

## 원자력선 개발 현황과 필요성에 대한 연구

장준섭  
한화오션(주)

### A Study on the Current Situation and Necessity of Nuclear Powered Ship

Junseop Jang  
Hanwha Ocean Co. Ltd.

**요약** 전 세계적으로 해양분야의 환경규제의 수준이 높아짐에 따라 선박 추진용 연료를 화석연료에서 친환경 연료로 대체하기 위한 연구가 진행 중이다. 선박의 대체 에너지원으로서 대체 연료는 원자력, LNG, 에탄올, 암모니아, 수소, 전기가 고려될 수 있으나 이는 연료의 생산단계에서 소비단계까지 전 과정에 걸쳐 온실가스의 배출을 고려해야 한다. 본 연구에서는 기존의 연료를 대체할 대표적인 선박용 에너지별 특성과 함께 원자력 추진 선박의 기술 현황에 대한 연구와 환경규제, 경제성, 선박의 운용환경 변화 측면에서의 원자력선의 개발의 필요성을 연구하였다. LNG, 에탄올, 암모니아, 수소, 전기는 에너지의 생산과 소비 과정에서 온실가스를 만들어 내거나 저출력의 선박의 추진용으로 적합한 것으로 파악되었지만 원자력 에너지는 다른 에너지에 비해서 매우 적은 온실가스를 배출하는 것으로 나타났다. 또한 디젤, LNG, 원자력의 생산에서부터 폐기까지의 비용을 산출하였으며 11.8년 이상 운용을 한다면 원자력 에너지가 다른 에너지에 비해 경제적으로 우수한 것으로 나타났다. 최근 북극항로를 이용하려는 시도가 이루어지고 있는데, 북극의 기후를 견디기 위해서는 원자력 에너지가 다른 에너지에 비해 장점을 가질 것이다. 본 연구는 향후 해운분야의 장기적인 로드맵을 수립하여 연구개발을 수립 시에 활용해야 할 것이며 관련 기술과 법률, 규제기준과 관련 연구가 이루어져야 할 것이다.

**Abstract** As the degree of environmental regulations in the marine sector increases worldwide, research is being conducted to replace ship fuel from fossil fuels to eco-friendly fuels. As alternative fuels for ships, nuclear power, LNG, ethanol, ammonia, hydrogen, and electricity can be considered, but this must take into account the emission of greenhouse gases from production to consumption. This paper studied the status of nuclear-powered ships along with the characteristics of alternative fuels and the necessity of nuclear-powered ships in terms of environmental regulation, economic feasibility, and changes in the operating environment of a ship. LNG, ethanol, ammonia, hydrogen, and electricity produce greenhouse gases in the production and consumption process, and some are suitable for low-power ships, but nuclear energy emits a very low level of greenhouse gases. In addition, nuclear energy was found to be economically superior to other energy if it was operated for more than 11.8 years. Recently, attempts have been made to use the North Arctic Route, and nuclear energy has an advantage over other energy sources to withstand this extreme climate. In the future, this study can be used to establish a long-term roadmap of the marine part, and related technologies, laws, and regulatory standards should be studied.

**Keywords** : Nuclear Powered Ship, SMR, IMO Environmental Regulation, Greenhouse Gases, Alternative Fuel

---

\*Corresponding Author : Junseop Jang(Hanwha Ocean Co. Ltd.)

email: gojangjs@naver.com

Received March 18, 2024

Accepted May 3, 2024

Revised April 3, 2024

Published May 31, 2024

## 1. 서론

2021년 12월에 발표된 과학기술정보통신부의 제6차 원자력진흥종합계획에서 극지·해양·우주 등 다양한 분야의 원자력기술 활용 확대를 주요 정책방향으로 설정하였다[1]. 우리나라는 세계 일류 수준의 원자력 공급망을 가지고 있으며 소형모듈원전(Small Modular Reactor, SMR)을 개발하고 있고 소형냉각고속로, 초고온가스로 관련 기술 확보를 통해 글로벌 원자력 시장에서 선도적인 역할을 하기 위해 노력하고 있다. 정부에서는 2022년 9월 한국형 녹색분류체계에 원자력을 포함시킨 초안을 공개하였으며 같은 해 10월에는 12대 국가전략기술 중 하나로 차세대 원자료를 포함시켜 추진하는 등 원자력 기술개발이 탄력을 받고 있다[2].

