

암모니아 운반 선박의 암모니아 추진 모델 적용을 위한 연료 소비량 분석

Analysis of Fuel Consumption for Application of Ammonia Propulsion Model in Ammonia Transport Ships

임승택* · 이호생** · 문정현*** · 서영균****†
Seung-Taek Lim*, Ho-Seang Lee**, Jung-Hyun Moon*** and
Young-Kyun Seo****†

(Received 7 February 2022, Revision received 22 February 2022, Accepted 22 February 2022)

Abstract : In order to analyze the fuel consumption of eco-friendly ships promoting ammonia fuel, which is currently being developed due to increasing international demand for alternatives of environmental pollution causing ships, a modeling of fuel consumption analysis has been analyzed in this study. Modeling of fuel consumption analysis has been applied to a pre-existing ammonia transporting ship to figure out HFO consumption according to engine output. The applied ship, a 16,080 kW class model crossing the United States and Europe, showed a fuel consumption of 2,714 kg/h at 100% load. In the meantime, ammonia fuel conversion rate of 2.2 was applied to confirm the maximum fuel amount of 5,909 kg/h and the consumption per output of 368.9 g/kWh based on the same engine power. Moreover, an additional analysis of the fuel consumption and storage capacity regarding the operating speed and route were analyzed. In the case of the load change rate of the diesel engine applied to the ammonia engine, the smallest SFOC of 360.0 g/kWh at 75% of the load was shown and the fuel consumption was about 4,336.9 kg/h. In the case of the route from the US to UK, with 30% portion of maximum load applied, fuel consumption of 1,837,000 kg/h and volume of 2,816.6 m³ were required for the fuel consumption analysis. Results of this study will be used for further fuel consumption analysis of operational characteristics in the future.

Key Words : Ammonia carrier, Heavy fuel oil, Fuel consumption, Lower heating value

****† 서영균(ORCID:<https://orcid.org/0000-0001-5771-6518>) : 선입연구원, 해양플랜트산업지원센터, 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소

E-mail : ykseo@kriso.re.kr, Tel : 055-639-2419

*임승택(ORCID:<https://orcid.org/0000-0001-6889-9698>) : 연구원, 해수에너지연구원, 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소

**이호생(ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-3042-5889>) : 책임연구원, 해수에너지연구원, 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소

***문정현(ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-5247-1029>) : 연구원, 해수에너지연구원, 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소

****† Young-Kyun Seo(ORCID:<https://orcid.org/0000-0001-5771-6518>) : Senior Researcher, Offshore plant.Industry support center, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering.

E-mail : ykseo@kriso.re.kr, Tel : 055-639-2419

*Seung-Taek Lim(ORCID:<https://orcid.org/0000-0001-6889-9698>) : Researcher, Seawater Utilization Plant Research Center, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering.

**Ho-Seang Lee(ORCID:<https://orcid.org/0000-0003-3042-5889>) : Principal Researcher, Seawater Utilization Plant Research Center, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering.

***Jung-Hyun Moon(ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-5247-1029>) : Researcher, Seawater Utilization Plant Research Center, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering.

1. 서론

세계적으로 해양오염에 문제가 대두되는 시점에서 IMO에서는 에너지 정책을 통해 운항 효율을 높이기 위한 방안을 논의하고 있다. 따라서 국내외 조선사는 수소, 암모니아, 에탄올 등 오염원이 적은 친환경 연료를 사용한 선박 개발이 추진되고 있으며, 그 중 저장 운송이 유용하고 현재 농수산, 냉동 등에 다양하게 활용되고 있는 암모니아가 새로운 대안으로 나타나고 있다.¹⁾

MAN B&W에서는 2024년 암모니아 추진 선박을 개발할 것으로 보고하고 있으며, 최초의 적용 선박은 암모니아 취급이 유용한 암모니아 운송 선박이 될 것으로 예상하고 있다.²⁾ Fig. 1은 선박의 연료 변화량이다.³⁾

따라서 암모니아 연료를 활용한 엔진 설비와 관련 연료 공급 시스템에 관한 연구가 진행되고 있으며, 암모니아 엔진의 경우 디젤 엔진과의 이중연료를 활용한 연구^{4,5)}와 단일 연료로서의 연료 특성 분석 연구가 수행되었다.⁶⁾ 특히 선박에서의 암모니아 적용은 선급을 중심으로 기술을 정립하고 있으며⁷⁾, 국내외의 대학 및 연구 기관에서 기술 개발을 위한 연구가 수행되고 있다.⁸⁾

본 논문에서는 현재 운항 중인 LPG/암모니아 운송 선박의 운항 항로와 엔진 규모, 항해 일정을 고려하여 암모니아 연료 엔진으로 대체할 경우 엔진 규모에 따른 연료 소비량을 분석하였으며, 운항 시간에 따른 동적 모델을 구성하기 위한 시뮬레이션 모델을 설계하였다.

