 약 절반으로 떨어지므로, 이를 감안하면 풍력 발전소는 약 1,000 GW가 새로 필요하게 됩니다. 2023년 1월 기준 우리나라에서 운영중인 모든 풍력, 태양광 발전기 전체 용량이 30GW가 안되는 점을 감안하면, 해운 분야 온실가스 배출량 45% 감소가 얼마나 큰 일인지 짐작할 수 있습니다.

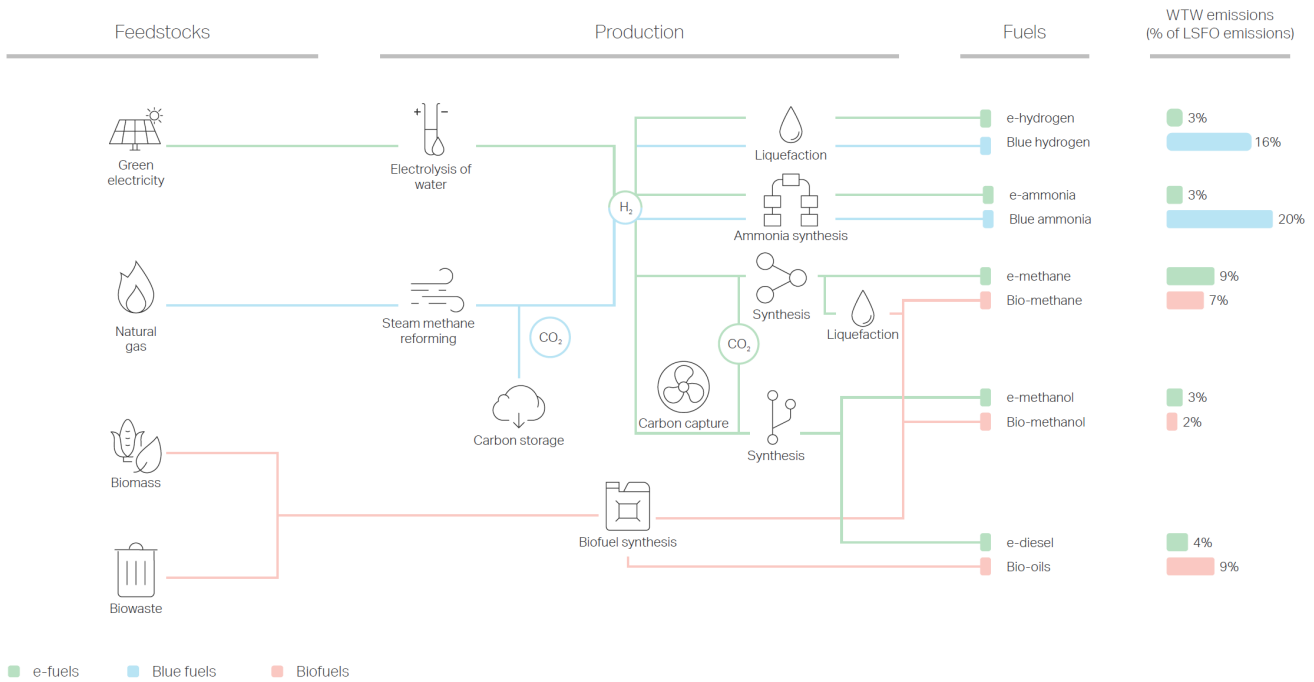
선박의 척수로 환산하면, 1 EJ의 화석연료 사용량 절감을 위해서는 현재 약 700척 수준의 대체연료 채택 선박 규모를 2,300척 추가하여 3,000척 수준으로 늘려야 합니다. 이 중 대양을 항해하는 대형 벌크선, 컨테이너선, 탱커선의 경우 합계 1,800척이 넘어야 합니다. 2030년까지 6 EJ를 절감하기 위해서는 대체연료 채택 선박 규모를 15,000척 이상으로 늘려야 합니다. 만약 이렇게 대체연료 채택 선박을 늘렸다고 하더라도 이들에게 충분한 연료를 공급해 주기 위해서는 관련 인프라에도 방대한 투자가 필요합니다. 1 EJ 규모의 대체연료 공급을 위한 시설 규모는 방대한데, 특히 연료 조달이 분산화 되어 있는 바이오 계열 연료에서 어려움은 더 큼니다. 바이오 가스로 1 EJ의 선박용 대체 연료를 공급하기 위해서는 연간 2,000만톤의 추가 공급이 필요하며, 이를 위해서는 대형 바이오 가스 플랜트 1,120기를 신설해야 합니다. 2022년 기준 전세계의 모든 바이오 가스 생산량이 3,000만톤임을 감안하면 1 EJ의 추가 공급도 쉽지 않은데, 하물며 이의 6배인 6 EJ의 대체 연료 공급은 한가지 기술과 방식으로는 사실상 불가능하다고 볼 수 있습니다.

