

---

# 해양 부문 원자로 이용 방안

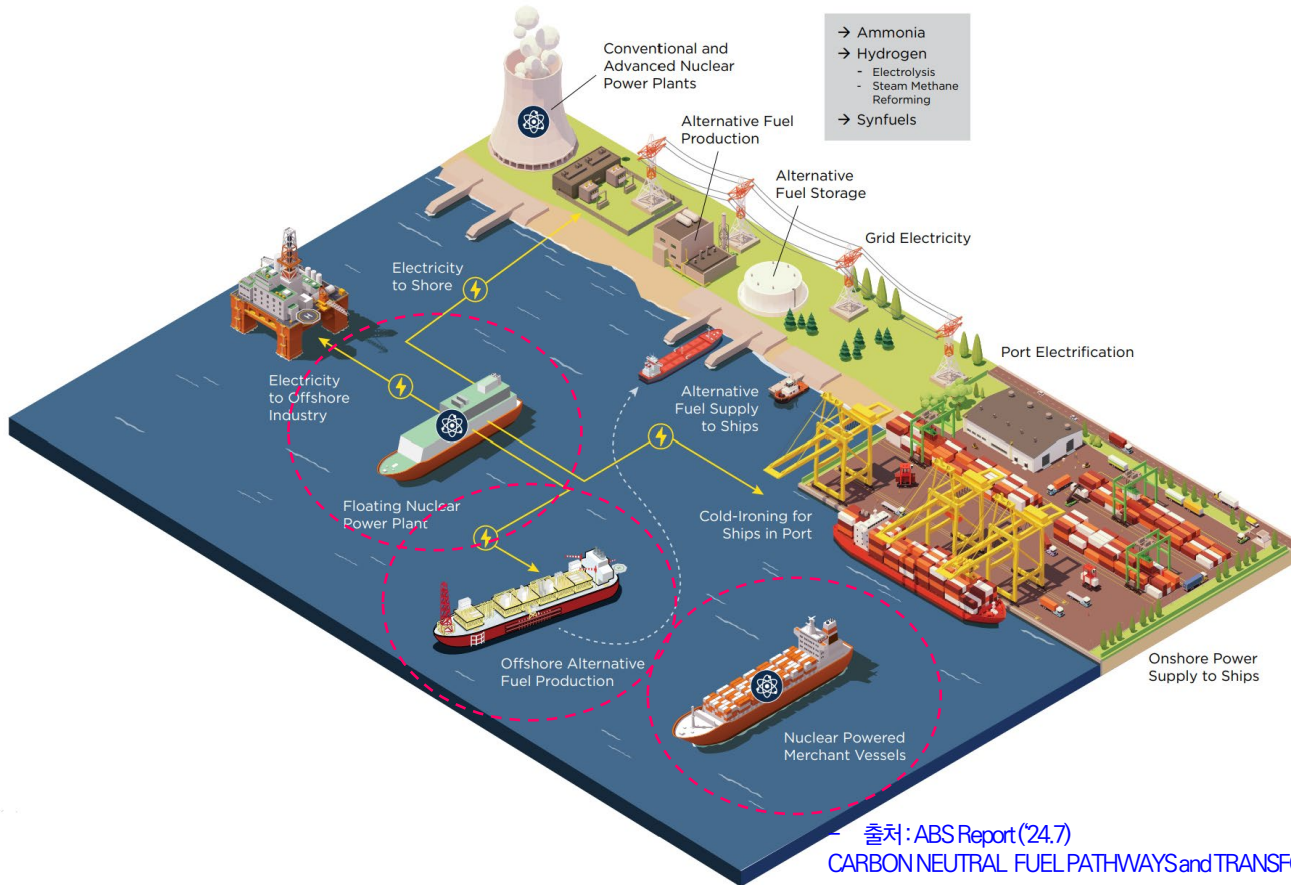
---

삼성중공업 조선해양연구소

김종원 프로

2024. 10.