2. 연료 소비량 분석

2.1 암모니아 선박 선정

본 연구에서 적용된 암모니아 선박은 영국에서 암모니아를 선적하여 미국에 하역하는 CLIPPER FREEPORT라고는 LPG/암모니아 운반 선박으로서 MAN B&W 디젤 엔진을 적용하였으며, 최대 출력은 16,080 kW, 최대 16.5 knot의 항해 속도를 보이고 있으나, 실제 항해 속도는 14.0 knot로 제시하고 있다. 이때 디젤엔진의 경우, 약 169.0 g/kWh의

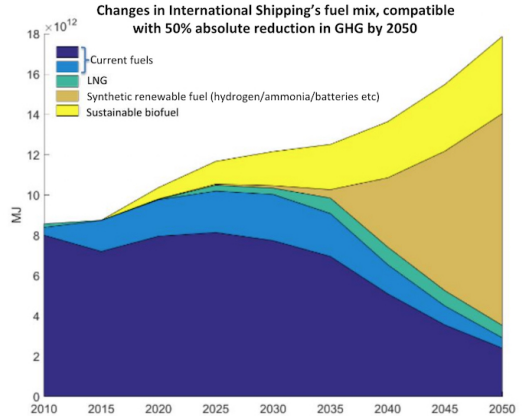


Fig. 1 Ship fuel composition



Fig. 2 LPG/Ammonia carrier ship (CLIPPER FREEPORT)

SFOC(Specific Fuel Oil Consumption)를 보이고 100% 부하를 고려할 때 2,714 kg/h의 연료소비량이 발생한다. Fig. 2는 적용된 암모니아 운반선이다.

2.2 암모니아 선박 항로 특성

CLIPPER FREEPORT 선박은 미국 텍사스의 Quintana항에서 하역하여 영국 Immingham으로 선적을 위해 출항하였으며, 2021년 4월 11일 출항하여(ATD) 4월 25일 도착(ETA)이 예정되어 있다. 암모니아 선박의 총 항해 일정과 거리는 Marine Traffic을 활용하였으며, 총 항해 시간은 선박의 항속 변화를 적용하지 않았다.⁹⁾

총 항해 거리는 약 9,659 km로서 100%의 엔진



Fig. 3 Quintana/Immingham port route & ship's speed characteristics

부하의 속도로 항해된다고 가정할 경우, 14.0 knot의 속도(25.9 km/h)로 이동되며, 총 372.9 hour(15.5 day)의 항해 시간이 소요될 것으로 예상된다. 디젤 기관을 이용한 항해를 가정하면 최대 1,01.2만 kg의 연료가 소요될 것으로 예상되며, 703.97 kg/m³(50°C)의 디젤유 밀도를 적용하여 총 1,437.8 ton의 소비량이 예상된다. Fig. 3은 선박이 출항하는 Quintana과 Immingham 항의 항로 및 선박 운항 속도 특성이다.

3. 암모니아 연료 전환

3.1 암모니아 연료전환에 따른 사용량 변화

2021년 현재 선박의 연료는 HFO와 MDO 등 화석에너지 기반 연료가 90% 이상을 차지하고 있으며, 대체 연료 또한 LNG와 바이오 연료로서 CO₂ 발생을 유발하는 연료라는 것은 변함이 없다. 이와 같은 화석 연료를 암모니아로 대체하기 위해서는 선박의 추진 용량에 필요한 연료의 발열량을 고려하여야 한다.

암모니아는 밀도가 크고 발열량이 적어 기존 소요량 대비 약 2.2배 연료소비량이 발생하며, 이를 저장하기 위한 대량의 연료 저장 설비가 필요

할 것으로 예상된다. 연료 소비량에 관한 계산식은 식 (1)과 같다.

