



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

物流學碩士 學位論文

국내 연안 운항선박의 LNG 추진선
도입에 관한 연구

A Study on the Introducing LNG Fuelled Ships
for Korean Coastal Shipping



지도교수 김 울 성

2020년 2월

한국해양대학교 대학원

물류시스템학과

정 상 원

本 論文을 정상원의 物流學碩士 學位論文으로 認准함

위원장 : 김 시 현 (인)

위 원 : 김 환 성 (인)

위 원 : 김 을 성 (인)

2019년 12월

한국해양대학교 대학원

목 차

표 목차	iii
그림목차	v
Abstract	vi
제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경과 목적	1
1.2 연구의 방법 및 구성	2
제 2 장 LNG 추진선 국내·외 동향	4
2.1 IMO 환경규제 동향	4
2.2 국내·외 LNG 추진선 동향	10
2.3 LNG 가격 동향	14
제 3 장 선행연구 고찰	19
3.1 LNG 관련 선행연구	19
3.2 우선순위 분석 관련 선행연구	22
3.3 시사점	24
제 4 장 LNG 추진선 도입 적정성 분석	25
4.1 대상선박 선정	25
4.2 LNG 추진선 건조비용 추정	30
4.3 LNG 추진선 운영비용 추정	32
4.4 디젤 추진선과 LNG 추진선 연료비 비교 및 도입 우선순위 도출	38

제 5 장 결 론	50
5.1 연구의 요약	50
5.2 연구의 한계 및 향후 연구방향	51
참고문헌	53



표 목차

표 2-1 MARPOL 73/78 부속서 내용	4
표 2-2 신조선박에 대한 질소산화물 규제	6
표 2-3 환경규제에 대응하는 대안별 장·단점	8
표 2-4 각 대안별 배출가스 감소량	8
표 2-5 주요선사 LNG 추진선 도입 현황	10
표 2-6 세계 주요 LNG 시장 공급가격 추이	15
표 2-7 \$/tonne으로 환산된 세계 LNG 공급가격 추이	16
표 2-8 세계 주요지역 MGO 벙커링 가격 추이	17
표 2-9 일본 LNG 벙커링 및 MGO 벙커링 가격 추이 비교	18
표 4-1 국내 연안운송 선박 용도별 톤급별 등록현황	25
표 4-2 연안화물선 분류 및 톤급별 현황	27
표 4-3 연안 여객선의 분류 및 선박 현황	28
표 4-4 울산항 예인선 톤급별·마력별 현황	29
표 4-5 디젤추진 예인선과 LNG 추진 예인선의 건조 비용 추정	31
표 4-6 LNG 추진선 건조비용 추정	32
표 4-7 10년간 소비자물가상승률 추이	33
표 4-8 LNG 및 MDO의 톤 당 가격차이(고속엔진 기준)	34
표 4-9 MDO의 평균가격 대비 연료유 가격 비율	35
표 4-10 kg을 Nm ³ 로 단위변환 시 단위 환산식	35
표 4-11 LNG 추진선 벙커링 소모량 추정	36
표 4-12 탱크로리를 이용한 톤당 LNG 충전 비용 추정	38
표 4-13 10,000톤급 화물선 연간 연료비 비교	39
표 4-14 20,000톤급 화물선 연간 연료비 비교	40

표 4-15	10,000톤급 연안 카페리선 연간 연료비 비교	41
표 4-16	13,000톤급 연안 카페리선 연간 연료비 비교	42
표 4-17	300톤급 연안 여객선 연간 연료비 비교	43
표 4-18	400톤급 연안 여객선 연간 연료비 비교	44
표 4-19	4,500마력급 예인선 연간 연료비 비교	45
표 4-20	100톤급 방제선 연간 연료비 비교	46
표 4-21	300톤급 방제선 연간 연료비 비교	47
표 4-22	분석대상선박 운영비용 추정 및 보전가능기간 산출	48
표 4-23	분석대상선박 LNG 추진선 도입 우선순위	49



그림 목차

그림 1-1 연구의 구성 및 흐름	3
그림 2-1 전 세계 ECA 지정구역 및 예상지역	5
그림 2-2 선박 배출가스 내 황 함유량 제한 이행 계획 9	6
그림 2-3 IMO 2020 환경규제의 대응 방안	7
그림 2-4 대안별 투자비회수기간(컨테이너선 기준)	9
그림 2-5 운항 중인 LNG 추진선 선종별 현황	11
그림 2-6 LNG 추진선 지역별 분포 현황	11
그림 2-7 운항 중인 에코누리호	12
그림 2-8 국내 최초 LNG 추진 벌크화물선 일신 그린아이리스크호	13
그림 2-9 국내 최초 LNG 추진 관공선 청화2호	13
그림 2-10 세계 주요 LNG 시장 공급가격 추이	15
그림 2-11 \$/tonne으로 환산된 세계 LNG 공급가격 추이	16
그림 2-12 세계 주요지역 MGO 병커링 가격 추이	17
그림 2-13 세계 주요지역 MGO 병커링 가격 추이	18
그림 4-1 10년간 소비자물가상승률 추이	34
그림 4-2 LNG 병커링 방식	37

A Study on the Introducing LNG Fuelled Ships for Korean Coastal Shipping

Choung, Sang Won

Department of Logistics Engineering
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

As climate change is aggravated by environmental pollution, environmental regulations on harmful gas emissions, which are the main cause, are being tightened. As a countermeasure against regulations, the introducing of LNG fueled propulsion ships using LNG as the fuel is considered the most reasonable alternative. Major industrialized countries around the world are proposing various policies in preparation for the introducing of LNG fuelled ship, and major shipowners have already introduced LNG fuelled ship. In Korea, the introducing of LNG fuelled ship is beginning to take place, and the introducing of LNG fuelled ship for offshore vessels is positively considered. It is not possible to introduce LNG fuelled ship at the same time. In this study, the priority of introducing of ships was derived by evaluating the economical efficiency and the effective ship type by prioritizing introducing of ships among many ships operating in coast.

KEY WORDS: Korean Coastal Shipping 국내 연안운송; LNG Fuelled Ship LNG 추진선;
Priority Analysis 우선순위분석;

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경과 목적

전 세계적인 이슈가 되고 있는 환경오염에 따른 기후변화의 심각성이 대두됨에 따라 환경오염의 주요 원인이 되는 유해가스 배출에 대한 환경규제가 강화되고 있다. 해상에서 발생하는 환경오염규제에 대한 가이드라인을 제시하는 국제해사기구(International Maritime Organization, 이하 IMO)에서는 선박 및 해양분야의 환경규제를 점차 강화하고 있다. IMO는 선박에서 발생하는 해양 수질오염, 해양 대기오염 등에 대한 환경협약인 MARPOL 73/78을 통해 선박연료 및 배출가스의 기준을 강화하여 황산화물(SOx), 매연, 미세먼지(PM) 등을 저감시켜 대기오염을 감소하고자 하였다.

IMO는 2006년에 발틱해를 시작으로 배출제한해역(ECA; Emission Control Area, 이하 ECA)을 설정하여 ECA를 운항하는 선박들을 대상으로 배출가스의 황산화물(SOx)과 질소산화물(NOx) 함유량을 규제하고 있다. 또한, 비 ECA 해역을 운항하는 선박들을 대상으로 2012년부터 배출가스 내 황 함유량의 상한선을 3.5%/m 이하로 제한하였다. 2016년에 열린 제70차 IMO 해양환경보호위원회(Marine Environment Protection Committee, MEPC)에서 2020년 1월 1일부터 전 세계의 모든 선박을 대상으로 배출가스의 황산화물(SOx) 함유량 상한 기준을 기존 3.5%/m에서 0.5%/m로 강화하기로 결정하였고, 2018년에 ‘IMO 2020’의 시행이 확정되었다.

강화되고 있는 규제에 대한 대응방안으로 기존 연료유를 사용하지만 배출가스를 정화하는 후처리설비(Scrubber), 기존의 선박연료유를 저유황유로 변경, LNG를 연료로 하는 LNG연료추진선(이하 LNG 추진선)의 도입 등이 대안으로 제시되었고, 장기적인 측면에서 LNG추진선의 도입이 가장 합리적인 대안이라고 평가되고 있다.

LNG 추진선의 도입을 위해 국내에서 다양한 정책들이 제시되고, LNG 추진

선에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있으며, LNG 추진선 또한 운항중이다. 2013년 7월부터 인천항만공사의 항만안내선인 ‘에코누리호’가 운항하고 있고, 추가적으로 동해-광양노선을 운항하는 연안화물선인 ‘그린 아이리스(Green Iris)’호가 2018년 1월부터 운항하고 있다. 에코누리호와 그린 아이리스호를 시작으로 국내에서도 연안을 운항하는 선박에 대한 LNG 추진선 도입이 긍정적으로 검토되고 있다. 하지만 연안을 운항하는 수많은 선박들을 대상으로 LNG 추진선을 동시에 도입하기는 불가능하다. 이에 본 연구에서는 우리나라 연안을 운항하는 연안화물선, 연안카페리선, 연안여객선, 예인선, 방제선 등을 대상으로 하여 LNG 추진선의 도입 시 선종별 운영비용의 측면에서 경제적 효율성을 알아보고 효과적인 선종을 도출하여 선박 도입의 우선순위를 도출하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 구성

본 연구에서는 국내 연안을 운항하는 선박들을 연안화물선, 연안카페리선, 연안여객선, 예인선, 방제선 등으로 분류하고, 선종별로 대표적인 총톤수와 마력을 보유한 선박을 대상으로 지정하였다. 현재 운항하고 있는 디젤 추진선의 건조비용, 평균 연료비용 및 평균 운항시간 등의 운항정보를 인터뷰 조사를 통해 수집하였고, 수집된 정보를 통해 각 선박의 운영비용을 추정하여 LNG 추진선의 도입 시 가장 경제적인 선종을 도출하고자 하였다.

본 연구의 내용적 구성은 다음과 같다. 제1장은 서론으로 연구의 배경, 연구의 목적, 연구의 방법 및 구성을 기술하였다. 제2장은 IMO 환경규제와 국내·외의 LNG 추진선 현황에 대해 기술하였다. 제3장은 LNG 추진선과 도입 우선순위에 대한 선행연구들을 분석하고 시사점을 서술하였다. 제4장은 연구대상을 선정하고, 디젤 추진선의 비용을 분석하며, LNG 추진선 도입 시 비용을 추정하여 도입 시 우선순위를 도출하였다. 제5장은 제4장에서 도출된 결과를 재정리하고, 이와 관련된 한계점과 향후 연구방향을 제시하였다. 도식화된 본 연구의 구성 및 흐름은 아래 <그림 1-1>과 같다.

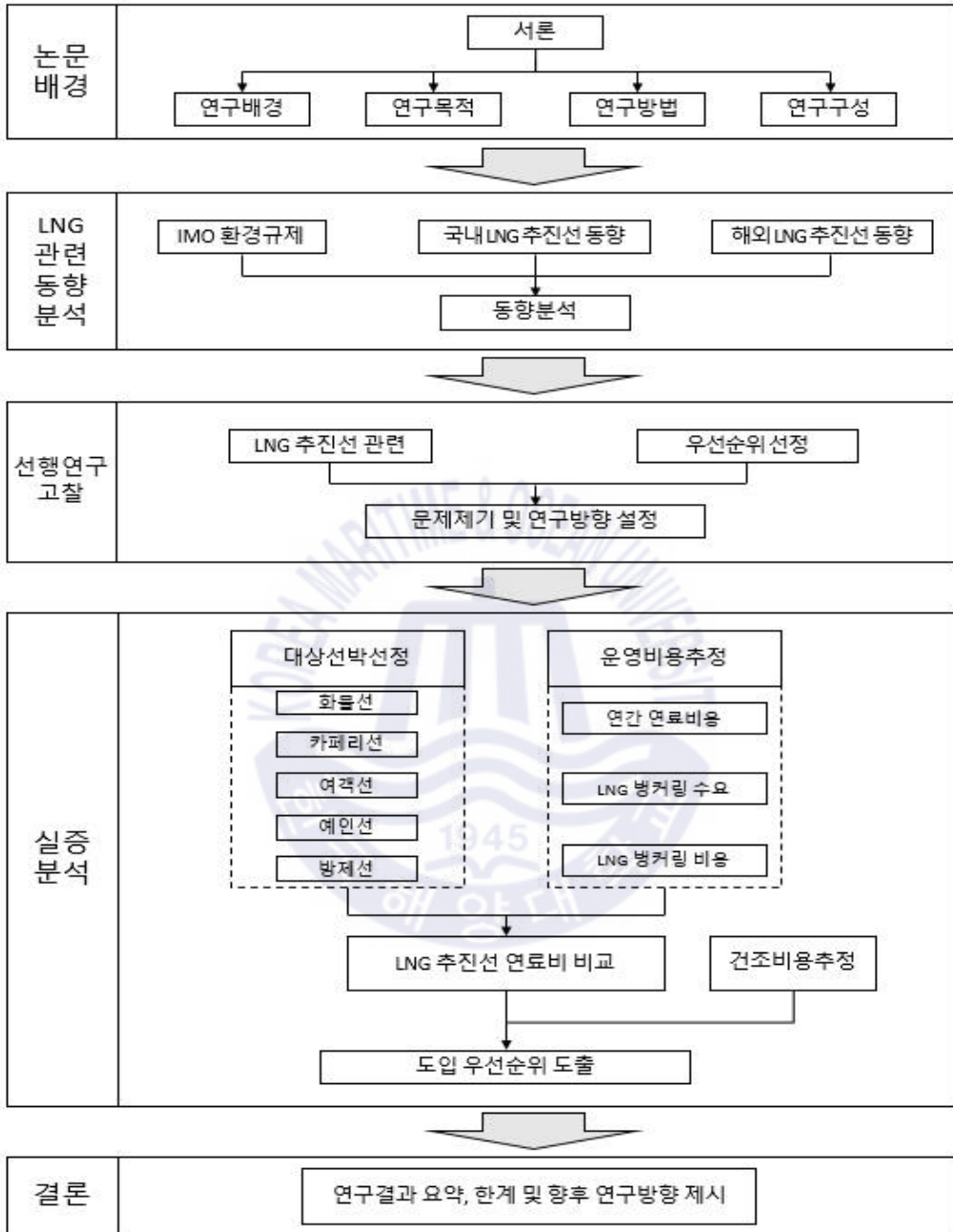


그림 1-1 연구의 구성 및 흐름

제 2 장 LNG 추진선 국내·외 동향

2.1 IMO 환경규제 동향

2.1.1 IMO 환경규제 추진 동향

1960년대 이후 원유의 해상운송과 원유 운송선박의 양이 크게 증가함에 따라 원유 유출사고와 같은 환경오염 이슈들이 생겨났다. 이로 인하여 기존의 국제 협약은 새롭게 생겨나는 해양오염을 방지하기에 적합하지 않게 되었다. 이러한 상황에서 보다 체계적이고 강제적인 해양오염방지 대책을 수립하기 위해 IMO에서는 선박으로부터의 오염 방지를 위한 국제 협약인 ‘MARPOL 73/78’을 채택하였다. IMO의 해양환경보호위원회에서는 운항중인 선박으로부터 발생할 수 있는 오염 및 사고에 의한 오염을 최소화 하거나 방지하기 위해 6개 부속서를 통해 규정하고 있다. 그 중 부속서 VI은 선박으로부터의 대기오염방지를 위한 규칙을 다루고 있는데, 2005년 5월 19일부터 정식으로 시행되었다. MARPOL 73/78의 부속서에 대한 내용은 다음 <표 1-1>과 같다.

