creative commons
COMMONS DEED

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

dCollection

물류학석사 학위논문

울산항 최적 LNG벙커링 방안에 관한 연구

A Study on the Optimal Method of LNG Bunkering for Ulsan port

지도교수 류 동 근

2020년 02월

한국해양대학교 글로벌물류대학원

해운항만물류학과

김 동 휘

本 論文을 金東輝의 物流學碩士 學位論文으로 認准함

위원장 조 성 철 (인)

위 원 류 동 근 (인)

위 원 김 치 열 (인)

2019년 12월

한국해양대학교 글로벌물류대학원

Collection @ kmou

목 차

표 목차 ····· iii

그림 목차 ····· iv

Abstract ····· vi

국문초록 ····· viii

제1장 서론 ····· 1

1.1 연구의 배경 및 목적 ····· 1

1.2 연구의 방법 및 구성 ····· 2

제2장 이론적 고찰 ····· 4

2.1 LNG 벙커링의 기본 개념 ····· 4

2.1.1 LNG벙커링의 발전 배경 ····· 4

2.1.2 LNG벙커링의 기술적 개념 ····· 9

2.1.2.1 LNG의 특성 및 시장 동향 ····· 9

2.1.2.2 LNG연료 추진 선박의 개념 ····· 11

2.1.2.3 LNG벙커링 산업의 기본 개념 ····· 13

2.1.2.4 IMO 환경규제에 대응하기 위한 타 방안 분석 ····· 14

2.1.3 LNG벙커링의 현황 및 전망 ····· 22

2.1.3.1 LNG연료추진선박의 현황 및 전망 ····· 22

2.1.3.2 LNG벙커링 산업의 현황 및 전망 ····· 24

2.2 LNG 벙커링의 시행 방식에 대한 고찰 ····· 28

2.2.1 STS(Ship to Ship) ····· 28

2.2.2 PTS(Pipeline/Terminal to Ship) ····· 29

2.2.3 TTS(Truck to Ship) ····· 29

2.2.4 PTTS(Portable Tank To Ship) ····· 30

2.3 울산항 LNG 벙커링 산업 현황 및 전망 ····· 32

2.3.1 울산항의 현황 및 선박급유방법 ····· 32

2.3.1.1 울산항 현황 ····· 32

2.3.1.2 울산항의 관습적인 선박연료유 급유방법 ····· 34

2.3.2 울산항 LNG벙커링 산업 전망 ····· 34

Collection @ kmou

2.3.2.1 울산항의 LNG벙커링 수요 예측 ·····34
2.3.2.2 울산항의 LNG벙커링 시행 계획 ·····36
2.3.2.3 울산항에 적용 가능한 LNG벙커링 방식에 관한 고찰 ·····37

제3장 연구방법 및 연구설계 ·····39
3.1 AHP기법에 대한 고찰 ·····39
3.1.1 AHP 분석의 개념 ·····39
3.1.2 AHP의 분석 및 절차 ·····40
3.2 연구 설계 및 설문 조사 ·····41
3.2.1 연구 설계 ·····41
3.2.2 설문 조사 설계 및 시행 ·····43

제4장 연구 분석 결과 ·····46
4.1 연구 분석 결과 ·····46
4.1.1 의사결정 기준 간의 상대적 중요도 분석 결과 ·····46
4.1.2 의사결정 대안 간의 상대적 선호도 분석 결과 ·····47
4.1.3 의사결정 기준과 대안 간의 종합 분석 ·····47
4.2 종합적인 분석 ·····49