전 세계적으로는 기후변화에 대응하기 위한 노력이 진행 중이며 온실가스 배출량 중에서 연평균 약 2.9%를 차지하고 있는 해양분야 역시 환경규제의 정도가 점점 높아지고 있다[3]. 이에 대응하기 위해 다양한 대체 연료들이 연구되고 있으며 장기적인 관점에서 원자력 에너지의 활용 또한 검토되어야 할 것이다. 원자력 에너지는 육상에서의 에너지 이용 분야에서 화석연료를 대체하여 성공한 사례가 있는 유일한 에너지원이고 TOE(Tonne Of Equivalent)에 대비한 에너지양이 월등히 우수하여 연료비가 획기적으로 절감되는 장점이 있다[4]. 원자력선은 한 번의 핵연료봉 교환으로 5~7년 운항할 수 있으며 연료탱크가 없어 화물 적재를 더 많이 할 수 있는 장점을 가지고 있다[5].

본 연구의 구성의 다음과 같다. 2장에서는 향후 개발이 가능한 선박용 대체 연료와 함께 원자력선 관련 기술 현황을 기술하였으며, 3장에서는 원자력선 개발의 필요성 검토를 위해 IMO 및 EU의 환경규제 측면, 다른 추진체계와의 경제성 측면 비교, 그리고 선박 운용환경의 변화 측면에서 검토하였다. 끝으로 4장에서는 연구의 결과와 제언을 서술하였다.

## 2. 대체 연료 및 원자력선 기술현황

### 2.1 대체 연료 기술현황

기존의 연료를 대체할 선박용 연료는 LNG, 암모니아, 메탄올, 수소 및 전기 등이 있으며 각 연료별 특성을 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of alternative fuel of ship[6,7]

Fuel	Characteristics	Vol.
LNG	- 90% reduction effect of fine dust, 99% effect of sulfur oxide, 80% effect of nitrogen oxide, 20% effect of CO <sub>2</sub> compared to diesel. - Shipbuilding cost is high, but heat generation is high and fuel cost is low.	1.65
Ethanol	- Since produced from natural gas, CO <sub>2</sub> is generated from WtW viewpoint. - CO <sub>2</sub> is generated during combustion in a ship. - Biomethane is twice the price, mixed with diesel so CO <sub>2</sub> is generated.	2.39
Ammonia	- Fuel itself has toxicity and corrosion problem. - Low ignition and high nitrogen oxide(NOx) emission	2.72
Hydrogen	- Difficult to handle due to low liquefaction temperature(-253℃) - Difficult fuel supply and low energy density	4.46
Electricity	- Limited battery capacity and expensive cost	-

LNG는 미세먼지, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> 배출 저감효과는 비교적 크나, CO<sub>2</sub>에 대한 효과는 미미한 것으로 나타나 다른 대체 연료를 찾기 전까지 1~2년 정도 한시적으로만 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 메탄올, 암모니아, 수소, 전기는 바이오메탄과 일부 전기를 제외하고 현재의 생산방식으로 연료를 생산한다면 생산과정에서 온실가스가 발생하므로 연료의 전과정 배출량(Well-to-Wake, WtW) 관점에서 문제가 된다.

메탄올은 바이오메탄을 제외하고 비교적 쉽게 연료의 공급이 가능하지만 선박 내 연소과정에서 CO<sub>2</sub>가 발생하므로 환경규제의 목표값이 상향된다면 규제를 피할 수 없을 것이다. 바이오메탄의 경우 2035년부터 공급이 가능할 것으로 예상되지만 저유황유와 비교해서 가격이 2배 이상 비싸며 효율을 높이기 위해서 증유 또는 디젤과 혼합하여 사용해야 하므로 온실가스 저감 효과는 낮을 것으로 예상된다[7].

암모니아는 Eq. (1)에서와 같이 연소과정에서 CO<sub>2</sub>가 발생하지 않으나 질소산화물이 발생하며, 특히 N<sub>2</sub>O는 CO<sub>2</sub>보다 지구온난화 효과가 200배나 되어 매우 심각한 온실가스에 해당된다[8,9]. 암모니아 용액은 pH11.5로 연료탱크와 관련 계통의 부식성 문제를 해결해야 하고 발화성이 낮으며 그 자체로서 독극물이 되므로 유출될 경우 인체에 치명적일 수 있어 유의해야 한다. Fig. 1과 같이 암모니아 추진체계는 연료탱크, 연료공급시스템, 연료준비실 등 전 영역에 걸쳐 누출 가능성이 존재하므로 신뢰성 있는 체계의 구축과 사고 예방시스템이 필요하다. 수소와 전기는 에너지 밀도가 낮아 연안의 소형 선박에만 사용할 수 있을 것으로 판단된다[7].