선박의 연료 소비량은 연료의 종류, 엔진의 규모, 항속에 따라서 변화가 발생하며, 암모니아 운송 선박의 종류에 따라 연료 소비량이 변화된다.

$$fuel\ consumption\ of\ Ammonia = \frac{LHV\ of\ HFO}{LHV\ of\ Ammonia} \quad (1)$$

3.2 엔진 규격에 따른 암모니아 소비 적용

MAN B&W에서 제공하는 CEAS 계산 프로그램을 이용하면 다양한 엔진의 TYPE에 따라 엔진 출력과 엔진의 배기가스 유량과 온도 등 다양한 사양을 계산할 수 있다. 엔진의 규모 및 연료 사용량은 엔진 타입에 따라 달라지며, 엔진 타입은 실린더의 개수와 실린더의 직경에 따라 분류 된다. 소형 벌크선의 경우, 1만 kW급 이하의 엔진이 주로 사용되며, 대형 벌크선 및 LPG, 암모니아 선박의 경우, 1~3만 kW급이 적용된다. 대형 유조선 및 LNG 선박의 경우, 5만 kW 내외의 엔진이 적용되며, 고속 엔진이 요구되는 대형 컨테이너 선박의

Table 1 Output and specifications by engine type

Engine Type	Power [kW]	Speed [rpm]	SFOC [g/kWh]	Fuel Consumption [kg/h]
6S30ME	3,840	195	176	675
6S40ME	6,810	146	174	1,185
6S50ME	9,960	127	170	1,693
7S50ME	11,620	127	179	2,080
7S60ME	16,660	105	169	2,815
7S70ME	22,890	91	169	3,868
5S90ME	29,050	84	166	4,822
6S90ME	34,860	84	166	5,786
7S90ME	40,670	84	166	6,751
8S90ME	46,480	84	166	7,716
9S90ME	52,290	84	166	8,680
10S90ME	58,100	84	166	9,645
11S90ME	63,910	84	166	10,609
12S90ME	69,720	84	166	11,573
14S90ME	81,340	84	166	13,502

*Source : MAN B&W CEAS Engine Calculation

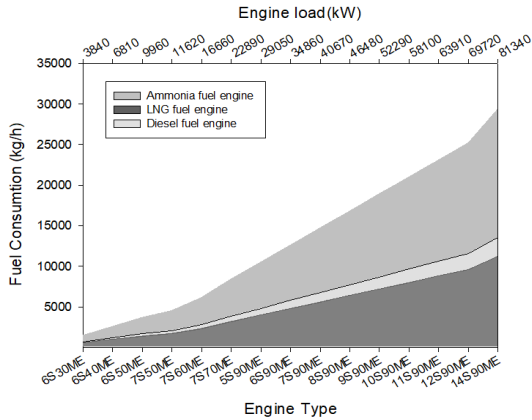


Fig. 4 Fuel Consumption according to engine load

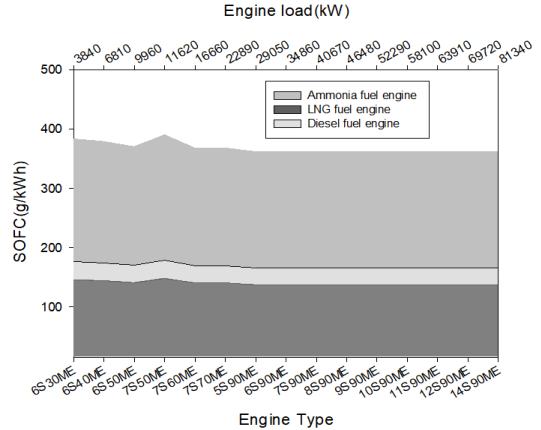


Fig. 5 SFOC according to engine load

경우, 최대 8~10만 kW급 엔진까지 활용되고 있다. Table 1은 각 선박 디젤 엔진의 출력 변화에 따른 SFOC와 연료소비량이다.

암모니아 연료로 대체될 경우 연료 소비량은 Fig. 4와 같다. 16,080 kW급 엔진의 연료 소비량과 비교하여 2.2배의 연료량을 적용할 경우, 5,909 kg/h의 소비량이 예상되며, 이때 암모니아의 SFOC는 Fig. 5와 같이 368.9 g/kWh가 발생한다.

3.3 운항 속도에 따른 암모니아 소비 적용

Marine Traffic의 엔진 데이터의 경우, 16,080 kW급 엔진의 100% 부하에서 최대 16.5 knot의 선속을 제시하고 있으나 해류의 방향과 파고, 풍향, 풍속 등 환경적인 요인을 고려하여 항해 최대 속도는 14.0 knot로 제시하였다. 본 논문에서는 항해 최대 속도를 반영하여 연료 소비량을 분석하였다.