# 해양 원자력 Value Chain



- Ammonia
- Hydrogen
  - Electrolysis
  - Steam Methane Reforming
- Synfuels

출처 : ABS Report (24.7)  
 CARBON NEUTRAL FUEL PATHWAYS and TRANSFORMATIONAL TECHNOLOGIES

# 해양 원자력 Value Chain

## ■ 원자력 해양 이용 가능성

- ✓ 원자력을 선박에 적용하는 방법으로 2가지 가능성 제시 (직접 동력원으로서의 사용, 합성 E-fuel 생산)
- ✓ Synthetic fuel 생산은 부유식 해양 원전의 비즈니스 모듈로 최근에 많은 연구 진행 중
- ✓ 해양 원자력의 근본적인 차이로 해양 운동을 제외한 인허가, 규제, 비즈니스모델과의 연관, Security, Safeguard 측면 강조



## Two major possibilities

### Direct nuclear propulsion

- Nuclear reactor installed in ship
- Possibilities;
  - Faster ships
  - Lower costs
  - No emissions
- Challenges;
  - Regulations between countries
  - Insurance
  - Political acceptance in some countries

### Synthetic fuel

- Use nuclear reactor on land to manufacture zero-emission fuel
- Possibilities;
  - 'No' changes for today's ships
- Potential challenges;
  - Costs
  - Safety
  - Handling large volumes



## Why nuclear at sea differs from land

A new path is needed – never attempted before – focusing on Gen IV SMRs for ships, but with the complex factors due to ships;

- Move from port to port, and also moved by the waves
- Move between a large number of jurisdictions
- Major load variations and slamming
- One size does not fit all
- Very limited space
- Inaccessible at sea

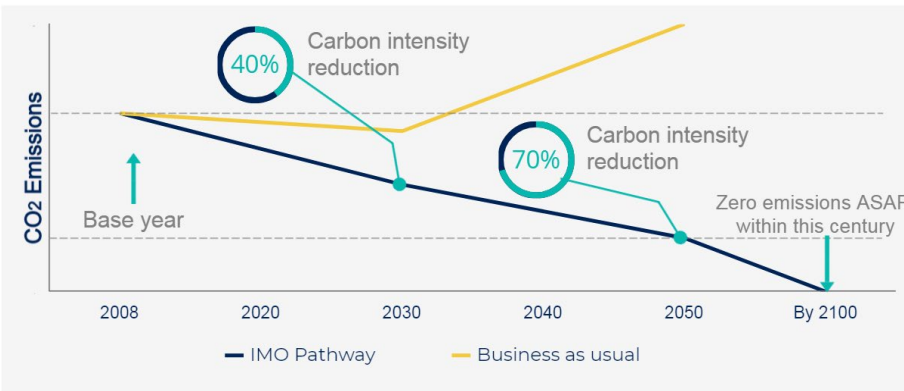
5

– 출처 : International Conference on the Nuclear Shipping (24.6)-NTNU

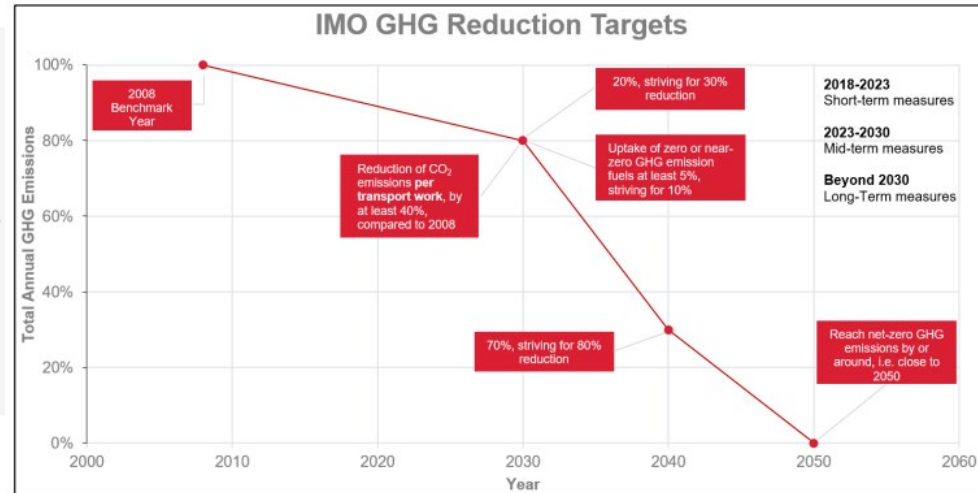
# 탄소배출 규제와 친환경 선박 개발 필요성 (1)