Alternative fuel type	Capacity in millions of tonnes per year required for 1 EJ of each fuel	Production required to produce 1EJ of fuel	Assumed plant size	How can we put this into perspective?
e-hydrogen	8	50 (GW) electrolysis	-	20% of all the world's announced electrolyzer projects with targeted completion by 2030 would need to be dedicated specifically to shipping
Blue hydrogen	8	53 SMRs	~200,000 Nm ³ /hr SMR capacity	Would require 90 million tonnes of CO ₂ storage, 2x the global annual capacity for CO ₂ storage today
Bio-methane	20	1,120 plants	~25 million Nm ³ /yr	Equivalent to 2/3 of all current production of biogas produced in the world today (including all sectors)
e-methane	20	320 plants	~8.75 million Nm ³ /yr	2 times more methane than used by shipping today as LNG
Bio-methanol	50	480 plants	~105,000 t/yr	Equivalent to 50% of all current production of grey methanol produced in the world today (including all sectors)
e-methanol	50	426 plants	~120,000 t/yr	Requires 70 million tonnes of biogenic CO ₂ feedstock, more than 5x the CO ₂ produced by the Drax biomass power plant. ³⁷
Bio-oils	25	400 plants	~65,000 t/yr	Needs more than 10x the global biomass feedstock available today
e-diesel	25	500 plants	~50,000 t/yr	This is ~75% the amount of synthetic petroleum produced globally today from coal or natural gas feedstocks
Blue ammonia	50	48 plants	~1.1 million t/yr	Equivalent to 20% of all current production of grey ammonia produced in the world today (including all sectors)
e-ammonia	50	63 plants	~840,000 t/yr	More than 5x the potential annual e-ammonia production of the Asian Renewable Energy Hub ³⁸

〈탈탄소 연료 종류별로 2030년 1 EJ의 연간 공급을 위한 시설 규모 산정〉
출처: Maritime Decarbonization Strategy 2022)

현재는 중유 등의 화석연료 비중이 99.5% 이상인데, 이를 재생에너지 기반 대체연료로 바꾸려면 기술 개발, 실증, 연료 공급망 확충과 대규모 투자가 수반되어야 하므로 중장기 과제라고 볼 수 있습니다. 무탄소 연료로 교체하려면 현실적으로 배를 새로 바꿔야 하므로, 우선은 현재 사용하는 선박과 물류 과정의 에너지 효율을 높이는 노력이 필요합니다. 그래서 화물 수송량이 늘어나더라도 총 에너지 소요량과 연료 사용량을 줄여야 합니다. 이러한 이유로 MMMCZCS에서는 [운항 에너지 효율 개선], [대체 연료 도입 가속화], [규제, 정책, 압력을 통한 감축 유도], [선투자 지원과 포괄적 협업]의 4가지 세부 과제를 종합적인 해운 분야 탈탄소 전략으로 제시하고 있습니다. 상업화된 솔루션이 있고, 투자 대비 감축 효과가 높으므로 우선 집중해야 하는 과제는 [운항 에너지 효율 개선]이며 해운 분야 모든 참여자들이 이 흐름에 동참할 수 있도록 [규제, 정책, 압력을 통한 감축 유도]와 [선투자 지원과 포괄적 협업]이 병행되어야 합니다. 즉, 기술/공학측면에서 기존 엔진과 연료 공급 체계의 틀 안에서 최대한 에너지 효율적으로 해운 물류가 진행되도록 최적화에 집중하는 측면과 제도/지원책 측면에서 환경 비용을 선제적으로 부담한 사업자들이 손해를 보지 않도록 보호하는 측면이 병행되어야 합니다. 이 세 가지 과제의 세부 내용에 대해서는 추후 다시 소개해 드리겠습니다.