엔진의 항해 속도는 엔진 부하에 따른 연료 공급량의 변화 따라 결정되며, 운항 중 최소 SFOC를 보이는 엔진 부하의 경우, 75% 내외로 나타난다. Fig. 6는 6S50ME 규격의 엔진의 부하에 따른 디젤 연료의 사용량 변화를 기반으로 16,080 kW급 암모니아 엔진의 부하에 따른 SFOC와 연료소비량 변화를 나타낸다. 100% 부하에서는 약 5,909 kg/h의 연료소비량을 보이며, 최대 경제속도인 75% 부하 조건에서는 4,500 kg/h의 연료소비량이 발생할 것으로 예상된다.

4. 암모니아 연료 소비 특성

4.1 연료공급 시스템 설계

4.1.1 연료공급 모듈 설계

암모니아 추진 선박의 암모니아 연료 소비량 분석을 위해 연료 공급 시스템을 설계하였다. 암모니아 연료는 Service Tank에 임시 저장되어 선박 운항과 함께 공급되며, Fuel Treatment system을 통해 엔진 공급을 위한 연료 분사 조건인 35℃ 이상의 온도와 8,000 kPa의 압력으로 연료 분사량을 제어한다.

이때, 엔진으로의 연료 분배와 리턴 연료의 순환은 Fuel Valve Train(FVT)을 통해 제어되며, 액

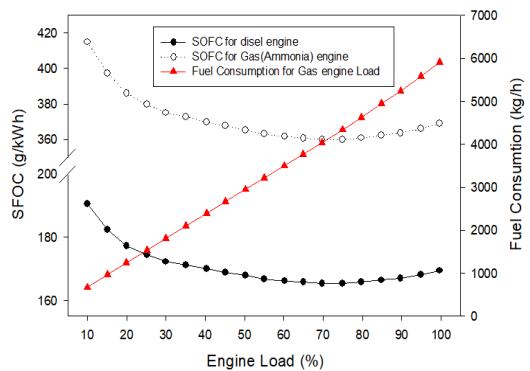
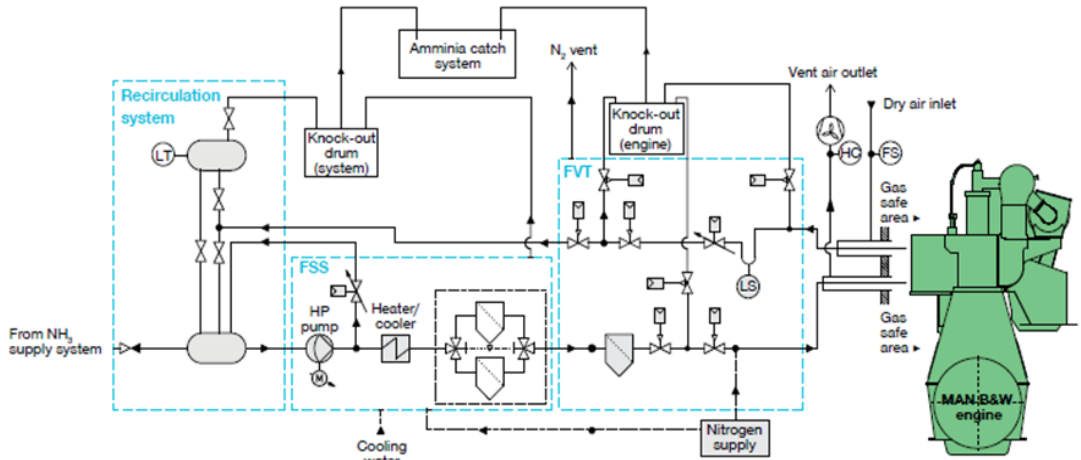


Fig. 6 Ammonia Fuel Consumption and SFOC according to engine load



Source: MAN B&W two-stroke engine operating on ammonia

Fig. 7 Ammonia Fuel Supply system

Table 2 Specific design data of the Fuel Supply System

Contents	Value
Tank Temperature (°C)	-10
Tank Pressure (kPa)	300
Low pressure Pump outlet pressure (kPa)	2,700
High pressure Pump outlet pressure (kPa)	8,100
Engine inlet Temperature (°C)	37
Engine outlet Temperature (°C)	60
Cooling water Temperature (°C)	35
Cooling water / Glycol	50 / 50

체 암모니아의 가온은 Glycol water system을 통해 스팀 또는 해수와 열교환하여 수행된다.