제5장 결론 ·····50
5.1 연구 요약 및 의의 ·····50
5.2 한계점 및 향후 연구 과제 ·····51

참고문헌 ·····52

Collection @ kmou

<표 목차>

Table 1 주요 국가별 온실가스 배출량 감축 목표 ·····5
Table 2 LNG 대비 에너지원별 오염물질 배출 지수 ·····10
Table 3 대안별 배출가스 감소량 ·····21
Table 4 대안별 장단점 ·····21
Table 5 LNG벙커링 방식별 장단점 ·····31
Table 6 2018년 울산항 입항 실적 ·····33
Table 7 울산항 총괄 접안 능력 ·····33
Table 8 LNG bunkering demand forecast for Ulsan port ·····35
Table 9 LNG벙커링 도입시 고려할 상위기준 및 하위기준 ·····42
Table 10 의사결정 기준과 대안의 종합중요도 ·····48
Table 11 직군별 종합중요도 ·····49

Collection @ kmou

<그림 목차>

Fig. 1 해운시장 수급추이 및 전망 ····6
Fig. 2 황함유량 제한 이행 계획 ····7
Fig. 3 2MDO 대비 NG의 배기가스 배출량 ····8
Fig. 4 2040년 에너지원별 수요 전망 ····9
Fig. 5 세계 천연가스 분포 ····11
Fig. 6 LNG 연료공급 시스템 ····13
Fig. 7 중유 제조 공정도 ····15
Fig. 8 중유 제품 배합 ····15
Fig. 9 해수기반 배기가스 세정 장치 ····16
Fig. 10 청수기반 배기가스 세정 장치 ····17
Fig. 11 Hybrid 배기가스 세정 장치 ····18
Fig. 12 선택적 촉매 환원 장치(SCR) ····19
Fig. 13 배기가스 재순환장치 (EGR) ····20
Fig. 14 LNG연료추진선박 운항현황 및 전망 ····23
Fig. 15 선종별 LNG연료추진선박 운항현황 및 전망 ····23
Fig. 16 지역별 LNG연료추진선박 운항현황 및 전망 ····24
Fig. 17 Rotterdam항 Gate 터미널 ····25
Fig. 18 싱가폴 LNG인프라 ····26
Fig. 19 에코누리호 ····27
Fig. 20 Ship to Ship ····28
Fig. 21 Pipeline to Ship ····29
Fig. 22 Truck to Ship ····30
Fig. 23 Standard LNG Bunkering Options ····30
Fig. 24 울산항 연도별 화물처리량 ····32
Fig. 25 울산항 항세도 ····37
Fig. 26 선택문제의 계층구조화 ····40
Fig. 27 AHP 이원비교 비율척도표 ····41
Fig. 28 울산항 최적 LNG벙커링 방안 우선순위 도출 문제 계층구조화 ····43
Fig. 29 직군별 응답 비율 ····44

Collection @ kmou

Fig. 30 직급별 응답 비율 ·····44
Fig. 31 근무경력별 응답 비율 ·····45
Fig. 32 의사결정기준간의 상대적 중요도 ·····46
Fig. 33 의사결정 대안 간의 상대적 선호도 ·····47

Collection @ kmou

A Study on the Optimal Method of LNG Bunkering for Ulsan port

KIM DONGHWI

Department of Shipping and Port Logistics

Graduate School of Global Logistics

Korea Maritime and Ocean University

Abstract

Exhaust gases emitted from petroleum-based fuels in each industry contain harmful components, which threaten the health of people around the world and can lead to premature death. This causes huge social costs in each country. In addition, air pollutants are causing damage to resources essential to human life such as soil and water, and natural disasters such as global warming are caused by greenhouse gases.

The international community is actively moving to prevent the destruction of the environment by air pollutants. The real response is led by the United Nations. The United Nations continues to discuss international standards for countermeasures against climate change through the UNFCCC. The Kyoto Protocol was adopted at the UNFCCC Third Meeting of Contracting Parties to impose obligations on major developed countries to reduce emissions of air pollutants. The 21st Meeting of Contracting Parties adopted the Paris Climate Change Convention to impose certain reduction obligations on all Parties.

As the international community's efforts are being made to reduce air pollutants in marine emissions from shipping and marine fields.