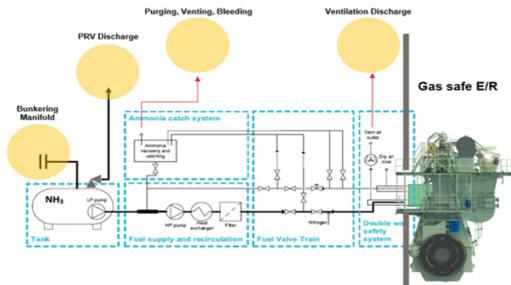
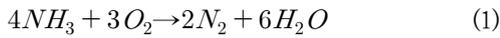


Fig. 1. Leakage sources in ammonia propulsion system[7]

### 2.2 원자력선 기술현황

원자력선은 주로 군사용으로 개발되었으며 1955년부터 약 500여척의 함정에 800여 기의 원자로가 탑재되었다[4]. 상업용 원자력선은 Table 2와 같이 러시아, 미국, 독일, 일본에 운항 경험이 있으며 이 중 현재까지 운항하고 있는 국가는 러시아로 7대의 상용 원자력선을 운항 중이고 최근에는 차세대 원자력선을 개발하기 위해 고효율의 원자로를 연구하고 있다.

Table 2. List of nuclear powered ships worldwide[4]

Ship name	Narion	Launching-dismantling	Length	Speed (kts)	Reactor	Thermal power (MWt)
Savanna	USA	1962-1977	181	20.25	PWR	80
Otto-han	Germany	1968-1982	172	16	PWR	38
Mutsu	Japan	1972-1996	130	16.5	PWR	36
Lenin	Russia	1959-1989	134	18	3OK-150	3×95
Arktika	Russia	1975-2008	147.9	20.8	2OK-900A	2×135
Sibir	Russia	1977-1993	147.9	-	2OK-900A	2×159
Rossiia	Russia	1985-	150	7	2OK-900A	2×159
Sevmorput	Russia	1988-	260.1	20	KLT-40	135
Taimyr	Russia	1989-	151.8	-	KLT-40M	171
Sovetskiy Soyuz	Russia	1989-	148	20.6	2OK-900A	2×159
Valgach	Russia	1990-	150	18.5	KLT-40M	171
Yamal	Russia	1993-	148	20.6	2OK-900A	2×159
50 Lyet Pobyedi	Russia	2007-	160	18.6	2OK-900A	2×159

원자력선에 활용될 수 있는 원자로는 100MW 내외로 이를 SMR이라고 하며 대형 원전에 비해 1/10 규모이다. BloombergNEF는 SMR 시장이 2027년부터 42.7GW 규모로 형성되어 2040년에는 1,376GW, 2050년에는 2,937GW 규모로 확장될 것으로 예상하였다[10]. 세계 각국에서 개발 중인 SMR은 Table 3과 같으며 우리나라

도 세계 최초로 설계 인증을 받은 100MWe의 SMART 원자로를 보유하고 있다. 정부의 110대 정책과제에서는 원전 최강국 도약을 위한 목표로 독자적인 SMR 노형 개발을 목표로 삼았으며 2022년 5월에는 혁신형 SMR (i-SMR) 기술개발 사업이 예비타당성 조사를 통과하여 2028년까지 3,992억원의 예산을 관련 기술 개발에 투입할 예정이다[6].