표 2-1 MARPOL 73/78 부속서 내용

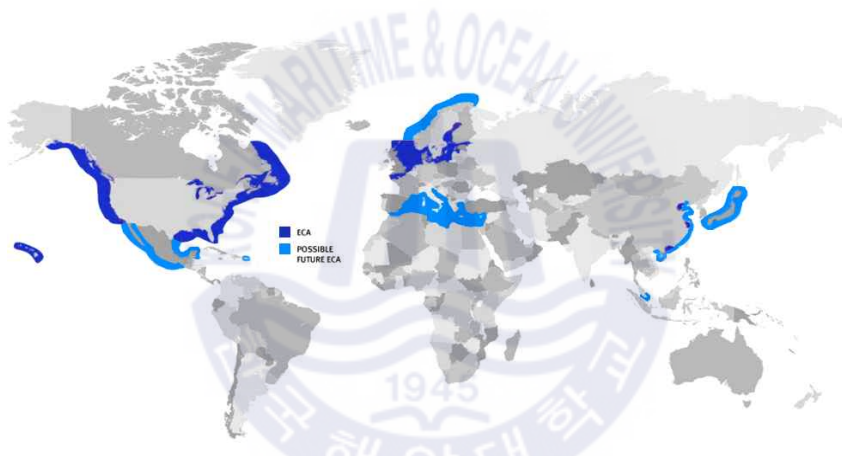
구분	규제 내용
Annex I	기름 오염 규제
Annex II	유해액체 물질 오염 규제
Annex III	포장된 형태의 물질 오염 규제
Annex IV	오수 오염 규제
Annex V	폐기물 오염 규제
Annex VI	대기오염 규제

IMO에서는 선박연료 및 선박의 배출가스에 포함된 오염물질에 대한 기준을 강화하여 황산화물, 질소산화물, 매연, 미세먼지 등의 발생을 줄여서 대기오염을 감소시키는 목적으로 배출규제해역(Emission Control Area, 이하 ECA)를 지정하였다. ECA는 2006년 유럽의 발틱해를 시작으로 하여 북해, 북미, 카리브해 등 일부 해역에 지정되었고, 해상의 선박 입출항이 많은 국가, 지역 및 항만들

을 중심으로 자발적으로 ECA를 적용하려는 움직임이 증가되고 있다.

중국의 경우 중국 교통운수부의 주도하에 2017년 1월 1일부터(일부 지역은 2016년 1월 1일부터 적용) 장강삼각주, 주강삼각주, 보하이만 지역 등 3개 지역을 대상으로 ECA를 적용하고 있다. 세계 10대 무역항 중 하나인 홍콩항도 선박의 배출가스에 의한 환경오염의 심각성을 인지하고 규제해역을 지정하였다. 일본의 경우에는 ECA 도입 추진여부를 결정하기 위한 자국 해역 내 ECA 도입 타당성을 검토하였으나 결과적으로 2013년 3월 시점에서는 도입이 불필요한 것으로 결정하였다.

전 세계 ECA 지정구역 및 예상지역의 분포는 아래 <그림 2-1>과 같다.

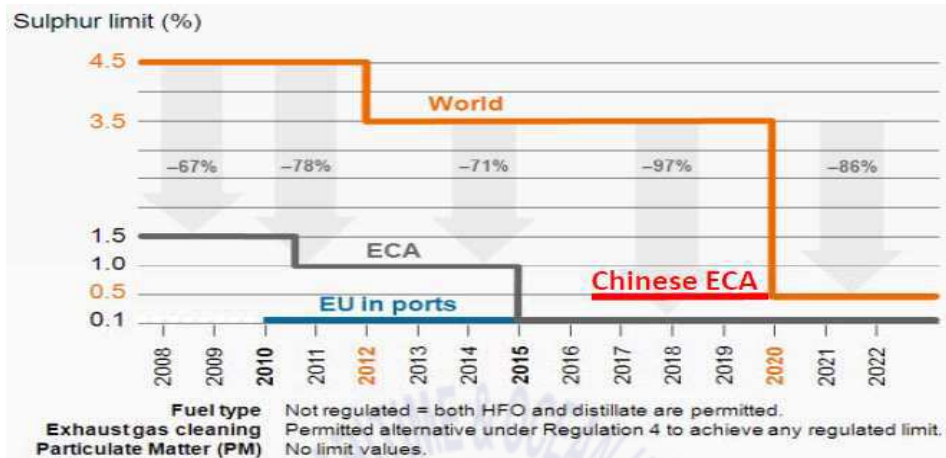


자료: 한국LNG병커링산업협회. Accessed 2019.9.13.
http://www.kolbia.org/contents/sub02_04.php

그림 2-1 전 세계 ECA 지정구역 및 예상지역

현재 ECA를 항행하는 선박들을 대상으로 HFO(Heavy Fuel Oil)보다 황 함유량이 적은 청정연료를 사용하도록 규제하고 있다. 아래 <그림 2-2>에서 보는 바와 같이 선박이 ECA지역 내에서 운항하는 경우 2015년 1월 1일부터 황 함유량이 1.5%/m에서 0.1%/m으로 강화되었다. 비 ECA지역을 운항하는 선박들은 2012년 1월 1일부터 황 함유량이 3.5%/m 이하인 선박 연료유만 사용이 가능하였으나 2020년부터는 선박 연료유 내 황 함유량의 제한이 0.5%/m로 강화될 예정이다. 선박연료의 오염배출 규제는 점차 강화되고 있으며, 이는 2025년 까

지 지속될 것이다. 선박 배출가스 내 황 함유량 제한 이행계획은 <그림 2-2>와 같다.



자료: The 4th Sulphur Experts Group Meeting, The current status and challenges for implementation of emission control area in China, 2017. 9.

그림 2-2 선박 배출가스 내 황 함유량 제한 이행 계획

질소산화물(NOx)의 경우 선박의 연료에 포함된 질소 또는 공기 중에 포함되어 있는 질소로 인해 생성되어 배출되고 있다. 2016년 1월 1일 이후 건조되는 신조선은 북미 ECA 및 카리브해 ECA지역을 운항하기 위해서 Tier III규제를 따라야 한다. 위 규제의 경우 2021년 1월 1일 이후 발틱해 ECA 및 북해 ECA 지역으로 확대될 예정이다.

표 2-2 신조선박에 대한 질소산화물 규제

구분	n<130	n=130 - 1999	n>2000
Tier I (2000. 1. 1.)	17.0	45 · n(-0.2)	9.8
Tier II (2011. 1. 1.)	14.4	44 · n(-0.23)	7.7
Tier III (2015. 1. 1.)	3.4	9 · n(-0.2)	2.0

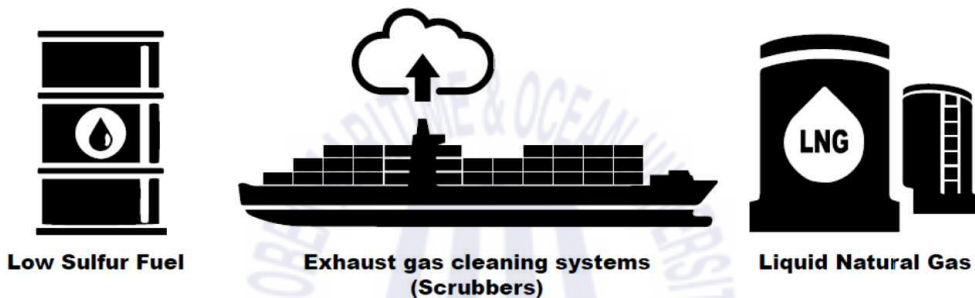
자료: IMO, Accessed 2019.9.13.

[http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx)

주: n은 기관의 정격회전속도(Engine's Rated Speed)

2.1.2 IMO 선박 관련 환경규제 대응 대안 검토

선박에 대한 환경규제가 강화됨에 따라 현재 대부분의 운항선박들은 규제를 충족하기 위하여 기존선박의 개조, 노후선박 폐선, 신조선 발주 등의 조치를 통해 규제에 대응하고 있다. 환경규제 강화에 대응하기 위해서 기존 선박 연료유의 저유황유 전환, 기존 연료유를 사용하는 대신 스크러버(Scrubber)를 설치하여 배출가스 내 유해물질 필터링, LNG 연료 추진선으로의 전환 등 3가지 방안이 대표적인 대안으로 제시되고 있다.



자료: IHS Markit IMO 2020:What Every Shipper Needs To Know

그림 2-3 IMO 2020 환경규제의 대응 방안

저유황연료로 전환하는 것은 추가적인 설비의 투자비용이 없고 가장 편리한 방법이지만, 높은 연료비와 유가상승의 가능성 등을 고려하면 운영비용의 변동성이 크다. 스크러버를 설치하는 대안은 선박을 개조하는 형태로서 추가적인 설치비용이 발생하고 설치를 위해 약 2개월 동안 운항을 중단해야 한다. 하지만 LNG 추진선 대비 초기 투자비용이 적은 것과 기존 선박 연료유를 사용할 수 있어 운영비용의 절감이 가능하다. LNG 추진선으로 전환하는 경우 초기 투자비가 가장 높고 병커링을 위한 시스템의 확보가 필요하다. 하지만 저렴한 LNG 가격에 따른 운영비용의 절감이 가능하고 환경오염의 저감효과도 가장 뛰어나다. 각 대안의 장·단점을 정리하면 다음 <표 2-3>과 같다.

표 2-3 환경규제에 대응하는 대안별 장·단점

구분	장점	단점	이슈
저유황 연료 (LSFO)	<ul style="list-style-type: none"> - 단순, 기술적 성숙, 설비 교체 및 추가 비용 없음 - SOx 및 PM 감소 - 가장 보편적으로 사용됨 	<ul style="list-style-type: none"> - 비싼 연료비 - 연료 가격 증가 가능성 - 연료 전환 문제 	<ul style="list-style-type: none"> - 글로벌 이용가능성 - 연료 품질 - 장래 연료가격 증가 가능성
HFO + 스크러버	<ul style="list-style-type: none"> - 저렴한 연료비 - LNG 대비 낮은 투자비 - 간편한 전환 	<ul style="list-style-type: none"> - 설치공간 필요 - 폐기물 처리 - 설비유지 및 복잡성 	<ul style="list-style-type: none"> - 설비 신뢰성 및 부식 - 호환성 문제 등
LNG	<ul style="list-style-type: none"> - 저렴한 연료비 - SOx, PM, NOx, CO2 감소 - 소형선박의 경우 스크러버 대비 투자비 저렴 	<ul style="list-style-type: none"> - LNG 탱크 공간 확보 필요 - LNG 병커링 인프라 부족 - 위험 및 안전 문제 - 건조비용 증가 	<ul style="list-style-type: none"> - LNG 가격 - LNG 병커링의 글로벌 이용 가능성 - LNG 연료 품질 표준화

자료: IMO, Studies on the feasibility and use of LNG as a fuel for shipping, 2016., p.41.

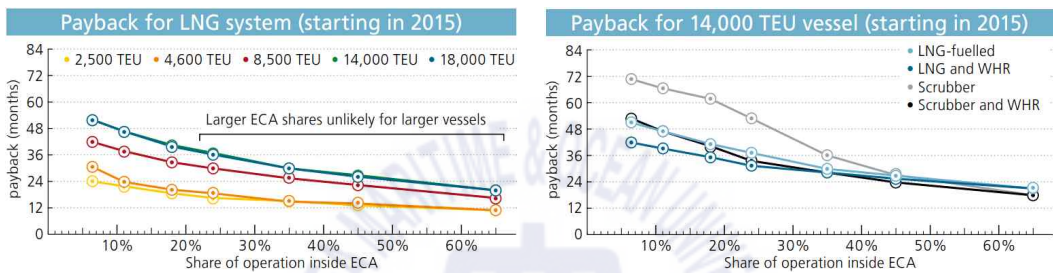
각 대응방안 중 LNG 추진선으로의 전환이 배출가스 감소량에서 가장 우수하다고 평가되고 있으며 향후 환경 규제의 단계적 강화에서 지속적인 대응이 가능한 장점이 있다. 특히 현재 항만도시에서 가장 큰 이슈로 제기되고 있는 미세먼지의 경우에도 LNG로의 연료전환 시 효과가 가장 높고, 타 대안에서는 처리되지 않는 질소산화물에 대한 저감효과도 있는 것으로 밝혀졌다. 북아메리카, 카리브해의 ECA에서는 황산화물과 미세먼지 뿐만 아니라 질소산화물까지 규제하고 있는 상황이고, 이러한 추세는 세계 전역으로 확대될 것으로 예상되어 LNG 추진선으로의 전환이 환경오염 저감에 가장 효과적으로 판단된다. 각 대안별 기존 선박 연료유 대비 배출가스 감소량을 정리하면 <표 2-4>와 같다.

표 2-4 각 대안별 배출가스 감소량

구분	NOx	SOx	GHC	PM
저유황 연료 (LSFO)	-	약 80%	-	약 20%
HFO + 스크러버	-	90 ~ 95%	1 ~ 2%	80 ~ 85%
LNG	4행정 : 90% 2행정 : 40%	90 ~ 100%	15%	90%

자료: DNV Korea, 2013. “동남권 LNG 병커링 기본계획수립 연구”, p.45.

3가지 대안 중 초기에 설비 투자비가 필요한 방안은 스크러버 설치와 LNG 추진선 도입 등 2가지이다. 설비 투자비가 소요되는 만큼 선박을 운영하는 선주 및 선사들의 입장에서는 투자비의 회수 시점이 아주 중요하다. 투자비 회수 기간의 관점에서 보았을 때, 여러 선종과 다양한 가정에 따라 다른 결과가 나타나지만, 대형컨테이너 선의 경우 환경규제가 점차 강화되고, ECA가 늘어나면 늘어날수록 LNG 추진선의 도입이 더욱 유리한 것으로 분석되고 있다. 컨테이너선을 기준으로 각 대안별 투자비용 회수기간은 <그림 2-4>와 같다.



자료: GL & MAN, “Costs and benefits of LNG as ship fuel for container vessels” 2013.

그림 2-4 대안별 투자비회수기간(컨테이너선 기준)

배출가스 내 환경오염 물질의 저감효과가 가장 뛰어나다는 점과 장기적인 운영비용의 절감이 가능하다는 경제적 측면에서 보았을 때, 기 운항선박 또는 신조선을 LNG 추진선으로 전환하는 것이 여러 대안 중 가장 경제적인 것으로 판단된다.

2.2 국내·외 LNG 추진선 동향

2.2.1 국제 LNG 추진선 동향

현재 LNG 추진 기술은 현재 중·소형 선박에서 대형선박까지 적용이 가능한 단계에 진입하였고, 적용범위 또한 점차 확대되어 가고 있는 추세이다. 지금까지 북유럽 지역의 노르웨이, 덴마크, 스웨덴 등에서 연안 페리선과 같은 선박을 대상으로 적용되어 왔지만, 2017년 기준 아래 <표 2-5>와 같이 다양한 선사들이 LNG 추진선에 관심을 가지고 있다.

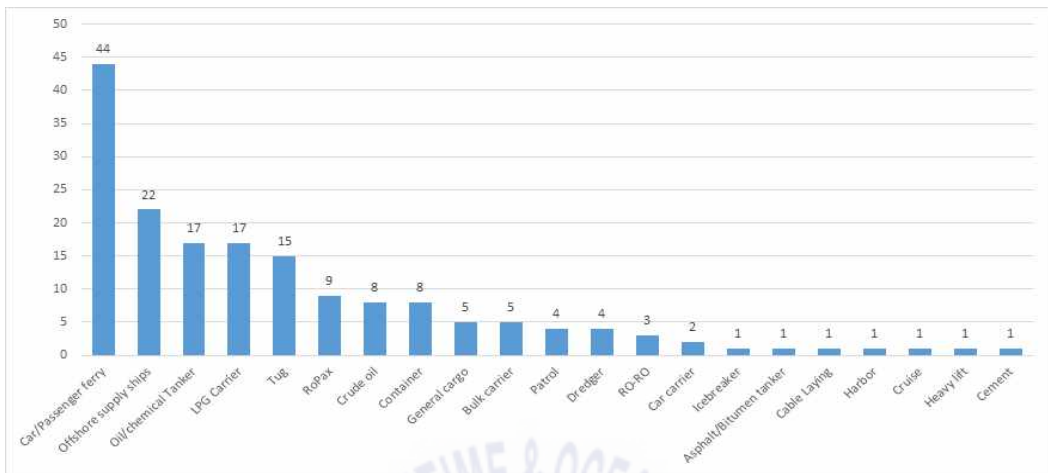
표 2-5 주요선사 LNG 추진선 도입 현황

선사	내용	비고
TOTE	LNG 추진선으로 개조	2014
UASC	LNG ready ship 17척 발주	2014
MAERSK, UASC	Shell, Qatargas와 선박연료 LNG 공급 MOU 체결	2016
CMA-CGM	Total사와 선박연료유(LNG, 저유황유, HFO) 공급 MOU 체결	2017
UECC	세계 최초 LNG추진 자동차 운반선 발주(2014) 및 인도	2016
Carrival Co.	환경규제 강화에 대비 신조선의 20% 이상 LNG 추진선 발주	2017
Royal Caribbean Cruise		
MSC Cruise 등		

자료: 한국해양수산개발원, 2017. 동북아 허브경쟁력 강화 위해 부산항 LNG 벙커링 터미널 구축 서둘러야, KMI 동향분석

DNV-GL의 통계에 따르면 2019년 9월 2일을 기준으로 운항중인 LNG 추진선은 총 170척이다. 그 중 카페리선은 44척으로 가장 많은 비율을 차지하였다. 카페리선의 경우 화물선과 같은 다른 선박과는 다르게 배출가스가 승객들과 밀접한 관계에 있기 때문에 가장 비율이 높게 나타났다. Offshore supply ship의 경우 22척이 운항중인 것으로 나타났다. LNG 추진선박이 증가함에 따라 LNG벙커링의 수요가 증가하였고, 선박연료를 위한 LNG 자체의 수요상승에 따른 결과로 판단된다. 이 외에도 석유화학제품운반선, 가스운반선, 예선, 여객선, 원유운반선, 컨테이너선, 일반화물운반선, 벌크선, 경비정, 준설선, Ro-Ro선, 자동차운반선, 쇄빙선, 아스팔트운반선, 해저 케이블 부설선, 거중선, 시멘트운반선 등 다양한 종류의 선종이 LNG 추진선으로 대체되고 있다. 운항중인 LNG 추진선

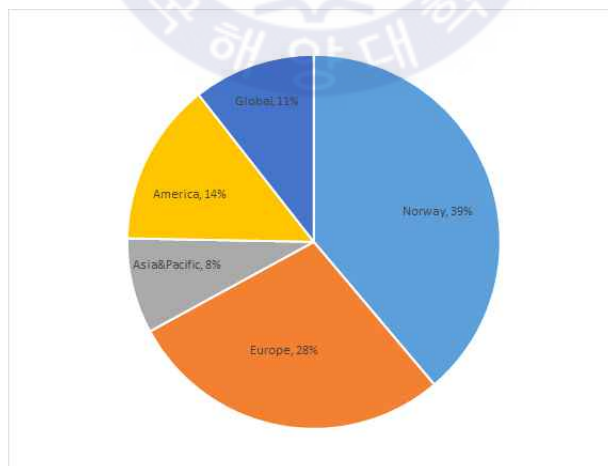
선종별 현황은 아래 <그림 2-5>와 같다.