Collection @ kmou

Due to the nature of the shipping industry, the border is ambiguous and the relationship between the ship's nationality is complicated. For this reasons, environmental regulation in international shipping is led by the International Maritime Organization (IMO). IMO revised Chapter 6 of the International Marine Pollution Prevention Convention (MARPOL) to provide Ship Energy Efficiency Design Index (EEDI) and Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) were mandated. In addition, major sea areas are designated as ECA (Emission Control Area), which strictly limits the pollutant content of the exhaust gas. In response to the IMO's environmental regulations, governments, shipping, ports, and shipbuilding industries in each country have been struggling to cope with the regulation. Measures to reduce emissions include the use of low sulfur oil (LSFO), post-treatment units, exhaust gas recirculation unit, catalytic reduction unit, LNG fueled vessel, etc. LNG fueled vessel is receiving the most attention. In order to operate LNG fueled vessels, the introduction of the LNG bunkering industry that supplies LNG to LNG fueled vessel is essential. Currently, the industry is developing on a small scale in major Europe ports, Singapore, and Japan, but the LNG fueled vessels and LNG bunkering industry is expected to develop further after 2020, when environmental regulations take effect.

Korea is also implementing various policies and investments to foster the LNG bunkering industry. This study studied the optimal method for applying LNG bunkering industry to Ulsan Port, which is a major port in Korea.

LNG bunkering methods include STS (Ship to Ship), PTS (Pipeline to Ship), TTS (Truck to Ship), PTTS (Portable Tank to Ship), among them, the research based on the AHP technique selected suitable priorities for the Ulsan Port. As a result, experts in the shipbuilding, shipping and port sectors put the cost aspect in the actual implementation of LNG bunkering. At present, the STS method, which is the main method of supplying fuel oil (bunker C oil) to ships, is expected to be the most efficient way to implement LNG bunkering. In addition, in order to preoccupy the port of LNG bunkering hub in Northeast Asia, it is necessary to establish a service infrastructure to enable LNG bunkering in all manner.

Collection @ kmou

울산항 최적 LNG벙커링 방안에 관한 연구

김 동 휘

한국해양대학교 글로벌물류대학원
해운항만물류학과

초 록

각 산업분야에서 석유계 연료를 사용할 시 배출되는 배기가스에는 인체에 유해한 성분이 포함되어 있어 세계인의 건강을 위협하고 심하면 조기사망에 이르게 되는 경우도 발생한다. 이로 인해 각 국에서는 막대한 사회적 비용이 발생되고 있다. 또한 대기오염물질에 의해 토양과 수질의 오염 등 인류의 생활에 필수적인 자원에도 피해가 발생하고 있으며, 온실가스에 의해 지구온난화 등의 자연재해가 빈번하게 발생중이다.

대기오염물질에 의한 환경의 파괴를 막기 위해 국제사회는 적극적인 움직임을 보여주고 있다. 그 실질적인 움직임은 국제연합(UN)이 주도하고 있다. 국제연합은 UNFCCC(UN기후변화협약)을 통해 기후변화의 대책에 대한 국제적인 기준을 지속적으로 논의 중이다. UNFCCC 제3차 당사국 회의에서 교토의정서가 채택되어 주요 선진국들의 대기오염물질 배출에 대한 저감 의무를 부과하였고, 제21차 당사국회의에서 파리기후변화협약을 채택하여 당사국 전체에 일정한 저감 의무를 부과하였다.

이러한 국제사회의 움직임에 따라 해운·해양 분야에서도 선박에 기인한 해양배출가스의 대기오염물질들을 저감하기 위한 노력을 하고 있다. 해운산업의 특성상 국경의 개념이 적용되기 어렵고 선박국적의 관계도 복잡하다. 이러한 이유로 국제해운에서의 환경규제는 국제해사기구(IMO)의 주도로 이루어진다.