각 설비의 세부 설계 데이터는 Table 2와 같으며, Fig. 7은 암모니아 연료공급 시스템의 개략도이다.

시뮬레이션 해석 방법으로는 Oil & Gas Plant를 해석하기 위한 공정설계프로그램인 AspenTech HYSYS(V12.1)를 이용하였다. HYSYS는 열역학적

사이클 모사에 필요한 상태 값을 정확하게 계산할 수 있다는 장점이 있기 때문에 이번 연구에서 사용하였다.¹⁰⁾ 시뮬레이션에 사용한 상태방정

식은 Peng-Robinson 방정식을 사용하였다.

Peng-Robinson 방정식은 열해석에서 가장 널리 사용하는 상태 방정식이며, 식 (2)와 같다. 여기서 P는 압력(pressure), R은 기체상수, T는 온도 (temperature), V는 부피(volume), 그리고 a, b, k는 각각 상수를 의미하는데 이는 식 (3), (4), (5)와 같다.¹¹⁾ 이때, 하첨자 c는 임계점(Critical point)를 나타낸다.

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a\alpha}{V(V+b)+b(V-b)} \quad (2)$$

$$a = 0.45724 \frac{R^2 T_c^2}{P_c} \quad (3)$$

$$b = 0.07780 \frac{RT_c}{P_c} \quad (4)$$

$$\alpha = \left(1 + k \left(1 - \left(\frac{T}{T_c}\right)^{1/2}\right)\right)^2 \quad (5)$$

4.1.2 FVT 설계

FVT는 연료 공급 시스템으로부터 암모니아 연

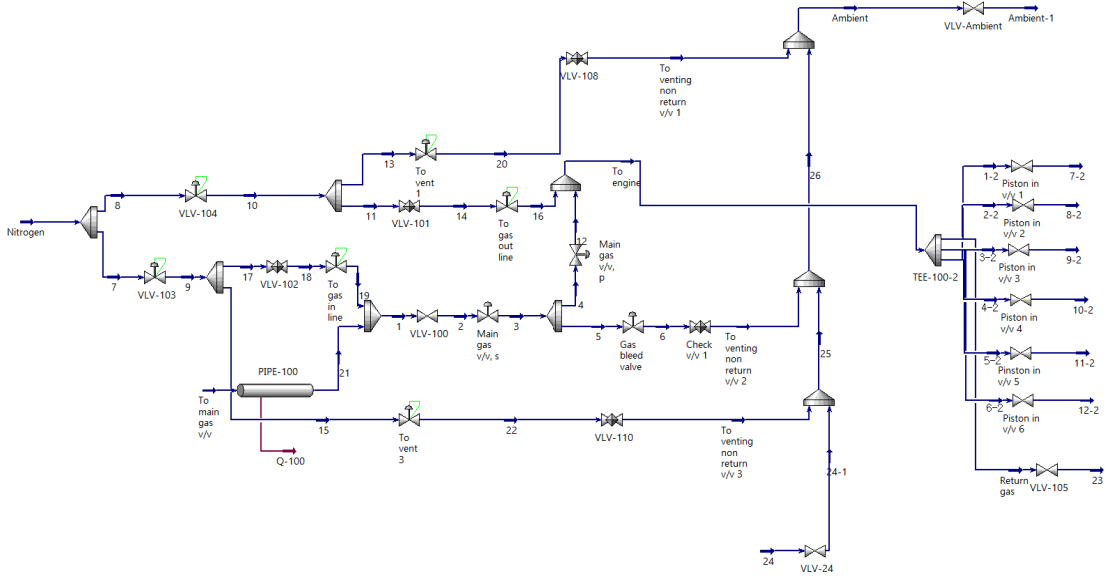


Fig. 8 Fuel valve train for 6 cylinder ammonia fuel engine

료를 받아 각 실린더로 분배하고 일부 잔여 연료는 환원하여 Fuel recirculating system으로 공급하며, 액체 암모니아는 다시 연료 공급 시스템의 2단 공급 펌프 입구 측으로 공급한다.

엔진 부하 변화에 따라 실린더 공급 제어 밸브를 통해 연료 유량을 조절하며, 부하 변화에 따라 환원되는 연료 비율과 연료 펌프에서 공급되는 연료량이 변환된다.