Table 3. SMR under development worldwide[4]

Design	Company	Country	Type	MWe
IRIS	Westinghouse	USA	PWR	335
mPower	Babcock & Wilcox	USA	PWR	125
NuScale	NuScale Power Inc.	USA	PWR	45
SMART	KAERI	Korea	PWR	100
KLT-40s	OKBM Afrikantov	Russia	PWR	35
VBER-300	OKBM Afrikantov	Russia	PWR	295
PBMR	PBMR(Pty) Ltd.	South Africa	HTR	165
HTR-PM	Tshinhua INET & Huaneng	China	HTR	210
GT-MHR	General Atomic	USA	HTR	286
4S	Toshiba	Japan	LMR	10
HPM	Hyperion Power Generation	USA	LMR	25
PRISM	General Electric-Hitachi	USA	LMR	311

## 3. 원자력선 개발의 필요성

### 3.1 환경규제 측면

Fig. 2에서와 같이 해운분야에 현재 수준의 화석연료를 지속적으로 활용한다면 2050년 온실가스 배출량은 2008년에 대비하여 3배 이상으로 증가할 것으로 예상하였다. 이는 해양운송 분야에서 온실가스 배출량 산출을 위한 주요인자인 물동량이 2022년부터 2026년 기간 동안 연평균 2.4% 증가하는 등 지속적인 해양 물동량 증가에 기인한 것으로 판단된다. 이와 같은 이유에서 전 세계적으로는 보다 강력한 해운분야의 환경규제가 제정되고 있다[11].

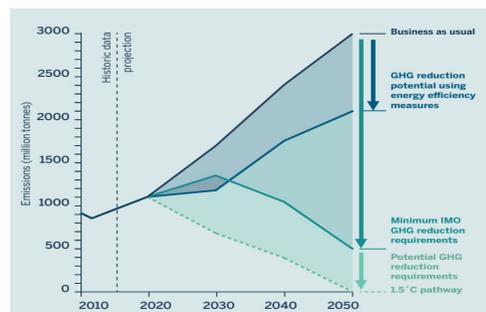


Fig. 2. Forecast of ocean volumes worldwide

원자력 에너지는 Fig. 3에서와 같이 WtW 관점에서 기존의 화석에너지 대비 1/68~1/41 수준의 탄소를 배출하여 환경규제 대응 측면에서 매우 탁월하며 이는 태양광이나 수력 에너지 대비 1/2 수준이고 풍력에너지와 유사한 온실가스 배출이 최저 수준의 에너지이다. 따라서 원자력 에너지를 선박의 추진용으로 활용하였을 경우 환경규제에 효과적으로 대응할 수 있을 것이다.



Fig. 3. Carbon emission by power source[11]

### 3.1.1 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)

1997년 9월 IMO에서 주관한 해양오염방지협약(MARPOL, MARitime POLLution treaty) 당사국 회의에서는 부속서 제6장 제8규칙을 신설하여 “선박으로부터 배출되는 CO<sub>2</sub> 감축”을 최초로 명시하고 미래 온실가스 감축을 위한 로드맵을 마련하였다. 이후 5~8년 간격인 2003, 2011, 2016, 2023년에 각각 이 규칙과 로드맵을 구체화하였다. 특히 2023년에 개최된 ISWG-GHG 15차와 MEPC 80차 회의에서는 2023 IMO 선박 온실가스 감축 전략(이하 ‘2023 IMO 온실가스 전략’)이 채택되었으며 이는 초기의 규칙 및 로드맵과 비교하여 온실가스 저감을 위한 기준이 기존대비 매우 높은 수준으로 설정되었다[12].

2023 IMO 온실가스 전략은 2절에서 비전을 “2050년 무립 순배출량 제로(net-zero)”로 설정하고 3절에서 Table 4와 같은 중간점검 지표를 제시하였다[13].

Table 4. IMO interim inspection indicator of greenhouse gas strategy[13]

Sort.	Contents
Indicator 1	By 2030, reduce annual greenhouse gas emissions of international shipping by at least 20% and try to reduce them by 30% compared to 2008.
Indicator 2	By 2040, reduce annual greenhouse gas emissions of international shipping by at least 70% and try to reduce them by 80% compared to 2008.
Indicator 3	Consider the entire process of ship fuel(WtW) that is greenhouse gas emissions from the production to consumption.

온실가스 기준에 대해 탄소 또는 그 이외의 가스인가에 대해 의견이 대립하였으나, 이산화탄소 이외에도 메탄 및 이산화질소 등도 강력한 온실가스로 결정되었다. 또한 이전의 감축전략 변화사례를 바탕으로 IMO의 전략은 후퇴하지 않을 것이며 매 5년 단위로 개정되는 IMO의 전략발표를 통해 단계적으로 상향하게 될 것임을 예상할 수 있다[13].