자료: DNV-GL, 2019년 9월 2일 기준

그림 2-5 운항 중인 LNG 추진선 선종별 현황

LNG 추진선을 보유하고 있는 지역의 경우에는 노르웨이가 39%의 비중을 차지하여 가장 많은 LNG 추진선을 보유하고 있는 것으로 나타났다. 그 뒤로 유럽(28%), 아메리카(14%), 아시아-태평양(8%)의 순으로 뒤를 이었다. 그 외 지역에서는 11%의 비중을 차지하고 있다.



자료: DNV-GL, 2019년 9월 2일 기준

그림 2-6 LNG 추진선 지역별 분포 현황

2.2.2 국내 LNG 추진선 동향

앞서 설명한 국제적인 선박 배기가스 규제의 강화 및 강제화에 따라 우리나라에서도 친환경 선박제조의 움직임이 보이고 있다. 국내 최초이자 아시아 최초의 LNG 추진선인 ‘에코누리호’는 인천항만공사의 항만안내선으로 활용되고 있다. 위 선박은 LNG 병커링이 가능하도록 하는 도시가스사업법 관련 규정 개정(안)이 마련된 후, 인천항만공사가 LNG 연료추진선 건조를 결정하였다. 2011년 9월 삼성중공업에서 기본설계와 LNG 연료공급장비, 배전장비, 운항장비 등을 담당하였고, 선체 및 배관, 장비 설치 등의 건조작업은 동성조선에서 담당하였다. 에코누리호는 인천항만공사가 투자유치 목적의 항만홍보선의 역할, 포트마케팅, 안전사고 발생 시 대응 등의 역할을 수행하고 있다.



자료: 인천항만공사. Accessed 2019.9.12. <http://www.icpa.or.kr/index.do>

그림 2-7 운항중인 에코누리호

2013년 7월 첫 운항을 시작으로 2018년 4월 선박 정기검사를 통해 지금까지의 운항 결과를 분석하여 발표하였다. 에코누리호의 배출가스는 기존 디젤선박에 비해 황산화물 100%, 질소산화물 92%, 미세먼지 99%, 이산화탄소 23% 절감의 효과를 보였다. 또한, 2014년 기준 LNG 사용금액은 48백만원이며, 디젤연료 사용 시 연료비 사용 추정 금액은 133백만원으로 기존 디젤선박에 비해 연료비를 50% 이상 절감할 수 있는 것으로 분석되었다.

일반상선으로서의 첫 LNG 추진선은 국내 해운사인 일신해운과 포스코의 합

작으로 발주하여 운항중인 3만톤급 ‘그린 아이리스호’가 있다. 그린 아이리스호는 기본설계부터 선체 및 배관, 장비 설치 등을 현대미포조선에서 담당하였고, LNG 연료탱크는 포스코의 자체 개발을 통해 적용되었다. 현재 LNG 병커링 방식은 TTS(Truck-to-Ship) 방식을 사용하고 있으며, 탱크로리 2대를 동시 병커링 할 시 1시간 정도의 시간이 소요된다. 동선박은 동해항에서 LNG 병커링을 수행하고 동해-광양 노선을 월 5항차로 운항하고 있다.



자료: 산업통상자원부 보도자료, 2017. 12. 21.

그림 2-8 국내 최초 LNG 추진 벌크화물선 일신 그린아이리스호

울산지방해양수산청은 2019년 8월 국내 최초 LNG 추진 관공선인 ‘청화2호’를 취항하였다. 청화2호는 총 톤수 273톤, 최대 속도 12.5노트로 울산항의 청항 업무와 해양오염 방제 업무를 수행한다. 또한, 온산항과 울산항 여객선 항로, 울산항 원거리 항로를 중점으로 도서구역 등을 주기적으로 순찰하는 업무도 수행한다. 동선박의 운영은 해양환경공단이 담당하고 있다.



자료: 해양수산부 보도자료, 2019. 8. 23.

그림 2-9 국내 최초 LNG 추진 관공선 청화2호

추가적인 움직임으로 국내 H-Line해운과 현대삼호중공업이 LNG 추진 외항선 박 2척의 건조계약을 체결하였다. 이는 18만 톤급 벌크선 2척으로 2021년부터 한국-호주 항로를 연 10~11회 운항할 예정이다. 이번에 발주한 LNG 추진선은 해양수산부의 ‘친환경선박전환 지원사업¹⁾’의 대상으로 선정되어 선가의 일부인 1척당 약 48억원을 지원받을 예정이다.

2.3 LNG 가격 동향

2.3.1 LNG 시장공급가격

현재 세계 주요 LNG 소비지역은 주로 유럽, 미국 및 아시아 지역에 집중되어 있다. 미국의 Henry Hub, 영국의 UK NBP, 일본 및 한국의 공급가격이 대표적인 공급가격으로 책정되고 있다. 미국 루이지애나 주의 Henry Hub에서 공급되는 LNG 시장가격은 영국 및 아시아 지역에서 공급되는 LNG 시장가격에 비해 약 2.5~3배 이상 저렴하다. 2012년 이후 LNG의 시장가격은 안정적인 추세를 유지하였지만, 2014년부터 2016년까지는 경기침체로 인해 에너지의 수요가 감소하였고, 이로 인해 LNG의 가격이 하락하였다. 2016년부터 현재까지는 점진적으로 상승하는 추이를 보이고 있다. 한국과 일본의 LNG 가격은 대체적으로 비슷한 편으로 미국뿐만 아니라 영국과 비교하여도 가격이 높은 편이다. 한국의 경우, 세계 LNG 가격 추세와 비슷하게 2012년부터 2014년까지는 안정적인 추세를 유지하였다. 2014년에 연평균 \$16.45/MMBtu로 최고점에 달하였고, 이후 2016년에는 연평균 \$6.91/MMBtu로 최저점을 기록하고 점차 회복세를 보여 2018년 기준 \$9.93/MMBtu 까지 회복하였다. 세계 주요 LNG시장의 연평균가격을 정리하면 아래 <표 2-6>과 같다.

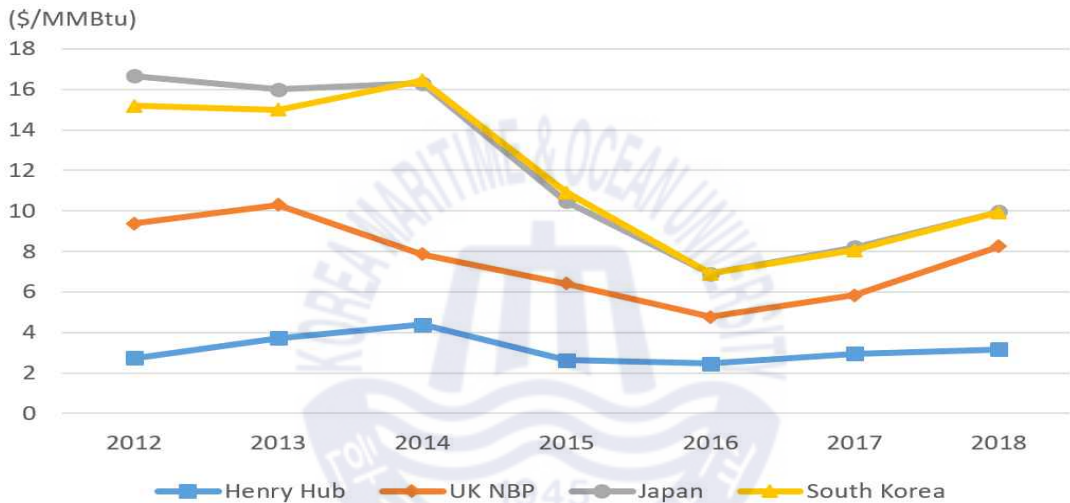
1) 선령 20년 이상의 노후 외항선을 친환경 선박으로 교체할 경우 선가의 약 5~10%에 해당하는 보조금을 지원하는 사업

표 2-6 세계 주요 LNG 시장 공급가격 추이

단위: \$/MMBtu

구분	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Henry Hub	2.75	3.72	4.38	2.63	2.46	2.96	3.17
UK NBP	9.39	10.31	7.86	6.41	4.78	5.84	8.26
Japan	16.67	15.99	16.29	10.47	6.9	8.21	9.96
South Korea	15.19	14.99	16.45	10.91	6.91	8.05	9.93

자료: Drewry, Monthly Analysis of the Shipping Markets, 2012-2019.03에 근거하여 재정리



자료: Drewry, Monthly Analysis of the Shipping Markets, 2012-2019.03에 근거하여 재정리

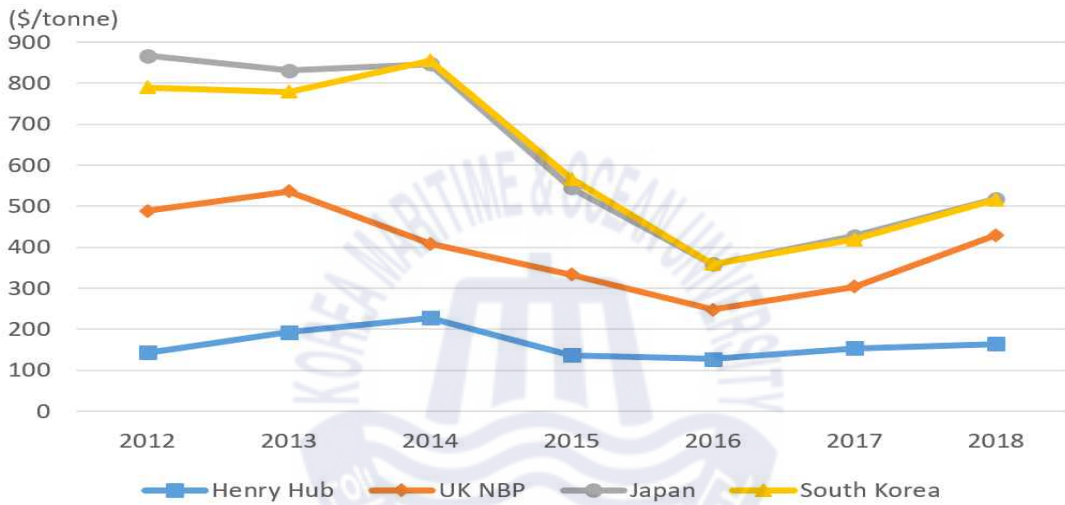
그림 2-10 세계 주요 LNG 시장 공급가격 추이

LNG의 가격단위는 일반적으로 \$/MMBtu를 사용하고 있고, MGO(Marine Gas Oil)의 경우에는 \$/tonne을 사용하고 있다. 두 연료 사이의 단위가 상이하기 때문에 가격을 직접적으로 비교하려면 단위에 대한 통일이 필요하다. 김환성 et al.(2018)의 연구에 따르면 LNG의 단위를 \$/MMBtu에서 \$/tonne로 환산하기 위해 $1\$/MMBtu = 52\$/tonne$ 의 전환식을 적용하면 된다. 이를 적용하여 LNG 병커링 가격에 52를 곱하면 환산된 값이 도출된다. LNG 공급가격을 \$/tonne 단위로 환산한 데이터는 <표 2-7>과 같다.

표 2-7 \$/tonne으로 환산된 세계 LNG 공급가격 추이

단위: \$/tonne

구분	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Henry Hub	143	193.44	227.76	136.76	127.92	153.92	164.75
UK NBP	488.28	536.12	408.72	333.32	248.56	303.68	429.35
Japan	866.84	831.48	847.08	544.44	358.8	426.92	517.88
South Korea	789.88	779.48	855.4	567.32	359.32	418.6	516.53



자료: Drewry, Monthly Analysis of the Shipping Markets, 2012-2019.03에 근거하여 재정리

그림 2-11 \$/tonne으로 환산된 세계 LNG 공급가격 추이

2.3.2 MGO 시장공급가격

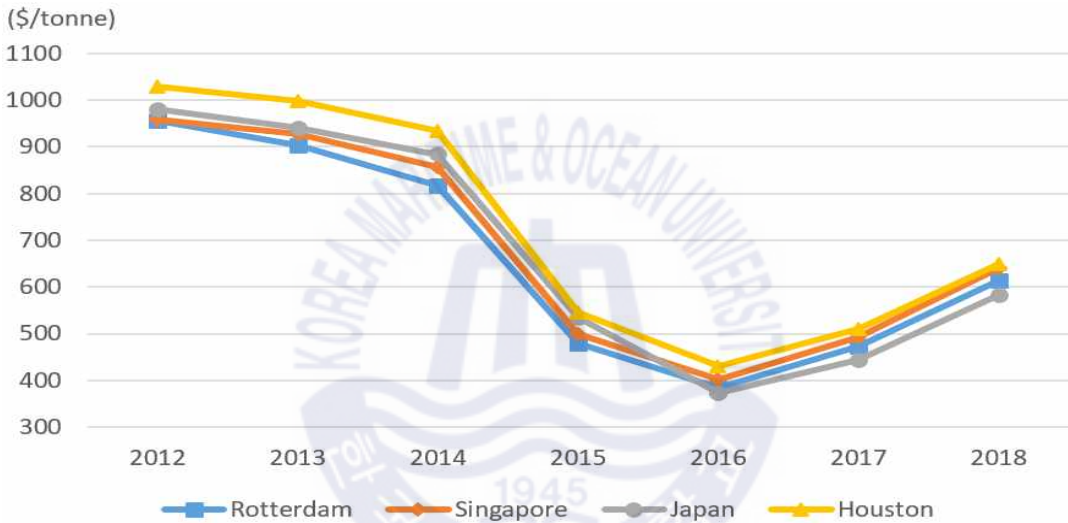
연료비의 측면에서 LNG와의 비교대상인 MGO는 세계적으로 병커링이 많이 이루어지고 있는 로테르담, 싱가포르, 일본, 미국 Huston의 공급가격이 대표적인 공급가격으로 책정되고 있다. MGO의 경우 2012년부터 2016년까지 점진적으로 하락하였지만, 2016년을 기점으로 회복세를 보여 2018년 연평균 시장가격은 2012년의 약 60% 수준까지 회복하였다. 세계 주요지역 MGO 병커링 가격추이를 정리하면 아래 <표 2-8>과 같다.