이때, 암모니아 연료의 환원율은 기존 LPG 엔진의 환원 비율을 적용하였다. Fig. 8은 FVT에 의해 6행정 실린더에 공급되는 배관 공정이며, Fig. 9

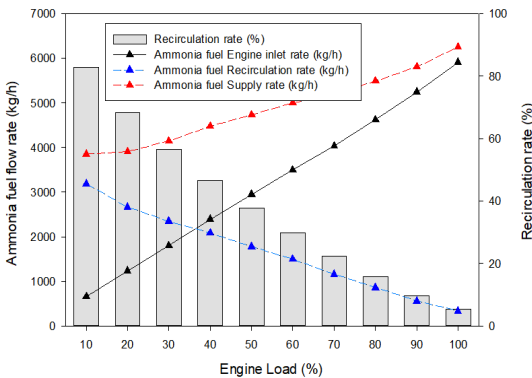


Fig. 9 Ammonia Fuel Supply & Recirculation rate

는 암모니아 연료의 공급량과 환원량 변화이다.

6행정 암모니아 엔진의 경우, 최대 부하에서 5,909 kg/h(개당 984.8 kg/h)의 연료소비량이 발생되고 약 5.47%인 341 kg/h의 연료가 FVT로 환원된다. 부하 변화에 따라 환원되는 비율이 최대 83%까지 상승하게 되며, 이때 연료 공급량과 환원량은 각각 666 kg/h와 3,189 kg/h이다.

4.2 운항 항로를 적용한 연료량 분석

선정된 암모니아 운반 선박의 암모니아 추진 엔진 특성을 분석하여 연료 사용량을 예측하였으며, 본 선박의 항로를 적용한 전체 연료 소비 변화량과 저장을 위한 필요 체적량을 분석하였다.

운항 항로의 경우, 시간 변화에 따른 선박의 변화를 적용하였으며, 시나리오 도출을 위해 내항까지는 Dead slow로 점차 선속을 높이면서 Slow, Half ahead, Full ahead의 4단계를 적용하였다. 하지만 화물의 선적 일정에 따라 선박의 운항 속도가 변화되기 때문에 전체 운항의 30% 가량만을 선박 최고 속도인 Navigation Full ahead로 운항하는 것을 가정하였다.

출항지인 Quintana항은 항로가 좁고 소형 선박의 이동이 많기에 선박 운항 중 속도를 줄이게 되

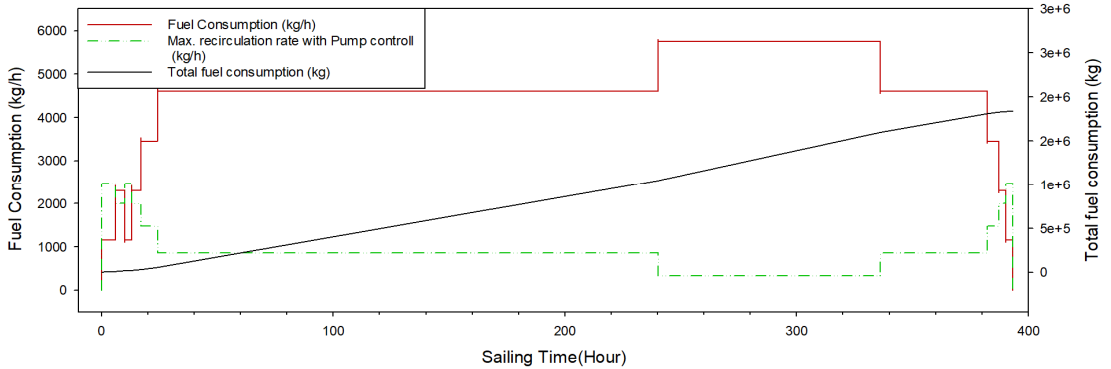


Fig. 10 Characteristics of fuel consumption change by applying changes in route and ship speed

는 경우가 발생한다. 따라서 시나리오 도출 과정에서 운항 중 선속 감소를 추가하여 전체 항로를 구성하였으며, 입항을 위한 선속 변화는 3시간 간격으로 점차 감소된다.