차세대 탈탄소 연료에 대한 논쟁은 국내외 해운-조선업계에서 지속되고 있습니다. LNG, LBG(Bio methane), 블루 LNG, 바이오 디젤, 메탄올, 그린 메탄올, 그린 암모니아, 블루 암모니아, e-디젤(수전해 수소 기반) 등 다양한 연료들에 대해 메이커, 선사, 조선사들이 많은 연구 결과를 제시하고 논쟁에 참여했습니다. 각각의 연료가 장단점이 뚜렷한데, 사실 이해관계에 따라 부각시키는 포인트가 다르다 보니 IMO에서 구체적인 규제 수립까지 이어지는데 오히려 방해가 된 측면도 있습니다. MMMCZCS는 이 논쟁에 대해 분명한 입장을 제시하고 있습니다. 우선 온실가스 저감 효과에 대해 명확한 기준을 세우자는 것입니다. 이해관계자들마다 어떤 곳은 Tank to Wake (TTW, 선박에서 배출되는 온실가스량) 기준으로 평가하고, 어떤 곳은 Well to Tank (WTT, 연료 생산에서 선박 적재까지 배출되는 온실가스량) 기준으로 평가를 하다 보니 혼선이 발생하고 있습니다. 데이터 수집과 평가가 까다롭더라도 연료의 생산에서 선박에서 배출되기까지의 전체 과정에 대한 온실가스량을 평가하자는 즉, Well to Wake (WTW) 기준을 채택해야 한다는 입장입니다. TTW나 WTT 기준이 아닌 WTW 기준으로 평가를 하면 사실 선사 입장에서는 일이 복잡하고 다소 억울한 측면도 있습니다. 예를 들어 디젤을 LNG로 바꿔서 온실가스 배출량을 줄인다고 생각했는데, 구매하는 디젤과 LNG의 생산부터 적재까지의 온실가스 배출량은 선사가 추적-파악-평가하기 어려운 부분이기 때문입니다. 하지만, 결국 전 지구적인 온실가스 배출을 줄이고, 물류 서비스 전과정에서의 책임을 서로 인식하고 감당해야 한다면 WTW 기준으로 연료간 비교를 하는 것이 타당합니다.



〈대체 탈탄소 연료의 생산/유통 과정과 Low Sulfur Fuel Oil(LSFO) 대비 온실가스 저감 효과〉
출처: Maritime Decarbonization Strategy 2022)

WTW 기준으로 온실가스 배출 효과를 평가하고, 탈탄소 연료 채택을 넷제로 달성을 위한 중장기적인 과제로 본다면, 차세대 탈탄소 연료에 대한 평가 기준이 달라집니다. 우선 LNG는 LSFO 대비 에너지 발생량 대비 CO2 배출량은 20-25% 경감되지만, WTW 기준 메탄 누출을 고려하면 LSFO와 동등한 수준으로 올라 갈 수 있습니다. 그러므로 MMMCZCS에서는 ‘탈탄소 대체 연료’는 LSFO 대비 WTW 기준 온실가스 배출량이 20% 미만이어야 한다고 권장하고 있으며 그 정도 수준의 경감이 되어야 넷제로 달성이라는 궁극적인 목표를 달성할 수 있다고 평가합니다. 천연가스 기반의 LNG는 탈탄소 연료로 분류할 수 없으며, 선사가 선박을 발주할 경우 중간 단계의 옵션으로 LNG 연료 채택을 고려하더라도 반드시 탈탄소 연료 개조를 염두할 것으로 권고합니다. 예를 들어 LNG/LSFO 이중연료 엔진을 채택하는 선박을 발주하더라도 ‘암모니아-ready’, ‘메탄올-ready’ 옵션을 반영하거나 주요 항로에 2030년 이후 LBG가 충분히 공급될 수 있을지 사전에 평가하라는 것입니다. 그런데 바이오 연료는 지속가능 기준을 충족시키면서 공급가능한 물량은 한정되어 있으므로 결국 LNG와 LBG 모두 장기적이고 정책적인 노력을 집중해서 투자할 만한 옵션으로는 보기 힘들다는 것이 MMMCZCS의 견해입니다. 또한 안정적인 물량 확보에서 사후 평가까지 전체 공급망의 성숙도 기준으로는 모든 탈탄소 대체 연료는 아직 시간이 더 필요합니다. MMMCZCS의 견해 중 특이한 것은 총 8가지의 탈탄소 대체 연료 중 어느 것에 집중 투자하는 식의 논쟁은 무의미하다는 것입니다. 앞서 보았듯이 2030년까지 45%의 온실가스 배출을 감축하고, 2050년까지 넷제로를 달성하려면 가능한 모든 연료들을 다 준비해야 하며, 운항 지역/사업 여건/연료 공급망/선박 종류 등에 따라 다양한 연료들이 얼마든지 공존할 수 있다는 것입니다. 이 연료가 맞느냐 아니냐를 따지지 말고, 실증 프로젝트와 규제 제정에 전념해서 선사들의 선택지를 우선 늘리자는 MMMCZCS의 주장은 일리가 있습니다.