### 3.1.2 유럽연합(EU)

2021년 7월 유럽대륙의 기후변화와 환경분야의 청사진을 담은 「EU Fit for 55 패키지 법안」이 발표되었으며, 해운분야는 배출권거래제(ETS, Emission Trading Scheme)와 해상연료 기준(FuelEU Marine)이 해당된다[14]. ETS에 의하면 2024년부터 EU의 항만에 정박할 때 발생하는 배출량을 산정하여 이에 해당하는 배출권을 구매하여 해당 국가에 제출해야 한다. 2020년 EU MRV 데이터를 기준으로 산정하면 전 세계의 총 11,205척의 선박이 대상이 되며 배출권의 구매에 따른 비용은 연간 약 100억 유로에 이를 것으로 예상된다[14]. 우리나라의 상당수 선박이 대상이 될 것이며 현재의 선박 추진체계를 고수한다면 상당한 비용을 지출해야 할 것이다.

FuelEU Marine은 2025년부터 EU 항만에 기항하는 선박에 대하여 연료의 WtW를 대상으로 산정된 연료별 온실가스 배출량을 기준으로 규제량보다 높은 만큼의 차이를 벌금으로 부과하는 방식이다. 이는 2025년부터 5년 단위로 단계적으로 강화될 예정이다. 한국선급(Korean Resister, KR)에서 정산한 결과에 따르면 선박용 중유(HFO)를 포함하여 대부분의 화석연료에 대해 2025년부터 벌금이 부과되며, LNG는 2029년까지 벌금이 부과되지는 않으나 2030년 이후에는 모든 화석연료에 대해 벌금이 부과될 것으로 판단하였다[14].

### 3.2 경제성 측면

2014년 우리나라의 대형 조선회사인 STX에서 선박의 대표적인 추진체계를 대상으로 경제성을 분석한 자료를 발표하였다. 종합적인 차원에서 하나의 체계가 획득, 운영 및 유지되고 도태까지의 비용을 모두 포함한 수명주기비용(Life Cycle Cost, LCC)을 분석하였으며 이는 Eq. (2)와 같이 현금의 가치 할인율과 물가 상승률을 고려하여 현재의 가치를 기준으로 미래의 비용을 신뢰성있게 분석한 결과로 평가된다.

$$Total\ Cost = A + \sum_t^n B \frac{(1+r)^n}{(1+i)^n} + C \quad (2)$$

- A : 초기 건조비용
- B : 연간 운용비용
- C : 폐선 처리비용(원자력 추진체계)
- r : 물가 변동률
- i : 현금 할인율
- n : 미래 시점

대상 선박은 16,000TEU 컨테이너선으로 대표적인 항로인 25,700NM 아시아-유럽항로를 기준으로 320일간 운항하며, 25년 운항을 가정사항으로 설정하였다. 대표적인 추진체계는 디젤, LNG, 그리고 원자력을 선정하였으며, Table 5에서와 같이 LCC 분석결과는 초기 및 페로처리비인 CAPEX(CAPital EXpenditure)와 운영하는데 필요한 연간 비용인 OPEX(OPeration EXpenditure)로 구성된다[15].

Table 5. LCC analysis results in each propulsion system(unit : a hundred million won)[15]

Sort.	Items	Cost		
		Nuclear	Diesel	LNG
CAPEX	Design	-	-	-
	Building	6,680	1,400	1,820
	Decommissioning	517	-	-
	SCR	-	23	23
	Total	7,197	1,423	1,843
OPEX	Crew	15	11	11
	Hull Insurance	65.8	32.8	32.8
	Repair & maintenance	16.1	16.1	16.1
	Articles & supplies	5.2	5.2	5.2
	Management	2	2	2
	Port fee	41.1	41.1	41.1
	Fuel	70	583.3	504.9
	container loss	-	-	63.2
	Total	215.2	691.4	676.2

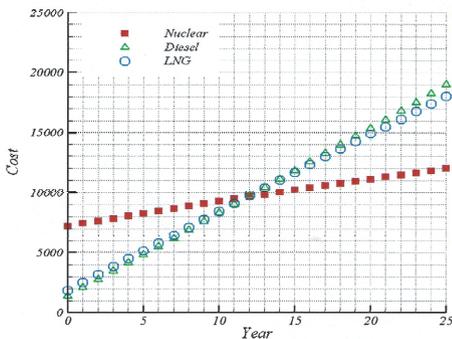


Fig. 4. LCC results in each propulsion system during the operation period[15]

Table 5의 분석결과를 바탕으로 운용기간 중에 소요되는 LCC를 그래프로 나타내면 Fig. 4와 같다. 여기서 원자력 추진체계 대비 타 추진체계의 운용비용이 높아지는 역전시점은 11.8년으로 25년간 운용한다고 가정하면 디젤은 총 7,038억원, LNG는 6,084억원의 비용이 더 소요되는 것을 확인할 수 있다.