Collection @ kmou

IMO에서는 국제해양오염방지협약(MARPOL)의 부속서 6장을 개정하여 선박 에너지 효율 설계지수(EEDI)와 선박 에너지 효율관리 계획서(SEEMP)를 강제화하였다. 또 주요 해역을 ECA(Emission Control Area, 배출가스 통제해역)로 지정하여 해양 배출가스의 오염물질 함유량을 철저히 제한하고 있다.

이러한 IMO의 환경규제에 대응하여 각국 정부 및 해운, 항만, 조선 산업분야도 대책을 고심하게 되었다. 고안된 배출가스 저감 대책으로는 저유황유(LSFO)의 사용, 후처리장치(SCRUBBER)설치, 배기가스 재순환 장치, 촉매환원장치, LNG연료추진선박의 도입 등의 대책이 있으며, 이 중 경제성 및 효율성 측면에서 LNG연료추진선박의 도입이 가장 주목받고 있다. LNG연료추진선박을 운항하기 위해서는 LNG연료를 보급하는 LNG벙커링 산업의 도입이 필수적이다. 현재는 유럽 주요 항만과 싱가폴, 일본 등에서 소규모로 산업이 발전하고 있지만 환경규제가 본격적으로 발효되는 2020년을 이후로 LNG연료추진선박과 LNG벙커링 산업은 더욱 발전할 것으로 예상된다.

우리나라에서도 LNG벙커링 산업을 육성하기 위해 다양한 정책과 투자를 시행 중에 있다. 본 연구는 국내 및 동북아 액체화물처리량 1위인 울산항에 LNG벙커링 산업을 적용하기 위한 최적 방안을 연구하였다.

LNG벙커링 방식은 크게 STS(Ship to Ship), PTS(Pipeline/Terminal to Ship), TTS(Truck to Ship), PTTS(Portable Tank to Ship)이 있으며, AHP기법을 토대로 한 연구를 통해 울산항에 적용하기 적합한 우선순위를 선정해 보았다. 연구결과 조선, 해운, 항만 분야 전문가들은 LNG벙커링을 실제로 시행하는데 있어서 비용적인 측면을 가장 중요시 여겼으며, 현재 울산항에서 선박 연료유(벙커 C유)를 급유하는 주요 방식인 STS방식을 LNG벙커링 시행 시에도 가장 효율적인 방안이 될 것으로 보았다. 또한 동북아 LNG벙커링 허브 항만을 선점하기 위해서는 모든 방식의 LNG벙커링이 가능하도록 서비스 인프라를 구축하는 노력이 필요하다고 생각된다.

Collection @ kmou

제1장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

지구온난화, 각종 자연재해, 조기 사망자 증가 등 석유계 연료 배기가스에 포함된 대기오염물질은 지구 환경과 인류 생존에 커다란 악영향을 끼치고 있다. 이러한 문제들로 세계 전역에서는 막대한 피해와 처리 비용이 발생하고 있다.

이러한 대기오염 물질에 의한 환경오염과 기후변화는 한 국가의 문제만이 아니고 전 세계적인 문제로 인식되고 있다. 국제사회는 대기오염과 기후변화에 대응하기 위해 대기오염물질 저감을 위한 대책을 지속적으로 논의 중이다. 국제연합의 주도 하에 기후변화의 대책에 대한 국제적인 기준인 UNFCCC(United Nations Framework Convention On Climate, 유엔 기후 변화 협약)를 채택한 것이 대표적인 기후변화에 대한 대책이라고 볼 수 있다. UNFCCC 제3차 당사국 총회에서 교토의정서(1997년 채택, 2018년 까지 유효)가 채택되어 주요 선진국들에게 대기오염물질 저감의 의무를 부과하였다. 그 후 제21차 당사국 총회에서 파리기후변화협약(2015년 채택)을 채택하고 당사국 모두에게 일정한 대기오염물질 저감 의무를 부과하였다. 파리기후협약은 2020년부터의 지구온난화에 대한 대책의 기준이며, 세계평균기온 상승을 산업화 이전 세계평균기온 대비 2℃ 미만으로 억제한다는 내용이 주를 이룬다.