Fig. 10은 전체 항로와 선속변화를 적용하여 연료 소비량 변화 특성을 분석한 결과이다. 총 운항 시간은 393.3시간이 소요되며, 최종 소요 연료량은 183.7만 kg이 소요되었다. 이를 체적으로 변환하면 약 2,816.6 m³의 저장 용량이 필요할 것으로 예상된다. 이와 같은 저장 용량은 디젤 엔진의 약 1.96배에 달한다.

5. 선박 종류 및 항로를 적용한 연료 소비 특성 비교

5.1 암모니아 운반 선박의 엔진 및 항로 특성

국내의 암모니아 운반을 위해 운항되는 선박은 인도네시아, 영국, 중동 등 암모니아 생산지에

서 화물을 선적하고 소비량이 높은 대한민국, 중국, 일본 등에서 하역한다. 현재 다양한 출력 및 규모의 암모니아 운반 선박이 운항되고 있으며, 총 4개의 선박을 선정하여 각 선박의 특성을 비교하여 연료 소비량을 분석하였다.

Table 3은 현재 운항 중인 암모니아 운반 선박의 특성 및 운항 특성이다. 대서양을 통과하는 GAS Star의 경우, 말라카 해협을 통과하며 선속이 감소되며, 태평양을 통과하는 SAKURA GAS의 경우, 파나마 운하를 지나면서 Dead slow의 저속 운전이 약 10시간 가량 발생하도록 시나리오 도출 과정에서 적용되었다.

5.2 암모니아 운반 선박의 엔진 및 항로에 따른 암모니아 소비량 분석 결과

선박의 엔진 규모 및 항로의 조건을 적용하여 연료 소비량을 분석하였으며, 각 엔진의 연료소비량은 Fig. 11과 같다. 13,000 kW급 엔진의

Table 3 Characteristics and operational characteristics

Ship model	CLIPPER Freeport	GAS Quantum	GAS Star	SAKURA GAS
Engine Builder	MAN B&W	HYUNDAI	HYUNDAI	MITSUBISHI
Engine Power (kW)	16,080	9,480	12,600	13,000
Engine Cylinders	6	5	6	7
Engine RPM	105	127	92	100
Max Sailing Speed (kn)	14.0	12.5	14.5	16.5
Departure port	Quintana(US)	Halida(India)	Das island(UAE)	Greens port(US)
Arrival port	Immingham(UK)	Ulsan(Korea)	Shangdong(China)	Binhai(China)
Shipping distance (km)	9,659	9,545	10,005	22,010

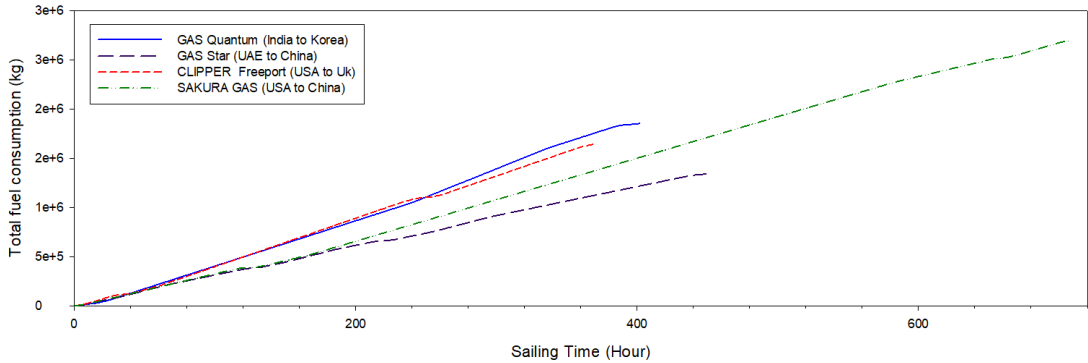


Fig. 11 Analyze the fuel consumption by applying the engine size of the ship and the conditions of the route

SAKURA GAS의 경우, 목적지까지 최대 708시간이 소요되며, 269만 kg의 연료가 소모되었다. 이를 암모니아를 저장하기 위한 체적으로 전환할 경우, -10°C 의 3 bar의 조건에서 약 $4,124.5\text{ m}^3$ 에 달하며, 4만 m^3 급 운반선박의 경우, 탱크 용량의 약 10.3%에 해당하는 암모니아를 연료로 소비해야 한다. 따라서 태평양을 횡단하는 장거리의 암모니아를 운반해야 하는 선박의 경우, 10% 가량의 암모니아를 엔진의 연료로 소비되어 선적된 화물의 연료 전환에 대하여 사전에 고려해야 한다.