	Feedstock availability	Fuel production	Fuel storage, logistics & bunkering	Onboard energy storage & fuel conversion	Onboard safety & fuel management	Vessel emissions	Regulation & certification
e-ammonia	🟢	🟡	🔴	🔴	🔴	🔴	🔴
Blue ammonia	🟡	🟡	🔴	🔴	🔴	🔴	🔴
e-methanol	🟡	🟡	🟡	🟢	🟢	🟢	🟡
Bio-methanol	🟡	🟡	🟡	🟢	🟢	🟢	🟡
e-methane	🟡	🟡	🟢	🟢	🟢	🟡	🟡
Bio-methane	🟡	🟡	🟢	🟢	🟢	🟡	🟡
e-diesel	🟡	🟡	🟢	🟢	🟢	🟢	🟡
Bio-oils	🟡	🔴	🟡	🟡	🟢	🟡	🟡

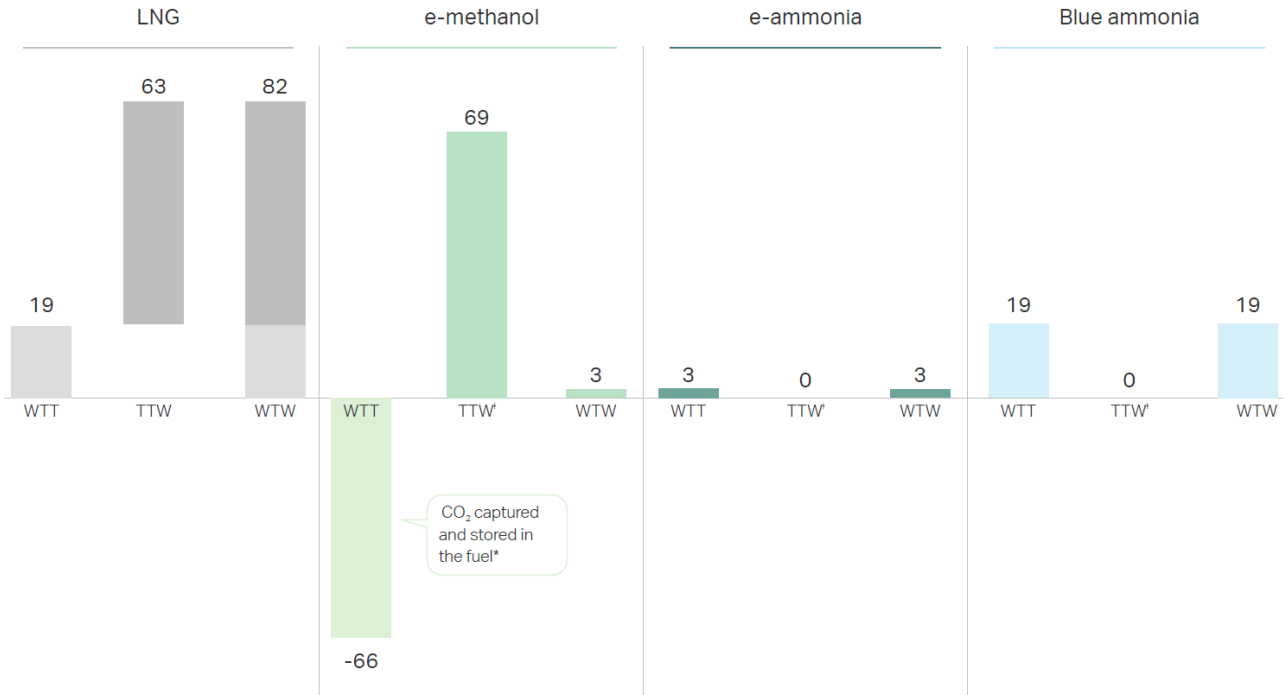
🟢 Mature
Solutions are available, none or marginal barriers identified