이러한 국제적인 움직임에 발맞추어 해운 및 해양 산업 분야에서도 대기오염과 기후변화에 대응한 움직임을 보이고 있다. 해운산업의 특성상 국제해운의 선박기인 해양배출가스 규제는 각 국가가 아닌 국제해사기구의 주도로 이루어지고 있는 실정이다. 국제해사기구는 국제 해양 오염 방지 협약(International Convention for the Prevention of Marine Pollution from Ship : MARPOL 협약)의 부속서 6장의 내용을 수정해서 에너지 효율 설계지수(EEDI : Energy Efficiency Design Index)와 에너지 효율 관리 계획서(SEEMP: Ship Energy Efficiency Plan)을 강제하였다. 더불어 배기가스의 황 함유량에 대한 규제를 더욱 강화한 ECA(Emission Control Area)해역을 지정하였으며, ECA의 범위를 더욱 확장하고 있는 실정이다. ECA해역 내에서는 황함유량을 0.1% 이하로 규제하고 있으며,

Collection @ kmou

2020년부터는 전 세계 모든 해역에서 황 함유량을 0.5% 이하로 규제하기로 하였다.

이러한 국제적인 환경규제 동향에 대응하여 해운, 항만, 조선 산업분야 에서도 대기오염물질 저감에 대한 대책을 강구하게 되었고 대표적인 대안들로서 저유황유(LSFO)의 활용, 후처리장치(SCRUBBER)설치, 배기가스재순환 장치(EGR), 촉매환원장치(SCR), LNG연료추진선박의 도입 등의 방안이 대두되었고, 경제성 및 효율성 측면에서 LNG연료추진선박의 도입이 가장 주목받고 있다.

LNG연료추진선박의 도입이 본격화 되면 LNG연료추진선박에 LNG를 연료로 보급하기 위한 LNG벙커링 산업이 필수적으로 수반되어야 한다. 이미 유럽 주요 항만 및 일본, 싱가폴 등지에서는 LNG연료추진선박이 운항중이며 LNG벙커링도 지속적으로 시행중이다. 유럽, 미국, 일본 등 주요국은 이러한 변화에 발맞추어 LNG벙커링 산업의 활성화와 관련 인프라 구축에 많은 연구와 투자를 시행하고 있다. 우리나라에서는 아직 실제적인 LNG벙커링이 이루어지지는 않고 있으나 LNG를 취급하는데 충분한 노하우와 기술력을 갖추고 있어 국내 주요항만에서 LNG벙커링 산업의 발전이 기대되고 있다.

특히 국내 액체화물처리량 1위의 울산항은 액체화물처리에 대한 노하우와 충분한 선박 통항량이 확보되어 있어 LNG벙커링 산업 도입 및 발전을 위한 정부 및 기업의 적극적인 연구와 투자가 진행 중이다.

본 연구는 국내 주요항만인 울산항에서 세계적인 추세인 LNG벙커링 산업의 도입을 전망해 볼 예정이다. 또한 대표적인 LNG벙커링 방식인 STS(Ship to Ship), PTS(Pipeline/terminal to Ship), TTS(Truck to Ship), PTTS(Portable Tank to Ship)들 중 울산항에 적용하기 최적의 방안을 우선 순위로 도출하는 연구를 실시하였다.

1.2 연구의 방법 및 구성

본 연구에서는 국내·외의 문헌조사를 통하여 국내·외의 LNG벙커링의 기본개념, LNG벙커링의 시행 방식, LNG산업 전반의 현황과 LNG연료추진선박의 현황과 전망에 대해서도 고찰하였다. 최종적으로는 선행연구들을 통해 파악한 LNG벙커링 시행방식들 중 울산항에서 적용 가능한 방안들의 우선순위를 연구를 통하여 도출하고자 한다.