### 3.3 선박의 운용환경 변화 측면

최근 북극항로(North Pole Route)를 시작으로 극한 환경 조건에서 선박의 운용 필요성이 높아지고 있다. 이는 북미와 유럽을 잇는 캐나다 해역의 북서항로와 아시아와 유럽을 잇는 러시아 해역의 북동항로로 나뉘며 Fig. 5과 같이 수에즈 운하를 이용하는 현재의 항로보다 거리가 훨씬 짧아 항해 일수와 물류비를 크게 단축할 수 있다. 또한 이 항로에는 인도양에 출몰하는 해적 등의 위험 요소가 없으며 미발견 석유와 전 세계 자원량 22%에 해당되는 가스, 그리고 금, 은, 다이아몬드, 아연 등 다수의 광물자원이 매장되어 있는 것으로 평가되고 있다[11].



Fig. 5. North Pole Route[16]

이 항로에서 운항되는 선박은 저온 상태에서 선체의 결빙, 눈의 축적, 그리고 해수의 물보라 등으로 인한 얼음 축적으로 장비의 지속적인 작동이 어려울 것이다. 또한 겨울에 바다가 얼어붙는 해역에서는 쇄빙선과 화객선 등이 선단을 이루어 항해를 해야 하는데 러시아를 기준으로 쇄빙선 이용금액은 컨테이너 화물의 경우 톤당 약 4만원이 적용된다. 만일 추진원으로 원자력 에너지를 사용한다면 적은 양의 연료로도 높은 효율을 낼 수 있어 극한의 기후에 경쟁력을 가질 수 있을 것이며, 선박의 규모가 크고 고출력이므로 선단을 이룰 필요가 없이 한 대의 선박으로 쇄빙과 화물 및 인원 이송 등의 역할을 할 수 있을 것이다[17]. 이 항로는 이미 러시아의 원자력 쇄빙

선이 운항하고 있는 곳이므로 원자력선에 대한 주민들의 수용성에 대한 우려가 적을 것으로 예상된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 기존의 연료를 대체할 대표적인 선박용 연료인 LNG, 암모니아, 메탄올, 수소 및 전기의 특성을 연구하였다. LNG의 온실가스 저감효과는 미미하며, 메탄올과 암모니아는 온실가스 저감효과는 있으나 향후 환경규제 목표값이 상향된다면 규제를 피할 수 없을 것이고, 수소와 전기에는 에너지 밀도가 낮아 소형 선박에만 적용할 수 있을 것으로 나타났다. 전 세계적으로 원자력선은 1950년대부터 운용되어 왔으며, 원자력선에 활용할 수 있는 SMR에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 특히 우리나라에는 세계 최초로 설계 인증을 받은 SMART 원자로를 보유하고 있으며 이를 개량하는 사업이 수행되고 있어 원자력선을 개발을 위한 역량을 충분한 것으로 판단하였다.

2023 IMO 온실가스 전략에서는 2050년 무렵 순배출량 제로로 설정하고 중간점검 지표를 설정하였는데 이는 이전의 감축전략 변동사례를 바탕으로 단계적으로 상향될 것이라 판단하였다. 유럽연합에서도 EU Fit for 55를 통해 해운분야의 환경규제를 발표하였으며 이에 따르면 현재의 선박 추진체계를 지속한다면 상당한 수준의 비용을 지출해야 할 것으로 나타났다. 디젤, LNG 및 원자력 선박을 대상으로 경제성을 살펴보기 위하여 설계부터 폐기까지의 전 과정의 비용을 산출한 결과 11.8년 이상을 운용할 경우 원자력 추진체계가 경제성이 있었다. 또한 최근 북극해 항로 이용의 필요성이 증가하여 극한의 기후를 견딜 수 있는 고출력의 선박이 필요함에 따라 원자력선이 향후 경쟁력이 있을 것으로 판단하였다.