## CO<sub>2</sub>/GHG 배출 제한 - 해상운송에 대한 국제환경규제 강화

- ✓ IMO 환경규제 강화 (CO<sub>2</sub> : '08년 대비 '30년 40%, '50년 70%, GHG : '08년比 '50년 50% 절감)
  - ✓ EU는 'Fit for 55' 법안 통해 '30년까지 '90년 대비 CO<sub>2</sub> 배출 55% 감축목표
- '30년 목표는 설계/성능 개발로 달성 가능 예측 (효율 향상, 선속 최적화)



- 출처:IMO

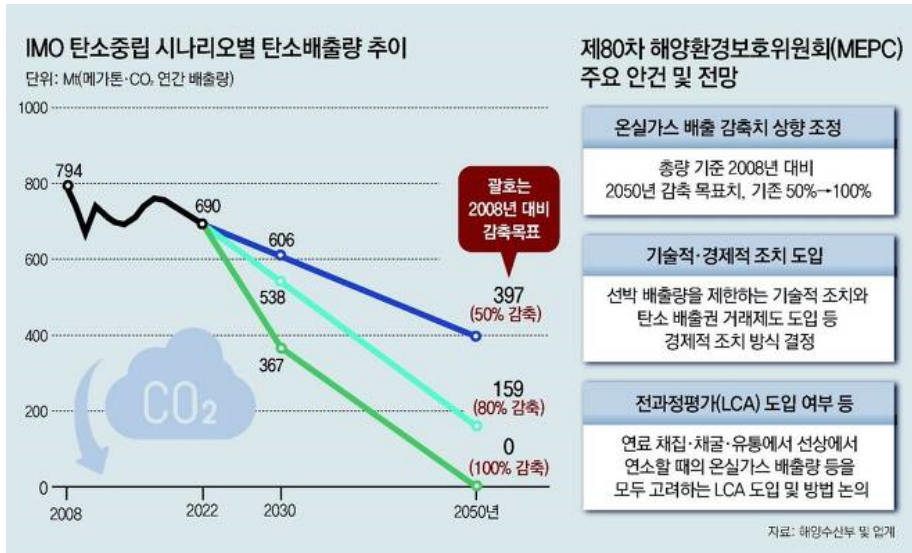


- 출처:ABS (MEPC 80)

# 탄소배출 규제와 친환경 선박 개발 필요성 (2)

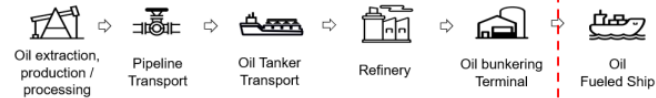
## MEPC (Marine Environment Protection Committee) 80 ('23.7월)

- ✓ 온실가스 배출 감축치 상향 조정
- ✓ LCA (Life Cycle Assessment) 도입 논의
- ✓ 기후변화 이슈에 대응 가능한 “무탄소 에너지원” 원자력(SMR 중심) 관심 대두