연구를 위해서 AHP분석 기법을 활용하였고, 설문 조사를 통한 자료를 바탕으로 분석을 시행하였다. 설문 조사의 대상자들은 울산지역 위주의 조선, 해운, 해양 분야 공공기관 및 연구기관, 기업체의 종사자 및 전문가로 선정하였다.

Collection @ kmou

본 연구는 총 5 장으로 구성되었으며, 크게는 서론, 본론, 결론으로 구성되어 있다. 본론 부분은 선행 연구를 바탕으로 한 이론적 고찰과 연구를 통한 실증적 분석으로 이루어져 있다. 세부적으로는 아래와 같이 구성되어 있다.

제1장은 서론으로 연구의 배경 및 목적 그리고 연구의 방법 및 구성을 서술하였다.

제2장은 이론적 배경으로, LNG벙커링의 기본개념에 대해 정립하였다. LNG벙커링 산업의 도입 배경에 대해 설명하고, LNG벙커링의 기술적인 기본 개념에 대해 확인해 보았다. 또 LNG벙커링을 실제로 시행하는 방법들에 대해 고찰하였다. 아울러 LNG벙커링 산업과 따로 분리하여 생각할 수 없는 세계 LNG시장에 대한 분석과 전망, LNG연료추진선박 시장의 현황과 전망에 대해서도 함께 고찰해 보았다. 그리고 국내 주요항만인 울산항의 현황 및 상세사항에 대해 살펴보고 선행연구를 참조하여 울산항의 LNG벙커링 수요에 대해서도 고찰해 보았다.

제3장은 실증적 연구로서, 본 연구의 분석 기법인 AHP분석 기법에 대한 개요를 설명하고, 최적 LNG 벙커링 방식의 우선순위를 도출하기 위한 기준이 되는 의사결정기준과 의사결정대안을 설정하여 AHP 모형을 설계하였다. 이후 상기에 기재한 바와 같이 설문조사 대상자들을 선정하고 설문 조사를 시행하여 응답결과를 분석하였다.

제4장은 분석된 AHP 결과를 가지고 의사결정기준, 의사결정대안들 간의 상대적 중요도 및 상대적 선호도를 도출하였고 최종적으로 각 요소 간의 종합중요도를 평가하였다. 이를 통하여 울산항에 적용 가능한 LNG벙커링 시행방식의 우선순위를 도출하였다.

제5장은 결론으로 본 연구 결과의 요약과 의의, 본 연구의 한계 및 향후 연구과제에 대해 서술하였다.

Collection @ kmou

제2장 이론적 고찰

2.1 LNG 벙커링의 기본 개념

2.1.1 LNG 벙커링의 발전 배경

석유 연료의 배기가스에 포함된 대기오염 물질들은 환경오염과 지구온난화 등 지구의 환경과 기후에 심각한 영향을 미치고 있다. 각종 산업의 대기오염 물질 배출로 인해 유럽에서는 연간 5만 여명의 인명피해와 수 백억 유로에 달하는 비용이 지출되고 있다. 대기 중에서 화학적인 반응에 의해 황산화물(SOx) 및 질소산화물(NOx)은 질산염이나 황산염 연무의 형태로 변형된다. 이러한 작은 미세먼지들은 호흡기를 통하여 체내로 흡수되며 폐나 심장, 주요 장기에 질환을 일으키는 등 인체에 악영향을 미치며, 심한 경우에는 조기 사망의 원인이 되기도 한다.