🟡 Solutions identified
Solutions exist, but some challenges on e.g., maturity and availability

🔴 Major challenges
Solutions are not developed or lack specification

〈대체 탈탄소 연료들의 성숙도 평가〉
출처: Maritime Decarbonization Strategy 2022

대체 탈탄소 연료들의 상황을 보면, 암모니아의 경우 아직 상용화된 엔진이 없고, 온보드 조건에서의 안전성 평가나 규정이 부족하므로 대량 채택까지 가장 준비를 많이 해야 합니다. 그러나 암모니아는 재생전기를 기반으로 합성할 경우 LSFO 대비 온실가스 배출량이 3% 수준이며, 연료의 보관과 운송이 비교적 편리하므로 장기적으로 가장 중요한 후보 연료입니다. 싸고 풍부한 재생전기를 통해 수소만 공급된다면 암모니아 합성에 필요한 질소는 대기중에 무한정 존재하므로 향후 대량 생산과 유통에 있어서 유리합니다. 메탄올은 암모니아보다 보관과 운송이 더 쉽고 상용화된 엔진과 운항 실적이 일부 확보되어 채택 여건은 더 성숙한 연료입니다. 암모니아의 경우 한 가지 복병은 N2O입니다. 암모니아의 불완전 연소과정에서 생성되는 이 물질은 매우 강력한 온실가스이므로 연소 후 처리기술을 통해 완전히 제거하지 않으면 암모니아의 탈탄소 효과는 반감됩니다.



Well-to-wake (WTW), well-to-tank (WTT), and tank-to-wake (TTW) emissions from LNG, e-methanol, e-ammonia, and blue ammonia. WTT, TTW, and WTW values are in kgCO₂eq/GJ.

* CO₂ captured using biogenic CO₂ or direct air capture.

† N₂O emissions assumed to be zero.

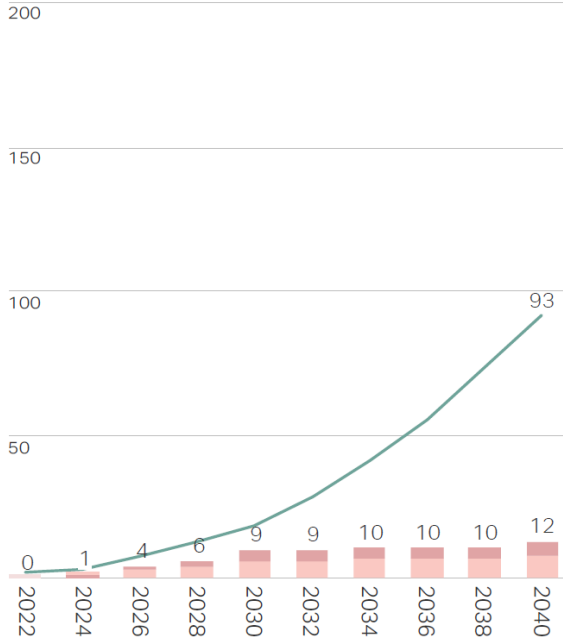
<연료별 WTT, TTW, WTW 기준 온실가스 배출량 비교>

출처: Maritime Decarbonization Strategy 2022

하지만, 메탄올은 온실가스 저감 효과 측면에서는 암모니아보다 불리합니다. 메탄올 합성 과정에서 CO₂가 필요한데, 수전해 수소 기반 메탄올(e-methanol)이든 바이오매스 기반 수소 메탄올(Bio-Methanol)이든 대기중 직접 포집한 CO₂나 바이오 기반 CO₂를 사용해야만 암모니아에 버금가는 온실가스 저감 효과를 기대할 수 있기 때문입니다. 이렇게 만들어진 메탄올은 WTT(Well to Tank) 단계에서 온실가스 직접 감축 효과가 있습니다. 메탄올은 연소 과정에서 CO₂가 발생하므로 WTT 단계에서는 상당량의 온실가스 직접 감축 효과가 있어야만 WTW 기준, 즉 전 과정 기준으로 탈탄소 연료가 될 수 있습니다. 그러므로 탈탄소 연료용 메탄올 생산 플랜트는 바이오 기반 CO₂를 충분히 공급받을 수 있어야 하고, 이를 위한 충분한 바이오 매스 확보가 쉽지 않기 때문에 2035년 이후로는 암모니아보다 채택 비율은 낮을 수 있습니다. 이런 이유로 대량 생산 레이스에 돌입할 경우 메탄올이 암모니아에 비해 불리한 여건에 처할 거라는 전망이 나오고 있으며, 머스크의 경우 최근까지 9개 회사와 다양한 방식의 메탄올 생산과 공급 계약을 체결하고 안정적인 공급량 확보에 전념하고 있습니다.