표 2-8 세계 주요지역 MGO 병커링 가격 추이

단위: \$/tonne

구분	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Rotterdam	955.3	903.8	816.6	479.6	383.4	473.6	614.2
Singapore	958.3	927.3	856.7	498.2	401.6	493	641.1
Japan	979.4	941.1	884.4	535.4	372.6	443.8	583.4
Houston	1028.8	997.3	935.1	546.4	430	510.6	648.8

자료: Clarkson(2019), Shipping Review & Outlook, Spring 2019



자료: Clarkson(2019), Shipping Review & Outlook, Spring 2019

그림 2-12 세계 주요지역 MGO 병커링 가격 추이

2.3.3 LNG 및 MGO 가격 비교

LNG 가격과 MGO 가격을 직접적으로 비교하기 위하여 두 가지 연료의 주요 시장에 포함된 일본의 LNG 가격과 MGO 가격을 비교하였다. 전반적으로 LNG의 가격이 저렴한 것으로 나타났고, 2018년 기준으로 LNG의 평균 가격이 MGO 대비 약 11% 저렴한 것으로 나타났다. 따라서 장기적으로 LNG의 가격이 MGO와 비교하여 지속적인 경쟁력을 갖출 것으로 전망된다.

표 2-9 일본 LNG 병커링 및 MGO 병커링 가격 추이 비교

단위: \$/tonne

구분	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
LNG	866.84	831.48	847.08	544.44	358.8	426.92	517.88
MGO	979.4	941.1	884.4	535.4	372.6	443.8	583.4

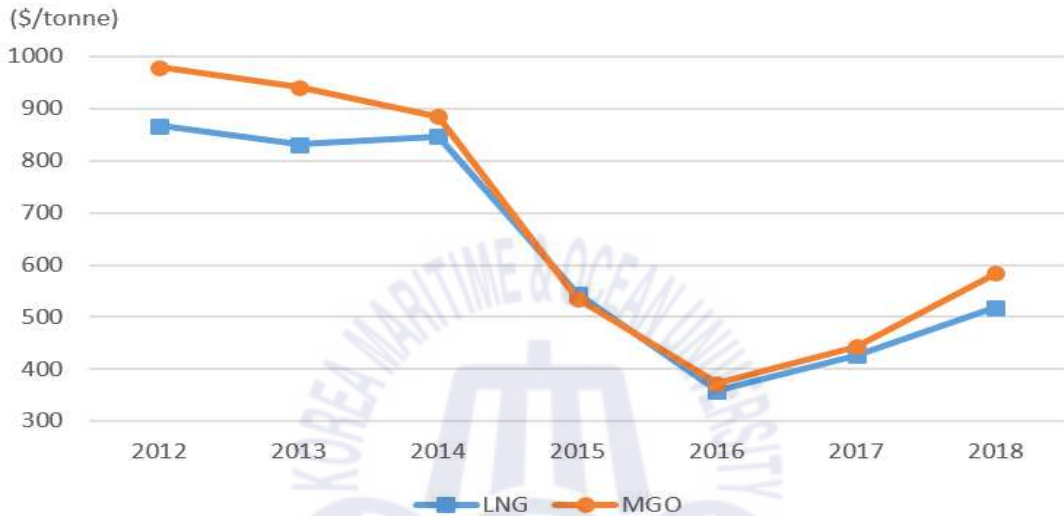


그림 2-13 세계 주요지역 MGO 병커링 가격 추이

위의 LNG와 MGO의 가격변화추이를 보면 두 연료의 가격추세는 비슷한 양상을 보이고 있고, 2020년부터 시행되는 IMO의 환경규제 강화로 인하여 IFO 380과 IFO 180 등의 연료를 사용하던 선박들이 MGO를 연료로 사용할 것으로 예상된다. 장기적인 관점으로 보았을 때, 이는 MGO의 수요가 높아짐을 의미하고, MGO의 가격은 꾸준히 상승할 것으로 예상된다. MGO의 가격 상승과 더불어 LNG의 지속적인 가격 상승 또한 예상된다. LNG와 MGO를 직접적으로 비교하였을 때, MGO 대비 LNG의 상대적 가격 경쟁력은 지속적으로 계속될 것으로 예상된다.

제 3 장 선행연구 고찰

3.1 LNG 관련 선행연구

김정현(2013)은 연료효율성, 관리·운영의 용이성, 오염물질 배출 감소효과 등의 측면에서 LNG 추진선의 장점에 대해 기술하고, 엔진의 차이에 따른 LNG 추진선의 유형에 대해 설명하였다. LNG 추진선 중 실용 가능한 선종은 연안 페리선, LNG 운송선, LNG 재기화선, 컨테이너선, 군용 목적선, 해양 탐사선 등에 적용이 가능하며, LNG 추진선박의 도입 시 오염물질 배출의 감소효과, 유류 비용 절감을 통한 운영비용의 감소효과 등을 기대할 수 있음을 알 수 있었다. LNG 추진선 도입 시 해운업계에서는 환경규제를 충족할 수 있으며, LNG는 선박용 연료유인 벙커C유 보다 저렴하기 때문에 운임의 인하가 가능하고, 이를 통해 저렴한 서비스 제공이 가능함을 알 수 있었다. 저자는 LNG 추진선이 도입 될 경우 조선, 수리, 기자재 산업 등의 연관산업에 새로운 수요처가 될 수 있으며 연관산업의 동시성장이 가능하도록 정부의 정책적 대응이 요구됨을 주장하고 정부의 대응방안을 제시하였다. LNG 추진선의 상용화 및 관련 인프라 강화를 위하여 선사, 항만운영사, LNG 공급업자, 조선소, 관련 기자재개발 업체 등을 포괄하는 정부차원에서의 LNG 추진선박 활성화 방안의 수립이 필요하다고 하였다. 이를 통한 국내 해운산업, 조선 및 기자재산업 부문의 국가 경쟁력 향상을 기대하였다.

김근섭 et al.(2015)은 선박의 배출가스 감소를 위한 최적의 대안은 LNG 추진선의 도입이라고 주장하였다. 선박 연료로서 LNG의 가격을 전망하고 LNG의 수요를 추정하여 추후 부산항에 LNG 벙커링 시설의 적정 규모를 산정하였다. 부산항의 LNG 벙커링 경쟁력을 확보하고 초기시장을 선점하기 위하여 가격경쟁력을 확보하는 것이 최우선이라고 주장하였다.

김선태(2015)는 LNG와 HFO 가격이 동일한 조건에서 황산화물을 제거하기 위한 스크러버 장치를 설치한 ME 엔진보다 LNG를 사용하는 ME-GI 엔진을 25년간 운항 및 사용 시 소요되는 비용이 적은 것으로 나타났고, IMO와 해운업계는

선박의 대기오염 방지와 운용비용 절감 두 가지 문제의 해결책으로 LNG 추진선을 주장하고 있다.

이창식(2015)은 LNG 연료추진선박 건조에 많은 비용이 투자되어야 하고 선주사와 에너지사 간에 닭과 달걀 논쟁으로 LNG 병커링의 상업화는 시간이 좀 더 필요할 것으로 예상하였다. 그러나 국제무역항을 보유하고 세계 조선업계를 선도하고 있는 우리나라가 주변국에 그 지위를 빼앗기지 않기 위해서는 동북아 LNG 병커링 허브시장 선점을 위한 주변 경쟁국의 발 빠른 행보에 적기 대처할 전략이 필요하다고 주장하였다.

남현정, 이태희(2017)은 LNG 추진선의 필요성, 수요전망 및 개발현황, 국내·외 동향에 대해 살펴보고 경쟁력 제고방안을 제시하였다. 국내 LNG 추진선의 건조와 운항을 촉진시켜야 하고, LNG를 선박 연료로 사용할 때를 대비하여 선박 운항 및 병커링 전문인력의 양성이 필수적이라고 주장하였다. 추가적으로 LNG 추진선의 보급 및 운항 활성화를 위한 관계 법령을 개정하여 제도적인 기반을 마련해야 한다고 주장하였다.

이기열, 김근섭, 김보경(2017)은 환경규제가 강화됨에 따라 국내에도 ECA 도입 필요성에 대한 검토가 이루어져야 한다고 주장하였다. ECA 도입을 위하여 항만에서의 대기오염 물질 측정 시스템을 마련하고 선박의 유류비 지원 등의 지원책 마련이 추진되어야 하며, 선사를 대상으로 하는 인센티브 형태의 지원의 경우 대상, 시기, 지급 주체 등에 대한 구체적이고 종합적인 검토가 필요하다고 주장하였다. 국내 ECA 도입 시기는 늦었다고 할 수 있지만 항만도시 대기환경의 개선을 위한 ECA 지정은 필수이며, ECA의 조기 정착을 위해 연료유 비용 증가분에 대한 보조금 지급이 단기적으로 이루어져야 한다고 주장하였다. 또한 ECA의 높은 효과달성을 위해 제도위반을 대비하여 위반 시 제재가 가능한 법적 근거를 마련해야 하며, 이에 따라 감시를 위한 인력확충 및 양성이 필요하다고 주장하였다.

남현정, 이태희(2017)는 국제적인 환경규제에 대한 대응방안으로 경제적이고 친환경적인 이유로 친환경선박을 대표하는 LNG연료추진선의 도입이 필수적인

대안며 LNG연료추진선의 운항이 확대될 것으로 예상하였다. LNG 산업은 초기에 주로 노르웨이에 집중되었으나 현재는 북유럽 및 북미에서 운항되는 선박의 주문이 대부분임을 알 수 있었다. LNG 병커링 인프라는 LNG 추진선 시장이 확대됨에 따라 확장될 것으로 예상하고 있고, LNG 추진선이 한정적인 선종에만 국한된 것이 아닌 모든 신조선 및 거래에 고려될 수 있을 것임을 알 수 있었다. LNG 추진선을 활용하여 경쟁력을 제고하기 위해 4가지 경쟁력 제고방안을 제시하였다. 첫 번째로 국내 LNG 추진선의 건조 및 운항을 촉진시켜야 한다고 주장하였다. 디젤 추진선과 LNG 추진선의 신조선가의 차이 때문에 선주들의 적극적인 움직임을 기대하기는 어려운 실정이기 때문에 국가 차원의 지원을 통해 선주들의 적극적인 참여를 유도해야 한다고 주장하였다. 둘째, LNG 추진선과 LNG 병커링의 확산을 위하여 단기적으로 대형보다는 중소형 선박의 확산이 필요하며, 이에 국내 조선소들이 대응하기 위해 선박의 건조를 위한 장비도입 및 전문인력의 보급이 필수적이기 때문에 LNG 추진선 운항 및 LNG 병커링 전문인력의 양성이 필수적이라고 역설하였다. 셋째, 2011년부터 도시가스 사업법 시행규칙과 항만법 등의 개정을 통해 LNG연료추진선 운항 및 항만내 LNG충전소 설치에 대한 근거를 마련하였으나 LNG연료추진선, 병커링서플 도입 일정 등에 대응하여 관련 규정의 정비 및 병커링에 대한 법적 근거의 마련이 필요하다고 제시하였다. 넷째, 병커링서플의 조기도입 및 병커링터미널 구축을 통하여 LNG 병커링 환경을 조성해야 한다고 제시하였다. 우리나라의 위치적 이점과 수출입 및 환적 물동량이 확보되어 있다는 장점을 LNG 병커링 허브로 성장하기에 유리한 지리적 이점을 가지고 있다고 주장하고, 단기적, 중·장기적인 계획의 확립을 통해 LNG터미널 확보 또는 해상부유식 병커링 터미널 구축 등의 검토가 필요하다고 주장하였다.

김기동 et al.(2018)은 선박배출가스 규제에 대한 3가지 대안 중에서 LNG 추진선을 선택하는 국가와 기업이 늘어남에 따라 주요 국가인 일본, 중국, 싱가포르 등의 아시아 지역, 유럽 및 미국을 중심으로 LNG 병커링에 대한 비즈니스 모델을 분석하였다. 중국의 경우 LNG 병커링 정책을 수립하고 국가와 에너지 회사의 제휴를 통해 LNG 병커링 서비스를 제공하고 있음을 발견하였다. 유럽

일부와 미국의 경우 민간회사 위주의 LNG 병커링 서비스가 제공되고 있고, 민간회사는 선박유보다 저렴한 LNG 연료의 확보를 위해 LNG 터미널, 천연가스 액화플랜트 운영사 등과의 전략적 제휴를 통해 LNG의 가격 경쟁력을 확보하고, 자사 LNG 추진선에 병커링을 진행하는 비즈니스 모델을 가지고 있다고 하였다. 전 세계적인 LNG 병커링 서비스는 공기업보다 민간기업 위주로 진행되고 있고, LNG 병커링 인프라 구축에 막대한 초기비용이 필요하기 때문에 대부분이 대기업 위주의 비즈니스가 진행되고 있음을 알 수 있었다. LNG 병커링 비즈니스는 현재 TOTE, Shell, ENGIE 등의 3가지 모델이 개발되고 있으며 국가별 LNG 병커링 비즈니스 추진 방식은 각 기업이 소재한 국가 정책에 따라 차이가 나타남을 알 수 있었다.

이호춘, 류희영(2019)은 IMO의 배출가스 규제 강화에 따라 국내외 동향 및 IMO 배출가스 규제에 대한 대응 방안별 장·단점을 분석하여 국내 해운산업의 대응전략을 제시하고 정부와 민간 부문을 포괄하는 통합적인 정책방향을 제시하여 국적선사들의 국제경쟁력 유지와 지속가능한 성장체계를 마련하는 방안을 제공하고자 하였다. 저유황유의 안정적인 공급방안을 수립하여야 하고, 기술적·정책적 지원체계를 정비하여 IMO 황산화물 규제에 관한 정부차원의 대응체계를 확립해야 한다고 하였다. 또한 민간기업체들의 자율협업체계를 구축하여 규제강화에 대응하는 상생방안을 도모하고, 선사들이 설비 및 제조업체들과 다양한 전략적 제휴방안을 검토하고 실행해야 한다고 주장하였다.

3.2 우선순위 분석 관련 선행연구

윤동하(2009)는 컨테이너 물동량의 지속적인 증가, 컨테이너선의 초대형화, 육상 및 해상운송이 복합화 되는 등의 추세에 대응하기 위해 광양항 컨테이너터미널에 리엔지니어링이 필요하며, 이를 위해 리엔지니어링에 의한 생산성 향상 효과를 우선순위 분석하고, 체계화된 리엔지니어링 방안을 수립하고자 하였다. 광양항 내 터미널들의 현황을 통해 물동량의 증가율이 예상치보다 낮은 문제점을 인식하고 터미널들의 리엔지니어링에 대한 필요성을 주장하였다. 리엔지니어링 대안은 ‘게이트시스템’, ‘야드시스템’, ‘안벽시스템’ 등의 3가지 영

역으로 분류하고, 각각의 세부 항목을 추가로 분류하였다. 우선순위 분석은 광양항 컨테이너터미널 운영사에 종사하는 실무자를 대상으로 설문지를 이용한 전문가 면담조사를 통해 진행하였고, 수집된 자료를 바탕으로 각 항목들의 정량화 가능 여부, 빈도수 및 우선순위에 따라 분석하였다. 리엔지니어링을 위해 터미널의 신기술 도입 시 생산성 향상, 업무 효율성 제고, 고객 서비스 향상 등의 순서로 기대효과가 나타남을 알 수 있었다. 광양항 컨테이너터미널의 국내 경쟁항만은 부산 신행이라는 의견이 많았고, 전반적인 경쟁력과 운영기술에 대한 경쟁력은 부산 신행이 뛰어나다고 생각하고 있으나, 기반시설의 경쟁력은 광양항이 더 뛰어나다고 생각하고 있음을 알 수 있었다.

조인교(2011)는 선사의 입장에서 터미널 결정요소 중 핵심요소인 On-Dock 서비스의 구성요소를 파악하고 우선순위를 선정하고자 하였다. On-Dock 서비스 강화에 영향을 주는 요인선정을 위해 먼저 요인분석을 실시하고, 우선순위를 부여하기 위해 Fuzzy-AHP 방법론을 사용하였다. On-Dock 서비스 구성 항목을 세분화하고 Fuzzy-AHP분석을 통해 요인별 우선순위를 분석하였다. 분석결과 인천항 컨테이너 터미널은 부족한 야드의 면적을 효율적으로 활용하기 위해 항만을 효율적으로 운영해야 하며 선석의 보장을 최우선적으로 시행해야하고, 선사 및 화주에게 맞춤형 전산지원을 실시하여 업무처리 지원이 필요하다고 주장하였다.