- 출처: 동아일보

### Case 1 : MGO Fueled Ship



### Case 2 : Natural Gas Fueled Ship



### Case 3 : Hydrogen Fueled Ship



- 출처: J. Mar. Sci. Eng. 2020, 8, 660

# 원자력추진선의 가능성

## ■ NuProShip 프로젝트

- ✓ 노르웨이 원자력추진선 프로젝트 (NTNU, J. Emblemståg 교수)
- ✓ 녹색연료를 생산하기 위한 전기 수요량이 1개 국가 총전력량을 넘어갈 것으로 예측
  - 이 중 많은 전력을 사용할 것으로 보는 선종은 컨테이너선, 벌크선으로 보고 있음



## Why nuclear propulsion

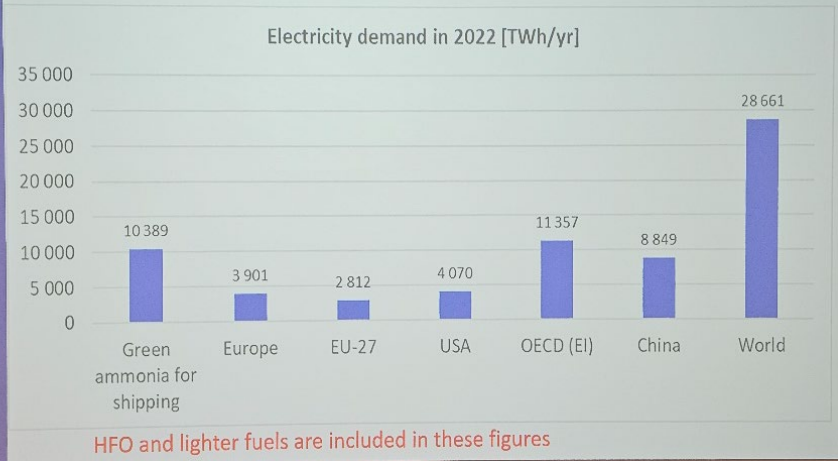
- 300 million tonnes HFO per year for shipping
- To supply global shipping with green fuels will require 2.7 times the total EU power production in 2022
- Then, we must add diesel oil for marine industry
- Ultimately, we must also add aviation, large trucks and high temperature heat for industry



2



## Why nuclear propulsion? (2)



- 출처: International Conference on the Nuclear Shipping (24.6)-NTNU



# 원자력추진선 비즈니스 모델

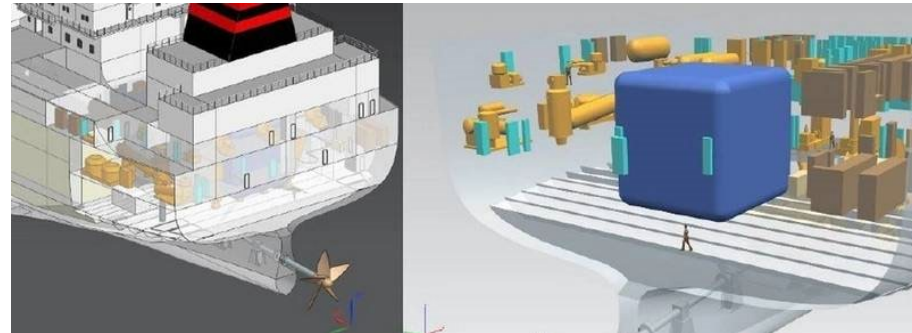
- KUN-24AP (MSR 기반 24,000 TEU 컨테이너선 : (L : 300 m, B : 40 m, D : 20 m) ※ 23k DF 컨테이너 L : 400 m, B : 61.5 m, D : 33.2 m

- ✓ Jiangnan 조선소 + DNV 선급 인증
  - ※ 항공모함 건조 경험
- ✓ 토륨(Th) 기반 액체용융염 핵연료 이용 원자로 탑재
- ✓ 15년~20년 주기의 원자로를 “배터리” 개념으로 교체



- NuProShip Project (노르웨이 원자력 추진선 프로젝트)

- ✓ Blykalla SEALER-55 (LFR 기반) 탑재 프로젝트 가동
- ✓ 초기 MSR 검토 수행 이후 LFR, HTGR(USNC) 검토
- ✓ Cargo 운반선 적용 목표 (2032년)