본 연구에서는 원자력선의 현황과 필요성에 대한 기본적인 연구를 수행하였으며, 앞으로의 연구는 원자력선과 관련된 기술, 그리고 법률 및 규제기준과 관련된 분야에 대해 세부적으로 수행하여 구체화해야 할 것이다.

#### References

- [1] 6<sup>th</sup> Comprehensive Plan for Nuclear Promotion 2022~2026, Ministry of Science and ICT, Korea, p.21.
- [2] K. T. Kang, SMR, KISTEP Brief 44, Korea, p.1.
- [3] J. K. Ahn, "Renewing Tonnage Taxation of Shipping in Linkage to Greenship Certification Scheme", *SNAK* Vol.60, No.2, p.5, 2023.  
DOI: <http://doi.org/10.3744/SNAK.2023.60.2.86>
- [4] S. H. Han, A Plan for the Commercialization of Marine Nuclear Systems, Technical Report, SNAK-KAERI, Korea, pp.1, 84, 96-100.
- [5] S. J. Kim, "Analysis of risk-based structural design technology trend for nuclear propulsion ship", *Annual SNAK Autumn Meeting 2011*, Mokpo, Korea, p.1.
- [6] J. M. Lee, KAERI Nuclear Policy Brief Report 2022-02, Technical Report, KAERI, Korea, p.3.
- [7] Y. J. Kim, *A Study on the Impact of IMO Environment on the Climate Technology Commercialization Strategy of Shipping Industry*, Master's thesis, Busan University, Pusan, Korea, pp.26-28, 46-47, 2023.
- [8] Johanna Wilde, Ammonia attracts the shipping industry, but researchers warn of its risk, [Internet]. Applied Energy, c2024 [cited 2024 Mar. 8], Available From: <https://newswise.com/articles/shipping-industry-lure-d-by-ammonia-risks-cautioned?channel> (accessed Mar. 8, 2024)
- [9] Fayas Malik Kanchiralla, "How do variations in ship operation impact the techno-economic feasibility and environmental performance of fossil-free fuel? A life cycle study", *Applied Energy* Vol.350, p.8, 2023.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121773>
- [10] BloombergNEF, New Energy Outlook 2021, [Internet]. BloombergNEF, c2024 [cited 2024 Fed. 19], Available From: <http://about.bnef.com/new-energy-outlook/> (accessed Mar. 8, 2024)
- [11] C. Y. Kim, KAERI Nuclear Policy Brief Report 2022-03, 2022, pp.4-7.
- [12] MEPC 80.WP.1 Draft Report of the Marine Environment Protection Committee on its Eightieth Session, Technical Report, IMO, U.K.
- [13] J. Y. Lee, "A Study on the Comprehensive Impact of the 2023 IMO GHG Strategy on International Shipping", *SNAK* Vol.60, No.6, pp.4-5, 2023.  
DOI: <http://doi.org/10.3744/SNAK.2023.60.6.397>
- [14] J. H. Kim, KR 「Fit for 55」 Paper, [Internet]. Korea Maritime Press, c2022 [cited 2022 Sep. 26], Available From: <http://www.maritimepress.co.kr/news/articleView.html?idxno=311819> (accessed Mar. 8, 2024)
- [15] B. C. Shin, "Economic Analysis and Conceptual design of nuclear propulsion system", *SNAK*, Pusan, Korea, pp.7-10, May 2014.
- [16] Doopedia, North Pole Route, [Internet]. Doopedia, c2024 [cited 2024 Fed. 19], Available From: <https://terms.naver.com/entry.naver?docid=1104318&cid=40942&categoryId=32195> (accessed Mar. 8, 2024)
- [17] Bashlanov Nikolai, *A Study on the Vitalization of the Arctic Route in Russia*, Master's thesis, Kangwon University, Kangwon, Korea, p.50, 2020.

장 준 섭(Junseop Jang)

[정회원]



- 1999년 2월 : 해군사관학교 공학대학 조선기계공학과 (공학학사)
- 2002년 2월 : 서울대학교 공학대학 원자핵공학과 (공학학사)
- 2008년 8월 : 미국 텍사스 A&M 대학교 원자핵공학과 (공학석사)
- 1999년 3월 ~ 2019년 10월 : 해군장교 (잠수함 함정)
- 2019년 11월 ~ 현재 : 한화오션 함정기술연구센터 책임연구원

〈관심분야〉

원자핵공학, 조선공학