6. 결 론

현재 LPG/암모니아 운반선의 적용 엔진 및 출력을 기반으로 암모니아 연료로의 전환을 통한 연료소비량과 SFOC를 분석하였다. 80,000 kW 출력 이상의 대형 엔진의 경우, 3만 kg/h의 암모니아 소비량과 390 g/kWh의 출력당 소비량이 예상되고 있다.

최종 선정된 16,080 kW급 암모니아 운반 선박 (CLIPPER Freeport)의 경우, 미국과 영국을 오가는 항로에서 총 9,659 km의 거리를 운항해야 하고 최대 부하에서 5,909 kg/h의 연료소비량이 발생하며, 총 1,837,000 kg의 연료량이 소요되었다. 총 4개의 암모니아 운반 선박을 비교하였으며, 22,010 km를 운항하며 미국에서 출발하여 한국에 도착하는 항로의 경우, 약 $4,124\text{ m}^3$ 의 연료저장이

필요하게 되어 운반량의 10.3%를 연료로 전환할 필요가 있을 것으로 예상된다.

선박에 선적된 암모니아를 연료로 활용할 것으로 예상하는 암모니아 운반 선박의 경우, 화물의 선적량과 하역량 변화가 선주의 수익 변화에 영향을 미치게 되며, 화물의 계약 당시 총 연료 소비량을 반영한 화물의 이송이 필요할 것으로 예상된다.

본 연구 결과는 암모니아 추진 선박에 탑재하기 위한 저장설비의 용량 산정과 연료유 공급 주기 분석을 위한 기초 자료로 사용될 예정이다.

후 기

본 논문은 선박해양플랜트연구소의 주요사업인 “수소 해상 공급체인 개념설계 평가 모델 및 기자재 시험평가 기술 개발(3/5)(PES4340)”에 의해 수행되었습니다.

Author Contributions

S. T. Lim and Y. K. Seo; Conceptualization, S. T. Lim; Software, S. T. Lim; Validation, S. T. Lim and J. H. Moon; Formal Analysis, S. T. Lim; Data Curation, S. T. Lim; Writing—Original Draft Preparation, H. S. Lee; Writing—Review & Editing, Visualization, Y. K. Seo; Project Administration, Y. K. Seo; Funding Acquisition.

References

1. F. Baldi, A. Azzi and F. Maréchal, 2019, "From renewable energy to ship fuel: ammonia as an energy vector and mean for energy storage", Computer Aided Chemical Engineering, Vol. 46, pp. 1747-1752.
(DOI:10.1016/B978-0-12-818634-3.50292-7)
2. Man energy solution MAN B&W two-stroke engine operating on ammonia, <https://www.man-es.com/docs/default-source/marine/tools/man-b-w-two-stroke-engine-operating-on-ammonia.pdf>.
3. Greenhouse gas regulation for shipping and vessels, 2018, [Source: Busan Ilbo] <http://mobile.busan.com/view/busan/view.php?code=20180423000322>.
4. K. H. Ryu, 2013, "Combustion Characteristics and Exhaust Emissions in Spark-ignition Engine Using Gasoline-ammonia", Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 21, No. 6, pp. 155-165.
(<https://doi.org/10.7467/KSAE.2013.21.6.155>)
5. J. Y. Jang, Y. M. Woo, H. C. Yoon, J. N. Kim, Y. J. Lee and J. H. Kim, 2015, "Combustion Characteristics of Ammonia-Gasoline Dual-Fuel System in a One liter Engine", Journal of the Korean institute of gas, Vol. 19. No. 6, pp. 1-7.
(<https://doi.org/10.7842/kigas.2015.19.6.1>)
6. J. Y. Jang, 2020, "Carbon-free Fuel for Greenhouse Gas Reduction - Ammonia(NH₃)", Journal of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 42, No. 8, pp. 52-55.
7. Korea Register, Ammonia Fuel Propelled Vessel Report, 2021.
8. de V. Niels, 2019, "Safe and effective application of ammonia as a marine fuel", Delft University of Technology.
9. Marine Traffic, <https://www.marinetraffic.com>
10. Aspen HYSYS, Version 8.0, Aspen Technology Inc, 2013.
11. S. T. Lim, H. S. Lee and H. J. Kim, 2018, "Dynamic Performance Simulation of OTEC According to Seawater Temperature Change", The Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 22, No. 1, pp. 34-40.
(DOI:10.9726/ksps.2018.22.1.034)