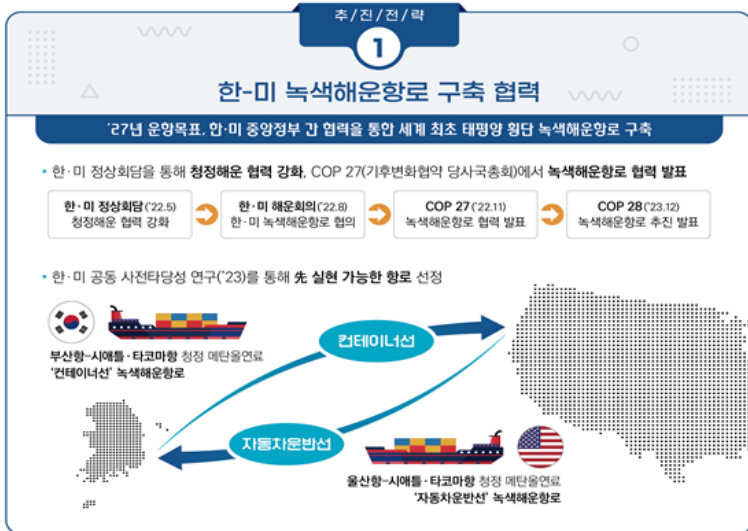
- 출처 : International Conference on the Nuclear Shipping (24.6) -NTNU

# 원자력추진선 비즈니스 모델 (K-MSR)

## ■ 비즈니스 모델 기준 항로 선정

- ✓ 현 시점에서의 주요 항로 경제성을 볼 때 15,000 TEU 컨선이 최적 모델로 판단
  - 미주 항로, 유럽 항로에 모두 적용 가능
  - 다수의 Port를 기항하는 것이 아닌 주요 Hub만 Shuttle Service 운영 (부산-Southampton, 부산-LA 등)
  - 원자력에 우호적인 국가 대상 항로 가능성 및 녹색해운항로 (Green Shipping Corridor) 고려