강석환(2018)은 국제적 환경 규제가 강화됨에 따라 LNG 추진선을 중심으로 녹색해운 인프라 구축의 우선순위를 파악하고자 설문조사를 실시하고 AHP 분석을 진행하였다. AHP분석 적용을 위한 타당성을 평가하고 세부 평가요인을 도출하였고, 각 세부평가 요인 간 연관성 및 유사성을 바탕으로 ‘시설투자’, ‘운용 시스템 구축’, ‘인센티브 정책’ 등의 3가지 주요 평가요인으로 그룹핑(Grouping)하였다. 국내 해운업계의 글로벌 경쟁력 확보를 위해서는 LNG 추진선 신조가 가장 중요하고, LNG 병커링 기지 확보, LNG 병커링 선 확보의 순서로 중요성을 띠는 것으로 확인되었다. 또한 글로벌 녹색해운 선도국가들의 사례와 동일하게 향후 LNG 추진선 도입 시 안전하고 안정적인 운용을 위한 인프라 구축을 위해서는 정부의 역할이 가장 중요하다고 주장하였다.

3.3 시사점

본 장에서는 LNG 관련 선행연구와 우선순위 분석 관련 선행연구를 살펴보았다. 현재 LNG 대한 연구는 LNG 추진선 도입, LNG 병커링 인프라 확립 등의 주제를 통해 활발하게 이루어지고 있다. 선행연구에서는 공통적으로 LNG 추진선을 도입하기 위하여 정부의 정책적 대응이 중요하며, LNG 추진선을 상용화하고 관련 인프라를 강화하기 위해서는 정부뿐만이 아닌 기업들의 적극적인 참여의 필요성을 역설하고 있었다. 선행연구를 살펴본 결과 LNG 추진선의 도입 우선순위에 대한 연구는 아직 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 국내 운항하는 선박을 대상으로 LNG 추진선 도입 시 선종별 손익분기점을 도출하여 도입 우선순위를 도출하고자 한다.



제 4 장 LNG 추진선 도입 적정성 분석

4.1 대상선박 선정

한국해운조합(2019) ‘2019년도 내항화물 운송사업 등록업체’ 및 ‘2019년도 연안여객선 업체현황’ 통계에 따르면 국내 등록선박의 수는 2,179척이다. 부산 607척(34.7%), 예인선 607척(27.9%), 화물선 356척(16.3%), 유조선 291척(13.4%), 여객선 166척(7.6%), 기타선 2척(0.1%)의 순으로 부산의 비중이 가장 크다. 국내 연안운송 선박의 용도별 톤급별 등록현황은 <표 4-1>과 같다.

표 4-1 국내 연안운송 선박 용도별 톤급별 등록현황

단위: 척, 톤

선박용도		화물선	여객선	유조선	부산	예인선	기타선	합계
100톤 미만	척수	166	15	17	5	399	-	602
	톤수	6,504	1,130	667	276	20,026	-	28,603
100톤~500톤 이하	척수	38	116	135	286	204	-	780
	톤수	8,324	30,512	33,980	96,629	39,558	1,130	210,133
500톤~1,000톤 이하	척수	9	23	56	213	3	1	305
	톤수	7,206	15,124	43,989	150,940	1,820	2,959	222,038
1,000톤~5,000톤 이하	척수	103	6	68	233	-	-	410
	톤수	286,662	16,551	146,576	522,139	-	-	971,928
5,000톤 초과	척수	40	6	15	20	1	-	82
	톤수	367,240	76,371	148,693	203,558	6,032	-	801,894
합계	척수	356	166	291	757	607	2	2,179
	톤수	675,936	139,688	373,905	973,542	67,436	4,089	2,234,596

자료: 한국해운조합(2019), 2019년도 내항화물 운송사업 등록업체 및 2019년도 연안여객선 업체 현황을 참고하여 재정리

본 연구에서는 한국해운조합의 통계에 등록된 국내 연안운항선박을 대상으로 LNG 추진선을 도입하였을 때의 선종별 경제적 효과를 분석하고 선종별 도입 우선순위를 도출하고자 한다. 실제 운항중인 선박들 중 2000년 이후 건조된 선

박을 기준으로 대상 선박을 선정한 뒤 선박건조비용, 연간 평균유류비용, 평균 운항시간 등을 전체적으로 파악하여 도입 이후 몇 년이 지난 시점에 손익분기점이 발생하는지 분석하고, 분석결과에 따라서 선박의 도입 우선순위를 도출하였다.

선박건조비용의 경우 신조선이 아닌 중고선을 도입한 경우가 많아 한국해운조합에 등록되어 있는 공제가입선가를 건조비용으로 준용하였다. 연간 평균유류비용과 평균 운항시간의 경우 선정된 선박을 운영하고 있는 업체에 인터뷰를 통해 자료를 수집하였다.

분석대상이 되는 선종은 한국해운조합의 ‘2019년도 내항화물 운송사업 등록업체’ 및 ‘2019년도 연안여객선 업체현황’ 통계자료에 따라 분류하였으며, 연안화물선, 연안여객선, 예인선 및 방제선 등으로 구분하였다. 연안여객선의 경우 일반 여객선과 카페리 등으로 추가 분류하였다.

화물선과 방제선의 경우 대표적인 총톤수를 기준으로 대표적인 선박을 분석 대상으로 선정하였고, 카페리선과 여객선의 경우 운항시간과 운항거리를 기준으로 선정하였다. 예인선의 경우 대부분의 선박의 총톤수가 1,000톤을 넘지 않고, 순간적으로 힘을 집중해야 하는 선박의 특성상 총 톤수가 아닌 마력으로 구분하기 때문에 마력을 기준으로 선정하였다.

4.1.1 연안 화물선

일반적으로 화물선은 다양한 화물을 운반하는 특성을 가진다. 화물선은 주로 모래운반선, 시멘트 전용선, 일반화물선, 차도선, 철강제품 수송선, Ro-Ro선 등으로 구분된다. 본 연구에서는 연구의 대상이 되는 선박을 2000년대 이후 건조된 선박들 중 1차적으로 10,000톤급 이상인 선박을 대상으로 분류하고, 2차적으로 무동력 선박인 바지선을 제외한 선박을 선정하여, 10,000톤급 선박 1척과 20,000톤급 선박 1척을 대상으로 선정하였다. 연안화물선 분류 및 톤급별 현황은 <표 4-2>와 같다.

표 4-2 연안화물선 분류 및 톤급별 현황

단위: 척, 톤

선박용도		모래 운반선	시멘트 전용선	일반 화물선	차도선	철강제 수송선	Ro-Ro	합계
100톤 미만	척수	-	-	146	20	-	-	166
	톤수	-	-	5,275	1,229	-	-	6,504
100톤~ 500톤 이하	척수	4	-	23	10	1	-	38
	톤수	1,750	-	4,309	2,075	190	-	8,324
500톤~ 1,000톤 이하	척수	-	-	9	-	-	-	9
	톤수	-	-	7,206	-	-	-	7,206
1,000톤 ~5,000 톤 이하	척수	14	14	64	1	3	7	103
	톤수	29,880	62,923	156,503	3,550	6,672	27,134	286,662
5,000톤 초과	척수	3	16	19	-	-	2	40
	톤수	16,595	98,670	240,818	-	-	11,157	367,240
합계	척수	20	30	261	31	4	9	356
	톤수	48,225	161,593	414,111	6,854	6,862	38,291	675,936

자료: 한국해운조합(2019), 2019년도 내항화물 운송사업 등록업체 참고하여 재정리

4.1.2 연안 여객선

한국해운조합(2019)의 ‘2019년도 연안여객선 업체현황’의 통계에 따르면 2018년 기준 국내 운항중인 연안 여객선은 총 166척으로 집계되었다. 그 중 카페리를 제외한 일반 여객선의 경우 155척(93.4%)이 운항중이고, 카페리의 경우 11척(6.6%)으로 일반 여객선의 비율이 주를 이루고 있다. 여객선은 항해속력을 기준으로 하여 일반선, 고속선, 쾌속선, 초쾌속선으로 분류한다. 항해속력이 15노트 미만인 여객선은 일반선, 15노트 이상 20노트 미만인 여객선을 고속선, 20노트 이상 35노트 미만인 여객선은 쾌속선, 35노트 이상인 여객선을 초쾌속선이라고 지칭한다.

승객의 승선이 가능하지만 차량을 화물적재구역에 적재하여 수송할 수 있는 선박을 카페리선이라고 한다. 차도선은 차량이 적재운송 가능하다는 점은 카페리와 같으나 화물적재구역이 개방되어 있는 차이점이 있다. 카페리의 경우에도

운항속도에 따라 쾌속카페리와 일반카페리로 분류한다. 쾌속카페리는 운항속도가 시속 25노트 이상인 카페리를 말하고, 일반카페리는 시속 25노트 미만인 카페리를 뜻한다. 연안여객선의 분류 및 선박현황은 <표 4-3>과 같다.

표 4-3 연안 여객선의 분류 및 선박 현황

단위: 척

선종		척수			세부내용
		2016	2017	2018	
일반선		23	21	20	- 항해속력이 15노트 미만인 여객선
고속선		3	2	1	- 항해속력이 15노트 이상 20노트 미만인 여객선
쾌속선		8	9	11	- 항해속력이 20노트 이상 35노트 미만인 여객선
초쾌속선		16	19	17	- 항해속력이 35노트 이상인 여객선
차도선		102	104	106	- 차량을 육상교통 등에 이용되는 상태로 적재운송할 수 있는 선박으로 차량구역이 폐위되지 아니한 선박
카페리	쾌속카페리	5	5	3	- 폐위된 차량구역에 차량을 육상교통 등에 이용되는 상태로 적재운송할 수 있는 선박으로서 운항속도가 시속 25노트 이상인 여객선
	일반카페리	10	8	8	- 폐위된 차량구역에 차량을 육상교통 등에 이용되는 상태로 적재운송할 수 있는 선박으로서 운항속도가 시속 25노트 미만인 선박
계		167	168	166	

자료: 한국해운조합(2019), 2019년도 연안여객선 업체현황

연안 여객선과 연안 카페리의 경우 연구의 대상이 되는 선박은 1차적으로 항로거리가 200km 이상인 선박을 대상으로 분류하고, 2차적으로 1회 운항 시 운항시간이 4시간 이상인 선박을 기준으로 선박을 선정하였다. 연안 여객선의 경우 300톤급 초쾌속선 1척과 400톤급 초쾌속선 1척을 선정하였고, 카페리의 경우 10,000톤급 선박 1척, 13,000톤급 선박 1척을 대상으로 선정하였다.

4.1.3 예인선

예인선은 다른 선박 또는 해양구조물을 끌어당기거나 밀어내는 작업을 수행한다. 순간적인 힘이 필요한 작업의 특성상 다른 선박과는 다르게 총톤수로 분류하지 않고 마력으로 구분한다.

본 논문에서는 울산항에서 운항하고 있는 예인선을 대상으로 연구를 진행하였다. 울산항은 예선의 서비스를 공동배선제로 운영하고 있기 때문에 선사별로 선박운용시간이 비슷한 특징이 있다. 일반적으로 예인선은 2,000마력급, 3,500마력급, 4,500마력급, 6,000마력급으로 분류된다.

표 4-4 울산항 예인선 톤급별·마력별 현황

단위: 척

구분	2,000마력급	3,500마력급	4,500마력급	6,000마력급
200톤 미만	24	6	-	-
200톤~300톤 미만	-	5	9	-
300톤 이상	-	-	-	4

예인선은 세계적으로 2,000마력급 예선과 3,600마력급 예선을 가장 많이 이용하고 있다. 하지만 울산항의 경우 정유업계의 부이(Buoy)와 돌핀(Dolphin)을 항계외해로 이전하면서 원유선 테일링(Tailing)작업²⁾을 수행할 수 있는 4,500마력급 선박이 주로 사용되고 있다. 이러한 특성상 중간급 선박인 3,500마력급 선박은 활용도 및 효율성이 떨어지게 되었다.

연구의 대상이 되는 선박은 울산항에서 운영되고 있는 예인선을 마력기준으로 분류하고, 가장 운항시간이 많고 다양한 목적으로 쓰일 수 있는 4,500마력급 선박을 대상으로 선정하였다.

2) 선박의 해상접안시설 계류 시 본선과 하역시설의 안전 및 오염사고예방을 위해 선미에서 로프 조정작업을 수행하는 것

4.1.4 방제선

방제선이란 유회수기, 기름이송펌프 및 회수한 기름을 저장할 수 있는 장치를 갖춘 선박으로 해상·항만의 유류오염사고 방제를 목적으로 운영된다. 선박의 업무에 따라, 방제선, 예방선, 청방선, 방제부선 등으로 분류되고 있다. 방제선은 해상에서의 사고가 발생하지 않는 한 운항할 기회가 없기 때문에, 주로 방제선의 역할과 추가적인 업무를 함께 수행한다. 이를 청방선과 예방선으로 분류하는데, 청방선은 해양부유쓰레기 수거 및 순찰활동업무를 병행하고, 예방선은 방제선의 역할 뿐만 아니라 예인선의 역할도 함께 수행한다.

본 연구에서는 1차적으로 해양환경공단 부산지사에서 관리하고 있는 선박들을 대상으로 분류하였다. 2차적으로는 선박들의 총톤수를 비교하여 평균과 가장 가까운 총톤수의 선박을 대상으로 선정하였다.

4.2 LNG 추진선 건조비용 추정

4.2.1 건조비용 추정

현재 LNG 추진선 건조비용에 대한 정보가 충분하지 않기 때문에 비슷한 G/T와 DWT를 기준으로 디젤 추진선 건조비용과 LNG 추진선 건조비용의 가격을 비교하여 선종별로 기준을 설정하고 연구에 적용하고자 한다.

벌크선은 크기별로 DWT에 따라 수에즈막스(Suezmax), 아프리카막스(Aframax), 케이프사이즈(Cafsize), 파나마막스(Panamax), VLOC(Very Large Crude Oil Carrier), ULOC(Ultra Large Vrude Oil Carrier) 등으로 나뉜다. Clarksons Research(2018)의 보고서에 따르면 2018년 10월 기준 18만톤급(케이프사이즈급) 디젤 추진 신조선은 6,500만 달러(약 760억원)에 거래되었다. 2018년 10월 H-Line사가 발주한 18만톤급(케이프사이즈급) LNG 추진 벌크선의 건조비용은 7,100만 달러(약 828억원)인 것으로 밝혀졌다. 두 선박의 가격 차이를 통해 대형 선박의 가격 차이를 추정하면 약 10% 정도이다. 또한, Clarkson(2019)의 보고서에 따르면 38,000DWT급 디젤 추진 벌크선의 신조가격은 약 2,400만 달러(약 280억원)이

고, 62,000DWT급 디젤 추진 벌크선의 신조가격은 약 2,600만 달러(약 300억원)이다. 두 선박의 DWT 평균이 50,000DWT이기 때문에 일신 그린아이리스호와 직접적인 비교를 위해서 신조가격을 예측하면 약 2,500만 달러(약 290억원)의 수준일 것으로 예측된다. 일신 그린아이리스호의 신조선가는 약 410억원으로 약 30% 차이가 난다. 그린아이리스호의 경우 국내기업의 자체개발기술을 적용하였고, 국내 LNG 추진선 기술이 시작단계임을 감안하여 25%의 차이가 나는 것으로 가정하였다.

카페리선의 경우 국내 운항중인 선박의 대부분이 중고선이기 때문에 선박의 신조선가에 대한 정확한 정보를 얻기 어려우며, 국내 카페리선과 화물선의 G/T가 비슷하게 나타났다. 하지만 한국해양수산개발원(2015)에서는 디젤 추진 카페리와 LNG 추진 카페리의 신조비용은 약 17%의 차이를 보일 것으로 예상하고 있다. 국내 LNG 추진선 지원정책을 보면 신조 시 국내기업의 기술을 적용하는 경우 지원이 가능하기 때문에, 앞서 그린아이리스호의 사례처럼 국내기술을 적용한다고 가정하고, 국내 기술이 시작단계임을 감안하여 카페리선의 선가도 25%의 차이가 나는 것으로 설정하였다.

예인선의 경우 현재 최저가격으로 건조하기 위해 공개입찰 방식을 사용하고 있어 정확한 건조 비용은 추정하기 어렵다. 하지만 업체 인터뷰, 국내LNG 예인선 건조사례, 한국조선해양기자재연구원(2018)의 선행연구 등을 종합하였을 때 국내 LNG 추진 예인선의 건조 비용은 기존 디젤추진선 대비 40~50% 정도의 차이를 보이는 것으로 추정하였다.