Methanol

million tonnes/year



Expected demand for alternative fuels*

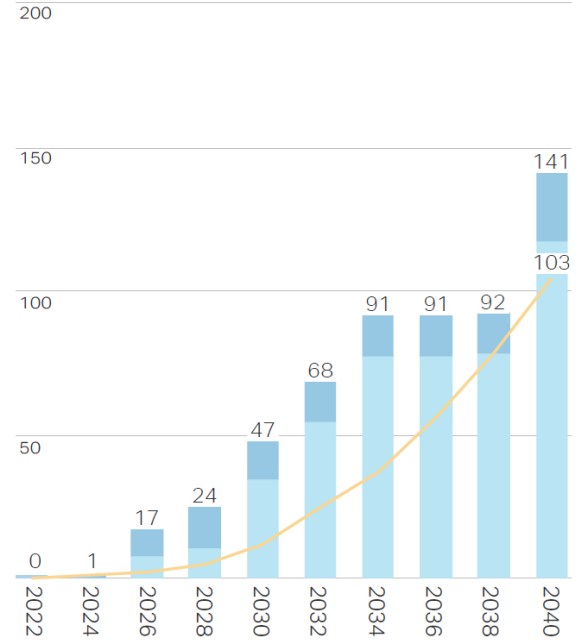
— Methanol

Expected supply of alternative fuels‡

■ e-methanol
■ Bio-methanol

Ammonia

million tonnes/year



Expected demand for alternative fuels*

— Ammonia

Expected supply of alternative fuels‡

■ e-ammonia
■ Blue ammonia

<탈탄소 대체 연료로서 메탄올, 암모니아의 수요/공급 전망>

출처: Maritime Decarbonization Strategy 2022

어떤 탈탄소 연료던 방대한 필요량을 감안하면 대규모 기술 투자와 함께 선박과 연료 공급 인프라 구축을 준비해야 합니다. 2030년까지 충분한 바이오 매스 공급량을 확보해서 1 EJ의 대체연료를 메탄올과 암모니아로 반반 공급한다고 가정해 보겠습니다. 이 경우 메탄올 생산 플랜트 250기와 암모니아 플랜트 25기를 신규 건설해야 하며, 대체연료 선박 2,300척을 추가 공급해야 합니다. 그런데 조선소 생산 능력도 최근 용접사 부족 등으로 확충에 어려움을 겪고 있지만, 플랜트 EPC의 경우 문제가 더욱 심각합니다. 국제적으로 연간 건설되는 메탄올, 암모니아 플랜트는 합해서 2-3기에 불과한데, 이는 대부분의 플랜트 EPC 자원이 기존 화석연료 기반 분야 공사에 투입되기 때문입니다. 1 EJ의 공급도 쉽지 않은데 6 EJ 규모의 화석연료 사용량 감축을 달성하기 위해서는 선박 건조, 기자재 공급, 플랜트 EPC 등 공급 분야의 역량 구축이 요구됩니다.

정리하면, 대체연료 채택은 멀고도 험한 길이지만, 기후재앙을 피하기 위해 피할 수 없는 길이기도 합니다. 방대한 투자를 위해서는 명확하고 장기적인 정책과 규제 체계가 필요하며, 선구적으로 이 분야에 앞장선 기업과 정부가 불이익을 받지 않도록 해야 할 것입니다. 그래야만 조선해양 플랜트 업계도 장기 트렌드를 신뢰하고 관련 기술 개발과 인력 준비에 나설 것이기 때문입니다. 다음 시간에는 정책과 제도 측면에서 어떤 보안을 해야 하며, 운항 에너지 효율 향상을 위한 단기적인 정책/제도의 개선 포인트와 함께 장기적인 측면에서의 이슈도 살펴보도록 하겠습니다.