※ 무탄소 연료 또는 친환경 기술을 활용한 해상운송 전과정에서 탄소배출이 없는 항로



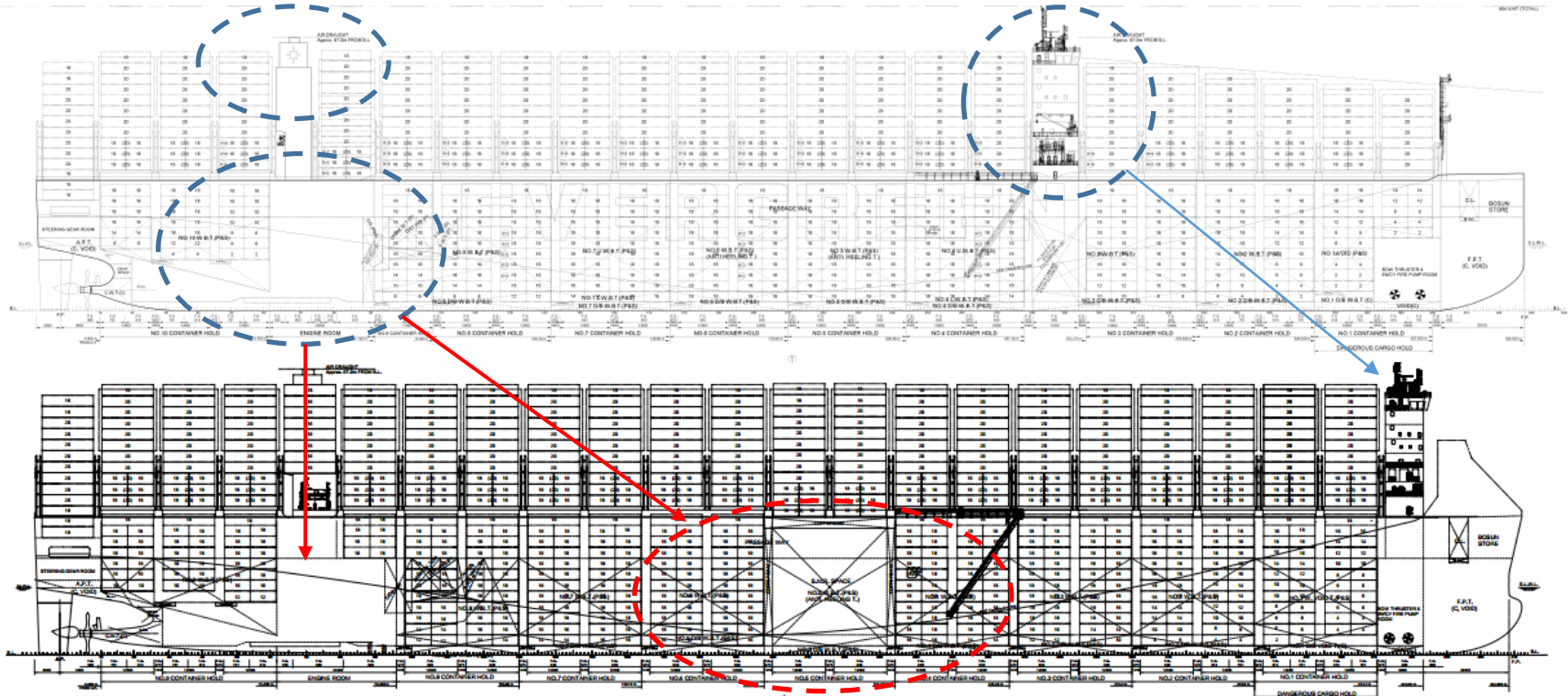
More than 50 announced green shipping corridor initiatives





# 원자력추진선 비즈니스 모델 (K-MSR)

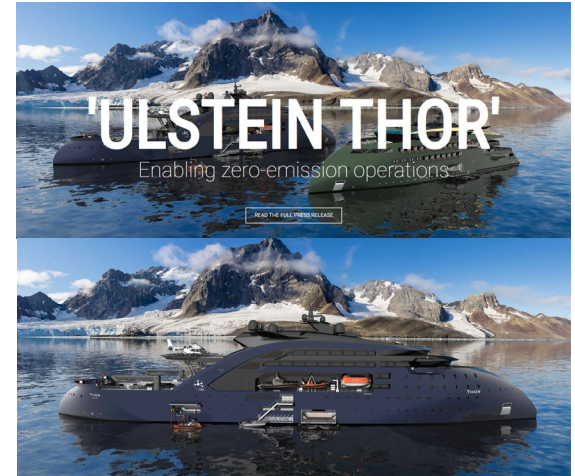
- 15,000 TEU급 컨테이너선 Pre-General Arrangement
  - ✓ KRISO “SMR 추진선 개념설계 연구” 프로젝트 연계



# 원자력추진선 비즈니스 모델

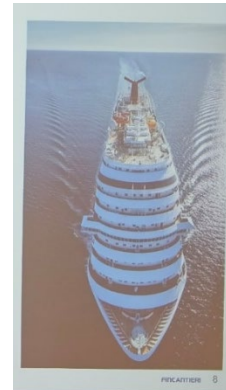
## ■ Ulstein THOR (노르웨이)

- ✓ 토륨(Thorium) 핵연료를 사용하는 MSR 탑재 선박개발
  - 3R : Replenishment, Research and Rescue
  - NTNU 토륨 핵연료 이용 원자로 연구팀과 협업 예정
  - 원자로에 대한 기본적인 spec. (용융염 정보)이 나타나 있지 않음



## ■ Fincantieri-NewCleo (이탈리아)

- ✓ 해저케이블 설치선 등의 Service Vessel
- ✓ 2050년 원자력추진 크루즈선 가능성 제시
  - 원자로에 대한 기본 제원 등은 나타나지 않음