표 4-5 디젤추진 예인선과 LNG 추진 예인선의 건조 비용 추정

단위: 억원

구분	디젤예인선	LNG 예인선	차이
2,000마력급	26	42.9	16.9
3,500마력급	38	60.5	22.5
4,500마력급	50	77.0	27.0
6,000마력급	60	89.1	29.1

자료: 한국조선해양기자재연구원(2018), 노후 예인선의 LNG 연료추진 전환사업(안). p.19

여객선과 방제선의 경우 소형선박이 주를 이루고 있다. 예인선, 여객선, 방제선과 같은 소형선박은 LNG 추진선 신조 시 LNG 연료 공급장치, 엔진 및 추진 패키지, 전계장 시스템 등과 같은 기자재의 추가비용에 대한 비율이 대형선박에 비해 비교적 높다. 동 선종들은 예인선과 톤급, 마력급이 비슷하기 때문에 운항에 필수적인 LNG 탱커 및 부수장비를 설계하고 설치하는 비용의 비중이 높을 것으로 예상되기 때문에 예인선과 비슷한 수준일 것으로 판단된다.

앞서 기술한 바를 종합하여 본 연구에서 디젤 추진선을 LNG 추진선으로 교체할 시 선가차이는 화물선과 카페리선의 경우 약 25%, 여객선, 예인선 및 방제선은 약 40%로 설정하였다. 가정에 따른 선가의 차이는 <표 4-6>과 같다.

표 4-6 LNG 추진선 건조비용 추정

구분	총톤수 (G/T)	선박건조비 (백만원)	건조비 차이 비율	LNG 추진선 추정(백만원)	건조비 차이(백만원)
화물선	10,000톤급	21,000	25%	26,250	5,250
	20,000톤급	26,000	25%	32,500	6,500
카페리	10,000톤급	12,000	25%	15,000	3,000
	13,000톤급	18,000	25%	22,500	4,500
여객선	300톤급	1,800	40%	2,520	720
	400톤급	2,200	40%	3,080	880
예인선	4,500마력	5,000	40%	7,000	2,000
방제선	100톤급	8,000	40%	11,200	3,200
	300톤급	16,000	40%	22,400	6,400

4.3 LNG 추진선 운영비용 추정

4.3.1 운영비용 전제조건

선박의 운영비용은 크게 연료비, 인건비, 금융비용 및 기타 운영비용 등으로 구분할 수 있다. 일반적으로 연료비 30%, 인건비 30%, 금융비용 30%, 기타 운영비용 10% 수준의 비중을 차지한다. 그 중 연료비는 연료유의 종류에 따라 결정된다. 일반적으로 선박에서 사용하는 연료유는 벙커-A(경질중유, MDO)와 경유(MGO)를 혼용하여 사용하고 있다. 벙커-A의 경우 연료용으로 사용하고, 경유의 경우 발전기용으로 주로 사용하고 있다.

선박의 운영비용 중 디젤 추진선과 LNG 추진선은 연료비에서 가장 큰 차이가 발생하기 때문에 본 연구에서는 인건비와 기타 운영비용은 동일하다고 가정하였다. 금융비용의 경우 운영비용에서 차지하는 비중은 크지만 기업의 조건과 대출규모에 따라 다양하게 적용이 가능하고, LNG 추진선 신조에 대한 직접적인 지원 없이는 LNG 추진선의 도입이 어렵기 때문에 국가적 차원의 지원이 필수적이라고 평가되고 있어 동일하다고 가정하였다.

4.3.2 LNG 추진선 연간 연료비용 추정

LNG 추진선의 경우 연료비용의 실질적 데이터가 부족하고, 향후 설치하는 엔진의 종류 등에 따라 비용이 다르기 때문에 본 연구에서는 디젤 추진선 대비 LNG 추진선의 연료비 차이를 기준으로 LNG 연간 연료비용을 추정하였다. 디젤 추진선의 연간 연료비용을 추정하기 위해서 선박의 연간 운영시간과 시간당 유류비의 산정이 필요하다.

시간당 연료비는 유가가 가장 중요한 요인으로 작용하기 때문에 앞서 기술된 연료가격을 기반으로 하여 각 선박의 평균연료비와 평균운항시간을 통해 계산하였다. 수집된 데이터는 2018년 운항데이터가 기준이기 때문에 2018년 평균유가를 기준으로 계산하였고, 유가의 변동을 고려하여 최근 10년간 소비자 물가 상승률 수준인 2%를 시간당 유류비 상승률로 적용하였다.

표 4-7 10년간 소비자물가상승률 추이

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	평균
%	2.8	2.9	4.0	2.2	1.3	1.3	0.7	1.0	1.9	1.5	1.96



그림 4-1 10년간 소비자물가상승률 추이

연간 연료비용은 엔진의 효율, 운항거리와 연료가격의 차이에 따라 결정된다. 본 연구에서는 선박의 엔진 효율에 대해 정확히 파악하기 어렵기 때문에 동일하다고 가정하였고, 선박 간 비교 가능한 변수는 연료가격이기 때문에 디젤과 LNG의 연료비 차이를 기준으로 적용하고, 연료비의 차이는 평균의 개념으로 적용하여 일관적인 분석이 가능하도록 가정하였다. IMO(2016)의 연구결과에 따르면 LNG와 MDO의 연료별 톤 당 가격의 차이는 LNG의 가격이 MDO와 대비하여 평균 84.6% 수준인 것으로 분석되었다.

표 4-8 LNG 및 MDO의 톤 당 가격차이(고속엔진 기준)

구분	LNG(US\$/ton)	MDO(US\$/ton)	LNG 가격비율	평균비율
1	259	306	84.6%	84.6%
2a TOB	397	469	84.6%	
2b	380	449	84.6%	
3	541	639	84.7%	

자료: IMO, Studies on the feasibility and use of LNG as a fuel for shipping, 2016., p.157.

MDO는 MGO와 HFO를 혼합한 연료유를 총칭하며, MGO의 비율에 따라 병커-A(70%), 병커-B(30%), 병커-C로 구분하고 있다. 선박에 따라 병커-A부터 병커-C 까지 상이하게 사용하고 있다. IMO(2016)의 분석에서는 연간평균가격을 적

용하고 있어 각 선종에 맞게 적용하기 위해서는 MDO 대비 연료유의 가격 차이를 추가적으로 적용해야한다. 또한, 고속엔진을 기준으로 연구하였고 고속엔진의 경우 벙커-A를 주로 사용하기 때문에 본 연구에서는 벙커-A를 기준으로 평균가격비율을 설정하였다. 2018년 7월을 기준으로 국내 가격 수준을 고려하여 MDO의 평균가격 대비 각 연료유의 가격비율을 103%로 적용하였다.

표 4-9 MDO의 평균가격 대비 연료유 가격 비율

단위: 원/l

구분	벙커-A	벙커-B	벙커-C	평균	평균 대비 벙커-A 비율
가격	889	870	840	866	103%

자료: 김환성(2018), 울산항 예선 LNG 전환 적정성 연구, p.88

앞서 설명된 바에 따라 IMO에서 제시한 MDO 대비 LNG 연료의 평균가격 비율 84.6%와 MDO 대비 벙커-A의 평균가격 비율 3%를 적용하여 디젤 추진선과 LNG 추진선의 시간당 연료비용의 차이를 81.6%(84.6% - 3%)로 설정하였다.

4.3.3 LNG 벙커링 수요 추정

LNG 벙커링 비용을 추정하기 위해서는 디젤 추진선의 벙커링 사용량의 추정이 선행되어야 한다. 벙커링 수요 추정은 연간 운영시간과 시간당 소모량(Nm³)이 결정적인 요인이다. 연간 운영시간의 경우 각 선박의 실제 운영시간을 기준으로 추정하였고, 시간당 소모량의 경우 실제 평균연료비용, 운영시간과 2018년 기준 공급가격(2018년 평균 626.84원/l)을 통해 역추정하였다.

한국에너지공단에서는 Nm³ 단위를 Ton으로 환산할 경우 1mol을 22.4(Nm³)로, mol당 메탄가스 분자량을 16g/mol으로 하여 환산하고 있다. kg을 Nm³으로 단위 변환 시 단위 환산식은 아래 <표 4-10>과 같다.

표 4-10 kg을 Nm³로 단위변환 시 단위 환산식

kg → Nm ³	= $\frac{(\text{연료사용량} * 22.4)}{16}$
----------------------	--------------------------------------

화물선의 경우 10,000톤급 선박의 소모량은 4,885.6Nm³, 20,000톤급 선박의 소모량은 3,660.3Nm³로 추정된다. 카페리선의 경우 10,000톤급 선박은 2,741.7Nm³, 13,000톤급 선박은 7,292.1Nm³, 15,000톤급 선박은 5,239.7Nm³로 추정된다. 여객선의 경우 각각 2,758.2Nm³, 1,551.5Nm³로 추정되며 방제선의 경우 100톤급 선박은 8.4Nm³ 300톤급 선박은 111.7Nm³로 추정된다. 예인선의 경우 부산지방해양항만청(2016)의 선행연구 연구결과를 준용하여 시간당 소모량 303.4Nm³을 적용하였다. 각 선박의 선종별·톤급별 연료 소모량을 통해 시간당 LNG 소모량 추정량은 다음 <표 4-11>과 같다.

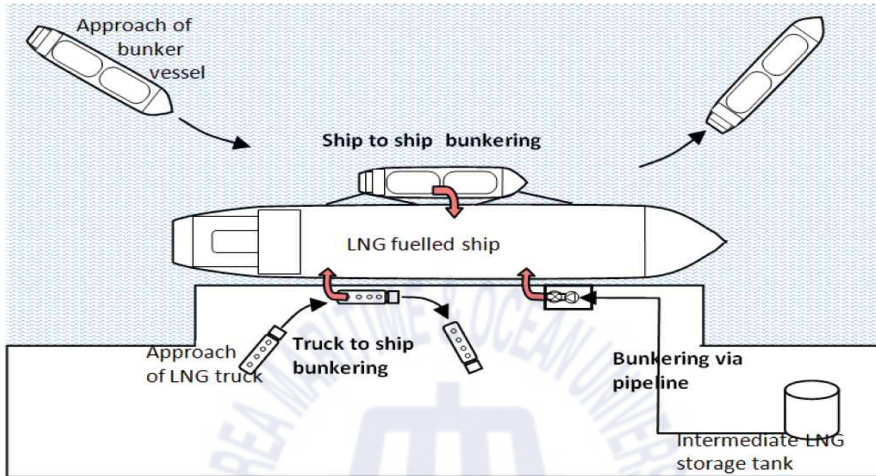
표 4-11 LNG 추진선 병커링 소모량 추정

구분	총톤수(G/T)	연간 소모량(Ton)	연간 소모량(Nm ³)	시간당 소모량(Nm ³)
화물선	10,000톤급	4,020.2	5,628,230.5	4,885.6
	20,000톤급	3,388.4	4,743,794.3	3,660.3
카페리선	10,000톤급	7,332	10,264,820.4	2,741.7
	13,000톤급	13,209.1	18,492,757.3	7,292.1
여객선	300톤급	1,754.7	2,456,588.6	1,472.8
	400톤급	987.0	1,381,864.6	828.5
예인선	4,500마력	303.4	946,608	303.4
방제선	100톤급	4.8	6,700.3	8.4
	300톤급	239.3	335,013.7	111.7

4.3.4 LNG 병커링 비용 추정

LNG 병커링 방식은 TTS(Truck-to-Ship), STS(Ship-to-Ship), PTS(Pipeline-to-Ship) 등 3가지 방식이 있다. 탱크로리를 이용하는 방식인 TTS의 경우 선박의 연료탱크가 100m³ 이하인 소형선박에 적합하며 탱크로리 초기 투자비가 적은편이다. 또한 수송거리에 따른 운송비용의 차이가 크지 않기 때문에 경제성이 높다는 장점이 있다. 병커링 선박을 이용하는 STS방식의 경우 주로 대형선박에 병커링 할 경우에 사용된다. 병커링을 위한 전용선박의 도입이 필수적이기 때문에 전용선박의 도입비용이 높고 병커링 시 운송비용이 다른 방식에 비해 크다는 단점이 있다. 위 방식은 대형선박 중심의 병커링이 이루어지고 안정적인

병커링 수요가 있을 경우에 적합한 방식이다. 파이프라인을 이용하는 방식인 PTS의 경우 대형선박에 적합하지만 PTS방식의 공급설비가 필요하다. 전용설비를 설치해야하는 등 초기투자비용이 발생하지만 별도의 운송비용이 소요되지 않기 때문에 장기적으로 보았을 때 가격적 측면에서 경쟁력이 있다.



자료: IMO, Studies on the feasibility and use of LNG as a fuel for shipping, 2016., p.48

그림 4-2 LNG 병커링 방식

연료비용에는 연료유의 가격뿐만 아니라 병커링 비용까지 포함된다. LNG 추진선을 운영하기 위해서 LNG 충전이 필요하기 때문에 이에 수반되는 병커링 비용의 적용도 필수적이다. LNG 병커링 방식은 지역적인 여건, 비용과 운영조건 등에 따라 결정되며, 선박의 종류 또한 병커링 방식의 결정에 큰 영향을 미친다. 국내 LNG 병커링은 TTS 방식을 주로 사용하고 있다.

LNG병커링 협의체(2013)의 선행연구에서 한국가스공사 공급 기준으로 탱크로리를 이용할 경우 MJ당 0.76원(100km, 5,000톤 기준)이 소요되는 것으로 추정하고 있다. 이를 LNG톤으로 환산하면 톤당 39,527원이 소요되는 것으로 추정할 수 있다. LNG 병커링 비용의 증가는 최근 10년간 소비자물가 증가율의 평균인 약 2%를 적용하였다. 탱크로리를 이용한 톤당 LNG 충전 추정비용은 <표 4-12>와 같다.

표 4-12 탱크로리를 이용한 톤당 LNG 충전 비용 추정

구분	1 LNG 톤	=	52,009 MJ
가격	39,527원/LNG 톤		0.76원/MJ

자료: LNG병커링 협의체, “LNG병커링 가격연구”, 2013.12 p.153

4.4 디젤 추진선과 LNG 추진선 연료비 비교 및 도입 우선순위 도출

본 장에서는 선종별 LNG 추진선 도입에 대한 우선순위를 도출하고자 한다. 앞서 서술한 선박건조비용, LNG와 MDO의 가격 차이, 연간연료비용, 병커링 수요추정, 병커링 비용 추정 등을 통해 디젤 추진선과 LNG 추진선의 비용적 측면에서의 비교를 실시하였다. 디젤 추진선과 LNG 추진선의 연료비를 비교하고, 선박건조비용과 연료비의 차이를 통해 LNG 추진선의 도입 우선순위를 도출하기 위해 먼저 디젤 추진선의 연간 연료비를 추정한다. 도출방법은 아래와 같다.

- ① 디젤 추진선의 연간 연료비는 각 선박의 시간당 유류비용에 연간 운항시간을 곱하여 도출하였다.
- ② LNG 추진선의 연간 연료비용은 디젤추진선 연간 연료비 추정액에 앞서 설정한 연료비용의 차이인 81.6%를 적용하고, 병커링 비용을 더하여 도출하였다.
- ③ 병커링 비용의 경우 <표 4-11>에서 도출한 톤을 기준으로 한 연간 연료소모량에 <표 4-12>의 톤당 LNG 병커링 가격을 곱하여 도출하였다.
- ④ 도출된 디젤 추진선 연간 연료비 추정액에서 LNG 추진선 연간 연료비 추정액을 빼서 연간 연료비용의 차이를 구한다.
- ⑤ 연간 연료비용의 차이를 통해 LNG 추진선으로 교체 후 몇 년이 지난 시점에 선박교체비용을 보전할 수 있는지에 대한 손익분기점(건조비용의 보전가능기간)을 도출하였다.

각 선종별 손익분기점을 도출하고, 이를 통하여 선종별 LNG 추진선 도입에 대한 우선순위를 도출하였다. 손익분기점이 짧을수록 이익이 창출되는 시점이

빠르기 때문에 우선순위가 높다고 판단하였다.

① 10,000톤급 연안 화물선

먼저 디젤 추진선의 연료비의 경우 2025년 27.8억, 2030년에는 30.7억 수준일 것으로 추정되었다. 반면, LNG 추진선의 경우 병커링 비용을 포함하여 2025년에 디젤 추진선 대비 약 3.2억 적은 24.6억 수준으로 추정되고, 2030년에는 약 3.3억원 적은 27.4억원 수준으로 추정되었다.

2020년에 LNG 추진선의 도입을 전제로, 향후 10년간의 운영비용 절감액은 35억원 수준으로 추정된다. 35억원 정도의 운영비용 절감액 추정 결과는 디젤 추진선과 LNG 추진선의 건조비용 차이 추정금액 52.5억원에 비해 낮게 나타나 직접적인 지원 없이는 LNG 추진선의 도입에 한계가 있다. 하지만 더 장기적으로 보면 건조비용의 보전가능기간은 15.3년으로 2020년에 LNG 추진선을 도입한다는 전제 하에 2036년에는 건조비용을 보전할 수 있을 것으로 판단된다. 10,000톤급 연안 화물선의 연간 연료비 비교를 종합하면 <표 4-13>과 같다.

표 4-13 10,000톤급 화물선 연간 연료비 비교

단위: 억원

구분	시간당 유류비 (백만원)	디젤 추진선 연간 연료비 추정(a)	LNG 추진선		연간 연료비 차이 (a-b-c)
			연간 연료비(b)	병커링 비용(c)	
2020년	2.188	25.2	20.6	1.6	3.05
2021년	2.232	25.7	21.0	1.7	3.08
2022년	2.276	26.2	21.4	1.7	3.11
2023년	2.322	26.7	21.8	1.8	3.13
2024년	2.368	27.3	22.3	1.9	3.16
2025년	2.416	27.8	22.7	1.9	3.19
2026년	2.464	28.4	23.2	2.0	3.21
2027년	2.513	29.0	23.6	2.1	3.24
2028년	2.564	29.5	24.1	2.2	3.26
2029년	2.615	30.1	24.6	2.3	3.28
2030년	2.667	30.7	25.1	2.4	3.30
합계	-	306.7	250.3	21.4	34.99

주 : 병커링 비용은 본 연구에서 추정된 척당 병커링 소요량을 기반으로 적용(병커링 소요량(톤) × 톤 당 병커링 비용)

② 20,000톤급 연안 화물선

디젤 추진선 연료비의 경우 2025년 23.5억, 2030년에는 25.9억 수준일 것으로 추정되었다. 반면, LNG 추진선의 경우 병커링 비용을 포함하여 2025년에 디젤 추진선 대비 약 2.7억 적은 20.7억 수준으로 추정되고, 2030년에는 약 2.8억원 적은 23.1억원 수준으로 추정되었다.

2020년에 LNG 추진선의 도입을 전제로, 향후 10년간의 운영비용 절감액은 29.5억원 수준으로 추정된다. 29.5억원 정도의 운영비용 절감액 추정 결과는 디젤 추진선과 LNG 추진선의 건조비용 차이 추정금액 65억원에 비해 매우 낮게 나타나 직접적인 지원 없이는 LNG 추진선의 도입에 한계가 있다. 하지만 장기적으로 보면 건조비용의 보전가능기간은 22.8년으로 2020년에 LNG 추진선을 도입한다는 전제 하에 2043년에는 건조비용을 보전할 수 있을 것으로 판단된다. 20,000톤급 연안 화물선의 연간 연료비 비교를 종합하면 아래 <표 4-14>와 같다.

표 4-14 20,000톤급 화물선 연간 연료비 비교

단위: 억원

구분	시간당 유류비 (백만원)	디젤 추진선 연간 연료비 추정(a)	LNG 추진선		연간 연료비 차이 (a-b-c)
			연간 연료비(b)	병커링 비용(c)	
2020년	1.639	21.2	17.3	1.3	2.57
2021년	1.672	21.7	17.7	1.4	2.59
2022년	1.705	22.1	18.0	1.4	2.62
2023년	1.739	22.5	18.4	1.5	2.64
2024년	1.774	23.0	18.8	1.6	2.66
2025년	1.809	23.5	19.1	1.6	2.69
2026년	1.846	23.9	19.5	1.7	2.71
2027년	1.883	24.4	19.9	1.8	2.73
2028년	1.920	24.9	20.3	1.8	2.75
2029년	1.959	25.4	20.7	1.9	2.76
2030년	1.998	25.9	21.1	2.0	2.78
합계	-	258.5	210.9	18.1	29.49

주 : 병커링 비용은 본 연구에서 추정된 척당 병커링 소요량을 기반으로 적용(병커링 소요량(톤) × 톤 당 병커링 비용)

③ 10,000톤급 연안 카페리선

디젤 추진선의 연료비를 추정하면 2025년 50.7억, 2030년에는 56억 수준일 것으로 추정되었다. 반면, LNG 추진선의 경우 병커링 비용을 포함하여 2025년에 디젤 추진선 대비 약 5.8억 적은 44.9억 수준으로 추정되고, 2030년에는 약 6억 원 적은 50억원 수준으로 추정되었다.

2020년에 LNG 추진선의 도입을 전제로, 향후 10년간의 운영비용 절감액은 63.8억원 수준으로 추정된다. 63.8억원 정도의 운영비용 절감액 추정 결과는 디젤 추진선과 LNG 추진선의 건조비용 차이 추정금액 30억원에 비해 높게 나타났다. 10,000톤급 연안 카페리선의 건조비용 보전가능기간은 약 5.3년으로 2020년에 LNG 추진선으로 교체 후, 5년 뒤인 2025년에 건조비용의 직접적인 지원이 없어도 투자비를 회수 할 수 있을 것으로 판단된다. 10,000톤급 연안 카페리선의 연간 연료비 비교를 종합하면 아래 <표 4-15>와 같다.

표 4-15 10,000톤급 연안 카페리선 연간 연료비 비교

단위: 억원

구분	시간당 유류비 (백만원)	디젤 추진선 연간 연료비 추정(a)	LNG 추진선		연간 연료비 차이 (a-b-c)
			연간 연료비(b)	병커링 비용(c)	
2020년	1.228	46.0	37.5	2.9	5.56
2021년	1.252	46.9	38.3	3.0	5.61
2022년	1.277	47.8	39.0	3.1	5.66
2023년	1.303	48.8	39.8	3.3	5.71
2024년	1.329	49.7	40.6	3.4	5.76
2025년	1.355	50.7	41.4	3.5	5.81
2026년	1.382	51.8	42.2	3.7	5.86
2027년	1.410	52.8	43.1	3.8	5.90
2028년	1.438	53.8	43.9	4.0	5.94
2029년	1.467	54.9	44.8	4.1	5.98
2030년	1.496	56.0	45.7	4.3	6.02
합계	-	559.3	456.4	39.1	63.82

주 : 병커링 비용은 본 연구에서 추정된 적당 병커링 소요량을 기반으로 적용(병커링 소요량(톤) × 톤 당 병커링 비용)

④ 13,000톤급 연안 카페리선

디젤 추진선의 연료비를 추정하면 2025년 79.5억, 2030년에는 87.8억 수준일 것으로 추정되었다. 반면, LNG 추진선의 경우 병커링 비용을 포함하여 2025년에 디젤 추진선 대비 약 6.9억 적은 72.6억 수준으로 추정되고, 2030년에는 약 6.8억원 적은 81억원 수준으로 추정되었다.

2020년에 LNG 추진선의 도입을 전제로, 향후 10년간의 운영비용 절감액은 76억원 수준으로 추정된다. 76억원 정도의 운영비용 절감액 추정 결과는 디젤 추진선과 LNG 추진선의 건조비용 차이 추정금액 45억원에 비해 매우 높게 나타났다. 13,000톤급 연안 카페리선의 건조비용 보전가능기간은 약 6.5년으로 2020년에 LNG 추진선으로 교체 후, 6년 뒤인 2026년에 건조비용의 직접적인 지원이 없어도 투자비를 회수 할 수 있을 것으로 판단된다. 13,000톤급 연안 카페리선의 연간 연료비 비교를 종합하면 아래 <표 4-16>과 같다.

표 4-16 13,000톤급 연안 카페리선 연간 연료비 비교

단위: 억원

구분	시간당 유류비 (백만원)	디젤 추진선 연간 연료비 추정(a)	LNG 추진선		연간 연료비 차이 (a-b-c)
			연간 연료비(b)	병커링 비용(c)	
2020년	2.346	72.0	58.8	6.3	6.93
2021년	2.393	73.4	59.9	6.6	6.94
2022년	2.441	74.9	61.1	6.8	6.95
2023년	2.490	76.4	62.3	7.1	6.95
2024년	2.539	77.9	63.6	7.4	6.95
2025년	2.590	79.5	64.9	7.7	6.94
2026년	2.642	81.1	66.2	8.0	6.92
2027년	2.695	82.7	67.5	8.3	6.90
2028년	2.749	84.4	68.8	8.6	6.87
2029년	2.804	86.0	70.2	9.0	6.84
2030년	2.860	87.8	71.6	9.4	6.80
합계	-	876.1	714.9	85.2	76.00

주 : 병커링 비용은 본 연구에서 추정된 적당 병커링 소요량을 기반으로 적용(병커링 소요량(톤) × 톤 당 병커링 비용)

⑤ 300톤급 연안 여객선

디젤 추진선의 연료비를 추정하면 2025년 12.1억, 2030년에는 13.4억 수준일 것으로 추정되었다. 반면, LNG 추진선의 경우 병커링 비용을 포함하여 2025년에 디젤 추진선 대비 약 1.4억 적은 10.7억 수준으로 추정되고, 2030년에는 약 1.4억원 적은 12억원 수준으로 추정되었다.

2020년에 LNG 추진선의 도입을 전제로, 향후 10년간의 운영비용 절감액은 15.27억원 수준으로 추정된다. 15.27억원 정도의 운영비용 절감액 추정 결과는 디젤 추진선과 LNG 추진선의 건조비용 차이 추정금액 7.2억원에 비해 높게 나타났다. 300톤급 연안 여객선의 건조비용 보전가능기간은 약 5.3년으로 2020년에 LNG 추진선으로 교체 후, 5년 뒤인 2025년에 건조비용의 직접적인 지원이 없어도 투자비를 회수 할 수 있을 것으로 판단된다. 300톤급 연안 여객선의 연간 연료비 비교를 종합하면 아래 <표 4-17>과 같다.

표 4-17 300톤급 연안 여객선 연간 연료비 비교

단위: 억원

구분	시간당 유류비 (백만원)	디젤 추진선 연간 연료비 추정(a)	LNG 추진선		연간 연료비 차이 (a-b-c)
			연간 연료비(b)	병커링 비용(c)	
2020년	0.659	11.0	9.0	0.7	1.33
2021년	0.673	11.2	9.2	0.7	1.34
2022년	0.686	11.4	9.3	0.8	1.36
2023년	0.700	11.7	9.5	0.8	1.37
2024년	0.714	11.9	9.7	0.8	1.38
2025년	0.728	12.1	9.9	0.8	1.39
2026년	0.743	12.4	10.1	0.9	1.40
2027년	0.757	12.6	10.3	0.9	1.41
2028년	0.773	12.9	10.5	0.9	1.42
2029년	0.788	13.1	10.7	1.0	1.43
2030년	0.804	13.4	10.9	1.0	1.44
합계	-	133.8	109.2	9.4	15.27

주 : 병커링 비용은 본 연구에서 추정된 적당 병커링 소요량을 기반으로 적용(병커링 소요량(톤) × 톤 당 병커링 비용)

⑥ 400톤급 연안 여객선의 경우

디젤 추진선의 연료비를 추정하면 2025년 6.8억, 2030년에는 7.5억원 수준일 것으로 추정되었다. 반면, LNG 추진선의 경우 병커링 비용을 포함하여 2025년에 디젤 추진선 대비 약 0.78억 적은 5.1억 수준으로 추정되고, 2030년에는 약 0.81억원 적은 6.8억원 수준으로 추정되었다.

2020년에 LNG 추진선의 도입을 전제로, 향후 10년간의 운영비용 절감액은 8.59억원 수준으로 추정된다. 8.59억원 정도의 운영비용 절감액 추정 결과는 디젤 추진선과 LNG 추진선의 건조비용 차이 추정금액 8.8억원에 비해 적게 나타났다. 400톤급 연안 여객선의 건조비용 보전가능기간은 약 11.3년으로 2020년에 LNG 추진선으로 교체 후, 11년 뒤인 2031년에 건조비용의 직접적인 지원이 없어도 투자비를 회수 할 수 있을 것으로 판단된다. 400톤급 연안 여객선의 연간 연료비 비교를 종합하면 아래 <표 4-18>과 같다.

표 4-18 400톤급 연안 여객선 연간 연료비 비교

단위: 억원

구분	시간당 유류비 (백만원)	디젤 추진선 연간 연료비 추정(a)	LNG 추진선		연간 연료비 차이 (a-b-c)
			연간 연료비(b)	병커링 비용(c)	
2020년	0.371	6.2	5.0	0.4	0.75
2021년	0.378	6.3	5.1	0.4	0.76
2022년	0.386	6.4	5.3	0.4	0.76
2023년	0.394	6.6	5.4	0.4	0.77
2024년	0.402	6.7	5.5	0.5	0.78
2025년	0.410	6.8	5.6	0.5	0.78
2026년	0.418	7.0	5.7	0.5	0.79
2027년	0.426	7.1	5.8	0.5	0.79
2028년	0.435	7.2	5.9	0.5	0.80
2029년	0.443	7.4	6.0	0.6	0.81
2030년	0.452	7.5	6.2	0.6	0.81
합계	-	75.3	61.4	5.3	8.59

주 : 병커링 비용은 본 연구에서 추정된 적당 병커링 소요량을 기반으로 적용(병커링 소요량(톤) × 톤 당 병커링 비용)

⑦ 4,500마력급 예인선

디젤 추진선의 연료비를 추정하면 2025년 3.5억, 2030년에는 3.9억 수준일 것으로 추정되었다. 반면, LNG 추진선의 경우 병커링 비용을 포함하여 2025년에 디젤 추진선 대비 약 0.3억 적은 3.2억 수준으로 추정되고, 2030년에는 약 0.3억 원 적은 3.6억원 수준으로 추정되었다.

2020년에 LNG 추진선의 도입을 전제로, 향후 10년간의 운영비용 절감액은 3.5억원 수준으로 추정된다. 3.5억원 정도의 운영비용 절감액 추정 결과는 건조비용 차이 추정금액 20억원에 비해 매우 낮게 나타났다. 건조비용 보전가능기간은 약 39.3년으로 2020년 도입 후 2060년에 건조비용의 직접적인 지원이 없어도 투자비를 회수 할 수 있을 것으로 판단된다. 예인선의 경우에는 신조선가에 대한 직접적인 지원 없이는 LNG 추진선의 도입이 불가능 할 것으로 판단된다. 4,500마력급 예인선의 연간 연료비 비교를 종합하면 아래 <표 4-19>와 같다.

표 4-19 4,500마력급 예인선 연간 연료비 비교

단위 : 억원

구분	시간당 유류비	디젤 추진선 연간 연료비 추정(a)	LNG 추진선		연간 연료비 차이 (a-b-c)
			연간 연료비(b)	병커링 비용(c)	
2020년	0.102	2.0	1.6	0.2	0.20
2021년	0.104	2.0	1.6	0.2	0.20
2022년	0.106	2.0	1.7	0.2	0.20
2023년	0.108	2.1	1.7	0.2	0.20
2024년	0.110	2.1	1.7	0.2	0.20
2025년	0.113	2.2	1.8	0.2	0.20
2026년	0.115	2.2	1.8	0.2	0.20
2027년	0.117	2.2	1.8	0.2	0.20
2028년	0.120	2.3	1.9	0.2	0.20
2029년	0.122	2.3	1.9	0.2	0.20
2030년	0.124	2.4	1.9	0.2	0.20
합계	-	23.8	19.4	2.2	2.17

주 : 병커링 비용은 본 연구에서 추정한 척당 병커링 소요량을 기반으로 적용(병커링 소요량(톤) × 톤 당 병커링 비용)

⑧ 100톤급 방제선

디젤 추진선의 연료비를 추정하면 2025년 0.033억, 2030년에는 0.037억 수준 일 것으로 추정되었다. 반면, LNG 추진선의 경우 병커링 비용을 포함하여 2025년에 디젤 추진선 대비 약 0.004억 적은 0.029억 수준으로 추정되고, 2030년에는 약 0.004억원 적은 0.033억원 수준으로 추정되었다.

2020년에 LNG 추진선의 도입을 전제로, 향후 10년간의 운영비용 절감액은 0.042억원 수준으로 추정된다. 0.042억원 정도의 운영비용 절감액 추정 결과는 디젤 추진선과 LNG 추진선의 건조비용 차이 추정금액 32억원에 비해 매우 낮게 나타나 직접적인 지원이 있더라도 LNG 추진선 도입 시 투자비 회수가 어렵다고 판단된다. 100톤급 방제선의 연간 연료비 비교를 종합하면 아래 <표 4-20>과 같다.