# 부유식 해양 원전 비즈니스

- IAEA 부유식 해양 원전 심포지엄 ('23.11월)
  - ✓ International Symposium on the Deployment of Floating Nuclear Power Plants – Benefits and Challenges
  - ✓ 부유식 해양 원전의 건설(Deployment)에 대한 여러 고려 사항에 대한 검토 (원자력추진선은 제외)
  - ✓ Small Modular Reactors for Marine-based Nuclear Power Plant ('23.11월)

Small Modular Reactors for Marine-based Nuclear Power Plant

Technologies, Designs and Applications

A supplement to:  
IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS)



Marine-based SMR Designs

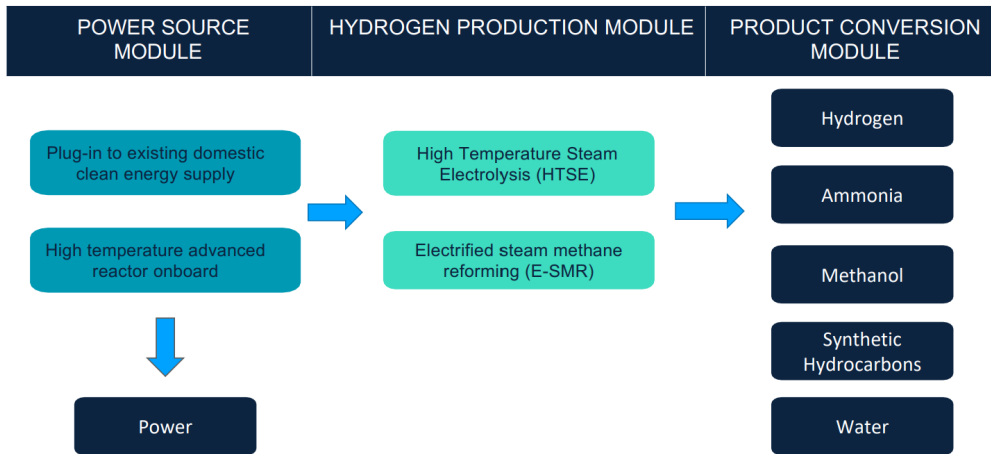
POWER RANGE OF MARINE-BASED SMR DESIGNS



# 부유식 해양 원전 비즈니스

## 부유식 해양 원전의 비즈니스 모델

- ✓ 단순 전기 생산이 아닌 “Carbon/Emission Free Energy” 생산
  - Power to X에 적합
  - 수소, 암모니아, 메탄올, 합성화석연료 및 담수 생산



## FPSO for Power, Hydrogen-Fuels, Desalination



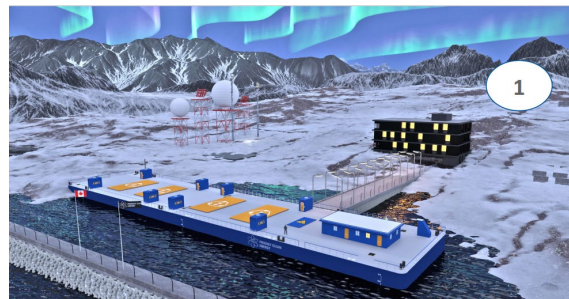
- 출처: IAEA FNPP Symposium (23.11) - TerraPraxis

2024.10. KNS 추계학술발표회 워크샵

# 부유식 해양 원전 비즈니스

## ■ 부유식 해양 원전의 비즈니스 모델

- ✓ Seaborg(덴) CMSR
  - 100 MWe CMSR 2기(총 200 MW)를 하나의 패키지로 공급
  - 육상 수소, 암모니아 생산 설비와의 연계 모델
- ✓ Prodigy(캐) FNPP 모델
  - 북미 지역 (캐나다 중심) 전력 공급
  - 100 MWe 이하 : 5~20 MWe급 Micro reactor 이용
  - 100 MWe 이상 : SMR Marine Power Station