표 4-20 100톤급 방제선 연간 연료비 비교

단위: 억원

구분	시간당 유류비 (백만원)	디젤 추진선 연간 연료비 추정(a)	LNG 추진선		연간 연료비 차이 (a-b-c)
			연간 연료비(b)	병커링 비용(c)	
2020년	0.004	0.030	0.024	0.002	0.004
2021년	0.004	0.031	0.025	0.002	0.004
2022년	0.004	0.031	0.025	0.002	0.004
2023년	0.004	0.032	0.026	0.002	0.004
2024년	0.004	0.032	0.026	0.002	0.004
2025년	0.004	0.033	0.027	0.002	0.004
2026년	0.004	0.034	0.028	0.002	0.004
2027년	0.004	0.034	0.028	0.002	0.004
2028년	0.004	0.035	0.029	0.003	0.004
2029년	0.004	0.036	0.029	0.003	0.004
2030년	0.005	0.037	0.030	0.003	0.004
합계	-	0.365	0.298	0.026	0.042

주 : 병커링 비용은 본 연구에서 추정한 적당 병커링 소요량을 기반으로 적용(병커링 소요량(톤) × 톤 당 병커링 비용)

⑨ 300톤급 방제선

디젤 추진선의 연료비를 추정하면 2025년 1.7억, 2030년에는 1.8억 수준일 것으로 추정되었다. 반면, LNG 추진선의 경우 병커링 비용을 포함하여 2025년에 디젤 추진선 대비 약 0.19억 적은 1.5억 수준으로 추정되고, 2030년에는 약 0.2억원 적은 1.6억원 수준으로 추정되었다.

2020년에 LNG 추진선의 도입을 전제로, 향후 10년간의 운영비용 절감액은 2.1억원 수준으로 추정된다. 2.1억원 정도의 운영비용 절감액 추정 결과는 디젤 추진선과 LNG 추진선의 건조비용 차이 추정금액 64억원에 비해 매우 낮게 나타나 직접적인 지원이 있더라도 LNG 추진선 도입 시 투자비 회수가 어렵다고 판단된다. 300톤급 방제선의 연간 연료비 비교를 종합하면 아래 <표 4-21>과 같다.

표 4-21 300톤급 방제선 연간 연료비 비교

단위: 억원

구분	시간당 유류비 (백만원)	디젤 추진선 연간 연료비 추정(a)	LNG 추진선		연간 연료비 차이 (a-b-c)
			연간 연료비(b)	병커링 비용(c)	
2020년	0.050	1.5	1.2	0.1	0.18
2021년	0.051	1.5	1.2	0.1	0.18
2022년	0.052	1.6	1.3	0.1	0.18
2023년	0.053	1.6	1.3	0.1	0.19
2024년	0.054	1.6	1.3	0.1	0.19
2025년	0.055	1.7	1.4	0.1	0.19
2026년	0.056	1.7	1.4	0.1	0.19
2027년	0.057	1.7	1.4	0.1	0.19
2028년	0.059	1.8	1.4	0.1	0.19
2029년	0.060	1.8	1.5	0.1	0.20
2030년	0.061	1.8	1.5	0.1	0.20
합계	-	18.3	14.9	1.3	2.08

주 : 병커링 비용은 본 연구에서 추정한 적당 병커링 소요량을 기반으로 적용(병커링 소요량(톤) × 톤 당 병커링 비용)

디젤 추진선과 LNG 추진선의 연간 연료비용을 비교한 결과 10,000톤급 연안 카페리, 13,000톤급 연안 카페리, 300톤급 연안 여객선, 400톤급 연안 여객선은 건조비용의 보전기간이 비교적 짧아 선가지원 없이 유류비용만으로 투자비용의 회수가 가능할 것으로 추정되었다. 이에 반해 10,000톤급 연안 화물선, 20,000톤급 연안 화물선, 4,500마력급 예인선, 100톤급 방제선, 300톤급 방제선은 건조비용의 보전기간이 비교적 길기 때문에 유류비용만으로 투자비용의 회수기간이 길거나 어려울 것으로 추정되었다

각 선박의 유류비차이를 통한 건조비용 보전가능기간을 산출하면 10,000톤급 화물선 15.3년, 20,000톤급 화물선 22.8년, 10,000톤급 카페리 5.3년, 13,000톤급 카페리 6.5년, 300톤급 여객선 5.3년, 400톤급 여객선 11.3년, 예인선 39.3년의 순으로 나타났다. 방제선의 경우에는 선가차이가 크지만 연료비의 차이가 크지 않아 보전가능기간이 100년 이상으로 길게 나타났다. 선가 및 연료비 비교를 통해 산출한 결과를 종합하면 <표 4-22>와 같다.

표 4-22 분석대상선박 운영비용 추정 및 보전가능기간 산출

단위 : 억원

구분	선종	총톤수	디젤 추진선	LNG 추진선	10년간	선가차이	건조비용
			연간 연료비 추정(a)	연간 연료비 추정(b)	연료비 차이 (a-b)	(디젤선-LNG선)	보전가능 기간(년)
화물선		10,000톤급	306.7	271.7	34.99	52.5	15.3
		20,000톤급	258.5	229	29.49	65	22.8
카페리		10,000톤급	559.3	495.5	63.82	30	5.3
		13,000톤급	876.1	800.1	76.00	45	6.5
여객선		300톤급	133.8	118.6	15.27	7.2	5.3
		400톤급	75.3	66.7	8.59	8.8	11.3
예인선		4,500마력	23.8	21.6	2.17	20	39.3
방제선		100톤급	0.365	0.324	0.042	32	불가
		300톤급	18.3	16.2	2.08	64	불가

위의 보전가능기간을 통해 LNG 추진선 도입 시 우선순위를 도출하였다. 가장 높은 우선순위를 가지는 선박은 10,000톤급 카페리와 300톤급 여객선으로 나타났고, 13,000톤급 카페리, 400톤급 여객선, 10,000톤급 화물선, 20,000톤급 화물선, 4,500마력급 예인선의 순으로 뒤를 이었다. 방제선의 경우에는 손익분

기점이 100년 이상으로 길게 나타나 우선순위를 적용하지 않았다.

표 4-23 분석대상선박 LNG 추진선 도입 우선순위 도출 결과

단위 : 억원

구분		건조비용 보전가능기간(년)	LNG 추진선 도입 우선순위
선종	총톤수		
카페리	10,000톤급	5.3	1
여객선	300톤급	5.3	2
카페리	13,000톤급	6.5	3
여객선	400톤급	11.3	4
화물선	10,000톤급	15.3	5
	20,000톤급	22.8	6
예인선	4,500마력	39.3	7
방제선	100톤급	불가	-
	300톤급	불가	-

분석결과를 종합하면 LNG 추진선으로 교체 시 선가차이가 적어 디젤과 LNG의 연료비용 차이로 선가차이를 보전할 수 있는 선박이거나, 운항시간이 길어 디젤과 LNG의 연료비 차액이 큰 선박이 경제성이 경제성을 보유하고 있다고 판단된다.

제 5 장 결 론

5.1 연구의 요약

환경오염에 따른 기후변화의 심각성이 전 세계적인 이슈로 떠오름에 따라 환경오염의 주요 원인이 되는 유해가스 배출에 대한 환경규제가 강화되고 있다. IMO에서는 선박에서 발생하는 해양 수질오염, 해양 대기오염 등에 대한 환경협약인 MARPOL 73/78을 통해 선박연료 및 배출가스의 기준을 강화하여 황산화물(SOx), 매연, 미세먼지(PM) 등을 저감시켜 대기오염을 감소하고자 하였다.

강화되고 있는 규제에 대한 대응방안으로 후처리설비(Scrubber), 선박연료유의 저유황유 사용, LNG 추진선의 도입 등이 대안으로 제시되었고, 장기적인 측면에서 LNG 추진선의 도입이 가장 합리적인 대안이라고 평가되고 있다.

국내·외로 LNG 추진선이 보급되고 있는 추세이며, 에코누리호와 그린 아이리스호를 시작으로 국내에서도 연안을 운항하는 선박에 대한 LNG 추진선 도입이 긍정적으로 검토되고 있다. 연안을 운항하는 수많은 선박들을 대상으로 LNG 추진선을 동시에 도입하기는 불가능하기 때문에 본 연구에서 우리나라 연안을 운항하는 연안화물선, 연안카페리선, 연안여객선, 예인선, 방제선 등을 대상으로 하여 LNG 추진선의 도입 시 선종별 운영비용의 측면에서 경제적 효율성을 알아보고 효과적인 선종을 도출하여 선박 도입의 우선순위를 도출하고자 하였다.

LNG 추진선 도입의 우선순위를 도출하기 위해 먼저 국내 연안운송 선박을 화물선, 카페리선, 여객선, 예인선, 방제선 등으로 분류하고, 분석대상이 되는 선박을 선정하였다.

디젤 추진선에 대한 선가, 운항시간 및 연료비용에 대한 정보는 대상선박을 운영하는 업체의 인터뷰조사를 통하여 획득하였다. LNG 추진선에 대한 정확한 선박제원, 건조비용, 운영비용 등의 정보의 경우 획득하기 어렵기 때문에 LNG 추진선으로 교체 시 건조비용과 운영비용(유류비용, 뱅커링비용 등) 등에 대한 데이터는 추정을 통해 확보하였다.

건조비용의 경우 비슷한 톤급의 선박신조선가를 비교하여 추정하였다. 유류비용의 경우 디젤과 LNG의 연료가격의 차이를 적용하여 추정하였다. 병커링비용의 경우 병커링 수요와 톤당 LNG 충전비용을 추정하고, 각 선박의 병커링 수요추정치와 LNG 충전비용을 곱하여 병커링 비용을 산출하였다.

디젤 추진선과 LNG 추진선 연간 연료비를 추정하기 위해 각 선박의 시간당 유류비를 산출하고, 운항시간을 곱하여 디젤 추진선 연간 운영비용을 추정하였다. 디젤 추진선 운영비용에 연료비의 차이를 곱하고 병커링 비용과 합하여 LNG 추진선 운영비용을 도출하였다. 마지막으로 LNG 추진선으로 교체 시 선가차이와 연간 연료비 추정액의 차이를 통해 손익분기점을 도출하고, 손익분기점이 짧은 순서로 도입 우선순위를 도출하였다.

분석결과 가장 높은 우선순위를 가지는 선박은 300톤급 여객선이고, 15,000톤급 카페리, 10,000톤급 카페리, 400톤급 여객선, 13,000톤급 카페리, 10,000톤급 화물선, 20,000톤급 화물선, 4,500마력급 예인선의 순서로 우선순위가 도출되었다. 방계선의 경우에는 전체적으로 경제성이 없는 것으로 나타났다.

분석결과를 종합하면 LNG 추진선으로 교체 시 선가차이가 적어 연료비용의 차이로 선가차이를 보전할 수 있거나, 선가차이가 비교적 크더라도 운항시간이 길어 디젤과 LNG의 연료비 차액이 큰 선박이 경제성이 높다고 판단된다.

5.2 연구의 한계 및 향후 연구방향

본 연구에서는 국내 연안운항선박을 대상으로 분석하였지만 모든 선박을 대상으로 분석하지 못하였고, 연안 운항선박의 경우 중고선을 도입하는 경우가 대부분이기 때문에 한국해운조합의 공제등록선가를 사용하여 선박의 신조비용을 정확하게 파악하지 못하였다. 추가적으로 시간당 연료 사용량 계산 시 대형 선박의 경우 정박하고 있는 경우에도 엔진을 24시간 가동하지만 본 논문에서는 운항시간을 기준으로 사용량을 책정하였기 때문에 실제 시간당 사용량보다는 높게 계산되었을 것이라는 한계가 있다.

LNG 추진선 도입 시 선사의 입장에서 가장 부담이 되는 부분은 선가이다. 향후 연구에서는 운항중인 선박의 신조선가를 명확히 파악하고 비교할 필요성이 있다. 또한 선종별 대기오염물질의 전반적인 감소효과를 파악하고, 도입 우선순위 도출의 변수로 적용하여 환경규제에 효과적으로 대응 할 수 있을 것이다.



참고문헌

<논문>

강석환, 2018. 녹색해운 인프라 구축 우선순위 선정에 관한 연구 - LNG 추진선을 중심으로 -. 석사학위논문. 부산:한국해양대학교

김기동, 박소진, 최경식, 조병학, 오영삼, 조상훈, 차건중, 조원준, 성홍근, 2018. “해외 LNG빙커링 비즈니스 모델 분석” 한국가스학회지 22(1) pp. 37-44

김기동, 백영순, 권옥배, 이현찬, 이종연, 민지홍, 이경선, 홍상태, 박덕신, 2009. “선박용 청정에너지 적용을 위한 타당성 연구” 한국가스학회 학술대회논문집 pp. 20-25

김선태, 2015. 액화천연가스 연료 추진시스템을 적용한 중형 제품유 탱커의 경제성에 관한 연구. 석사학위논문. 부산:한국해양대학교.

남현정, 이태희, 2017. “미래 신해양산업으로서의 LNG연료추진선 현황과 경쟁력 제고방안에 대한 연구” 전문경영인연구 20(3) pp. 1-19

윤동하, 2009. 광양항 컨테이너터미널 리엔지니어링 우선순위 분석. 석사학위논문. 인천:인천대학교

이창식, 2015. LNG빙커링 산업 진출 전략에 관한 연구. 석사학위논문. 서울:한양대학교.

정태환, 강성길, 이종갑, 안준건, 2018. “국제해사기구(IMO) 선박온실가스(GHG) 배출규제 동향 및 국내 외 대응방안 소개” 대한조선학회지 55(4) pp. 48-54

조인교, 2011. On-Dock 서비스 도입을 위한 우선순위 선정에 관한연구 : 인천항 중심으로. 석사학위논문. 인천:인하대학교

<보고서>

김근섭, 김은수, 김정현, 이기열, 2015. “LNG 추진선 도입에 따른 항만의 대응전략”. KMI 기본연구 2015-10

김정현, 2013. “LNG 추진선의 도입 동향과 해운서비스시장의 변화” KMI 계간 해양수산 3(2) pp. 103-119

김환성, 김울성, 신영란, 2018. “울산항 예선 LNG 전환 적정성 연구” 울산항만공사

이호춘, 류희영, 2019. “IMO 배출가스 규제 강화에 대비한 국내 해운산업 대응 전략” KMI 현안연구 2018-30, pp. 1-81

이기열, 김근섭, 김보경, 2017. “우리나라 배출규제해역(ECA) 도입 방안 연구” KMI 현안연구 2017-32, pp. 1-97

한국조선해양기자재연구원, “노후 예인선의 LNG 연료추진 전환사업(안)”, 2018. p.19

한국해양수산개발원, 2017. “동북아 허브경쟁력 강화 위해 부산항 LNG 병커링 터미널 구축 서둘러야”, KMI 동향분석

한국해양수산개발원, 2019. KMI 주간해운시장포커스 vol.448

한국해운조합, “2019년도 내항화물 운송사업 등록업체”, 2019.06

한국해운조합, “2019년도 연안여객선 업체 현황”, 2019.06

Clarksons Research, “Shipping Review & Outlook” Spring 2019. ISSN: 1360-8061

Clarksons Research, “Shipping Intelligence Weekly Issue” No. 1,345 2018 08 26 ISSN: 1358-8028

Danfoss, “How to comply with new regulation for exhaust gas”, Feb. 2019

Drewry, “Monthly Analysis of the Shipping Markets”, 2012.01-2019.03

DNV Korea, “동남권 LNG 병커링 기본계획수립 연구”, 2013. p.45.

GL & MAN, “Costs and benefits of LNG as ship fuel for container vessels”, 2013.

LNG병커링 협의체, “LNG병커링 가격연구”, 2013.12 p.153

IMO, “Studies on the feasibility and use of LNG as a fuel for shipping”, 2016. p.41.

<웹사이트>

인천항만공사. “해상견학신청”. Accessed 2019.9.12. <https://www.icpa.or.kr/request/step1.do?menuKey=48#none>

한국LNG병커링산업협회. “ECA 지역”. Accessed 2019.9.13. http://www.kolbia.org/contents/sub_02_04.php

IMO. “Nitrogen Oxides (NOx) - Regulation 13”. Accessed 2019.9.13. [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93Regulation-13.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93Regulation-13.aspx)