- 출처 : IAEA FNPP Symposium (23.11)  
- Prodigy



# 원자력 수소/암모니아 생산

## ■ 원자력을 활용한 수소 생산 기술

- ✓ 생산된 전기를 수전해와 연계하여 생산
- ✓ 낮은 전력단가로 인한 경제성, 부하변동 대응 장점
- ✓ 고온의 증기를 이용한 고온 수전해 및 고온의 열을 이용한 열화학공정도 고려 가능

## ■ 원자력을 활용한 암모니아 생산 기술

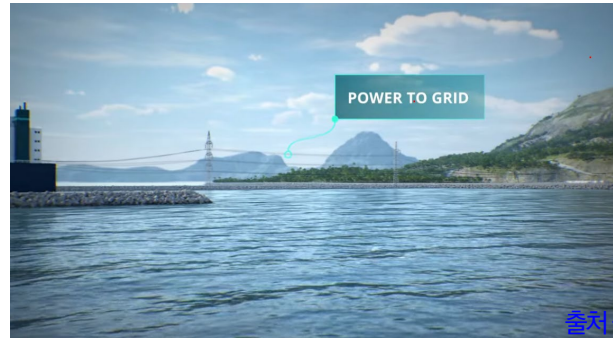
- ✓ 최근 선급/선주사 중심으로 한 암모니아 생산 검토 시작

### 04 Conclusions

Our analysis, as outlined above, confirms that a molten salt energy based nuclear power plant is a cost-feasible option for ammonia production for the shipping industry.

The levelized cost of ammonia from the molten salt reactor plant falls within range of the production costs compared to other renewables (wind and solar). Furthermore, although it is not substantially cheaper than other renewable energy sources, a molten salt reactor powered ammonia production could provide a viable alternative to meet the global energy demands if land availability is constrained.

출처 - Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping, '22.11



출처 - Seaborg Youtube

# 해양 원자력 적용을 위한 추가 고려 사항

## ■ 핵연료 수급 및 핵연료 교체

### 최태원·빌게이츠 '나트륨 원전꿈' 2년 늦어진다...테라파워 가동 연기

오소영 기자 oyy@theguru.co.kr | 등록 2022.12.15 13:58:32

2028년에서 2030년으로 연기  
우크라이나 전쟁 영향...HALEU 수급 제동

### [단독] 삼성중공업·GS건설·한수원 참여 '바다 위 원전' 연료 바뀐다...우크라戰 영향

2023.07.07 14:47:58

크게보기

덴마크 시보그, HALEU서 LEU로 변경  
우크라이나 전쟁 후 수급 불안정성 우려

- ✓ 우리늄 농축도가 높아질수록 원자로 소형화, 장주기 가능
- ✓ SMR의 출력증진과 방사성폐기물 배출량 감소를 위한 농축도 향상이 세계적으로 기술 개발의 화두
  - 해양 원자력 발전 특성 상 장주기 운전 필요
- ✓ NuScale 원자로는 현행 5% 농축도를 준용
  - 5% 초과 농축 우리늄 공급망 확보 불투명
  - 인허가와 사업화를 고려한 전략적 선택

## ■ 해양 원자력 제품의 상용화를 위한 길

### ✓ 기술적 측면

- 원자력추진선 및 부유식 원전 자체 개발 외 기타 이슈 (인허가, 규제, 안전원 교육 등)에 대한 것도 필요하나
- 우선은 선박 또는 부유식 원전에 들어갈 **원자로의 기술적 성숙도를 확보**하는 것이 중요
- 선주사, 발주처가 참여하는 프로젝트로의 확장 여부가 성패의 요인

### ✓ 경제성 측면

- 러시아-우크라이나 전쟁으로 인한 농축우라늄 기반 핵연료 수급 고려
- LCA(전주기평가) 기반 대체연료와의 우위 필요