황산화물(SOx) 및 질소산화물(NOx)은 인체에 유해한 영향을 미치는 것뿐만 아니라 물과 토양 등 인류의 생존과 생활에 필수적인 자원도 오염시켜 문제를 야기하고 있다. 질소산화물(NOx)의 경우 오존을 생성하여 지구온난화를 유발시키고 있으며, 육상표층수나 해안지역의 생물의 생존에 악영향을 끼치는 부영양화를 유발한다. 또 이산화탄소(CO2), 오존 등의 온실가스들은 지구온난화를 유발하여 폭풍, 해일, 허리케인, 빙하의 해빙으로 해수면 상승 등의 각종 자연재해의 원인으로 지목되고 있다.

이러한 피해를 방지하기 위하여 많은 국가들이 각종 산업 및 일상생활에서 배출되는 배기가스의 오염물질 저감을 위해 노력 중이며, 그 실질적인 움직임으로 국제연합(UN)은 기후변화의 대책에 대한 국제적인 기준인 UNFCCC(United Nations Framework Convention On Climate, 유엔 기후 변화 협약) 하에서 지속적으로 대책을 논의 중이다. UNFCCC 제 3차 당사국 총회에서 교토의정서(1997년 채택, 2018년까지 유효)가 채택되어 주요 선진국들에 대한 온실가스 등 대기오염 물질 저감에 대한 의무를 부과하였고, 제21차 당사국 총회에서는 당사국 모두에게 일정 의무를 부과하는 파리 기후변화 협약(2015년 채택, 2020년 이후의 기후 변화 대책의 기준)이 채택되었다. 파리 기후 변화 협약에서는 세계 평균기온 상승을 산업화 이전 기후 대비 2℃ 미만으로 억제하는 것을 목

Collection @ kmou

표로 산출된 온실가스 배출량을 명시하고 실제 배출량을 목표치 이하로 저감할 것을 규정하고 있다.

Table 1. 주요 국가별 온실가스 배출량 감축 목표

주요국	중국	2030년까지 GDP당 배출량을 60~65% 감축(2005년대비), 2030년경에 배출량 피크아웃
	미국	2025년까지 배출량을 26-28% 감축(2005년 대비)
	EU	2030년까지 배출량을 40% 감축 (1990년 대비)
	인도	2030년까지 GDP 당 배출량을 33-35% 감축(2005년 대비)
	러시아	2030년까지 배출량을 25-30% 감축 (1990년 대비)
	일본	2030년까지 배출량을 26% 감축 (2013년 대비) [2005년 대비 25.4% 감축]

주 : UNFCCC 사무국 홈페이지, 제37회 ICAO 총회결의.

자료 : 김은주(2018:240), “IMO의 국제해운부문 온실가스 배출규제의 개선방향에 관한 연구”, 「지식산업연구」, 제41권 제1호, 경남대학교 산업경영연구소.

2007년 기준 해운분야에서는 전 세계 CO2배출량의 약 3.3%를 배출하였고 그 총량은 약 10억 4,600만 톤에 달한다.[1] 선박을 이용한 화물의 운송은 타 운송 수단에 비해 연료의 효율성이 높은 편이나, 세계 경제의 발전과 세계화의 확산으로 국제무역이 발달하였고, 전 세계 운항 선박의 수가 증가하였다. 이에 따라 해운에서 기인한 대기 오염물질의 양도 증가하는 추세이다. 선박을 이용한 물류의 운송은 전 세계 물동량의 70% 이상을 차지하고 있으며, 전 세계에서 운항하는 선박 척수 및 총 선복량도 꾸준한 증가 추세에 있다. 이러한 이유로 국제해상수송 분야에서 기인하는 해양 배출 가스도 대기 오염의 원인 중 하나로 지목되고 있는 실정이다.

1) 김은주(2018:241), “IMO의 국제해운부문 온실가스 배출규제의 개선방향에 관한 연구”, 「지식산업연구」, 제41권 제1호, 경남대학교 산업경영연구소.

Collection @ kmou

자료 : Clarkson, IMF, 2017년 이후 선복량 및 물동량 산업은행 추정

Fig. 1 해운시장 수급추이 및 전망

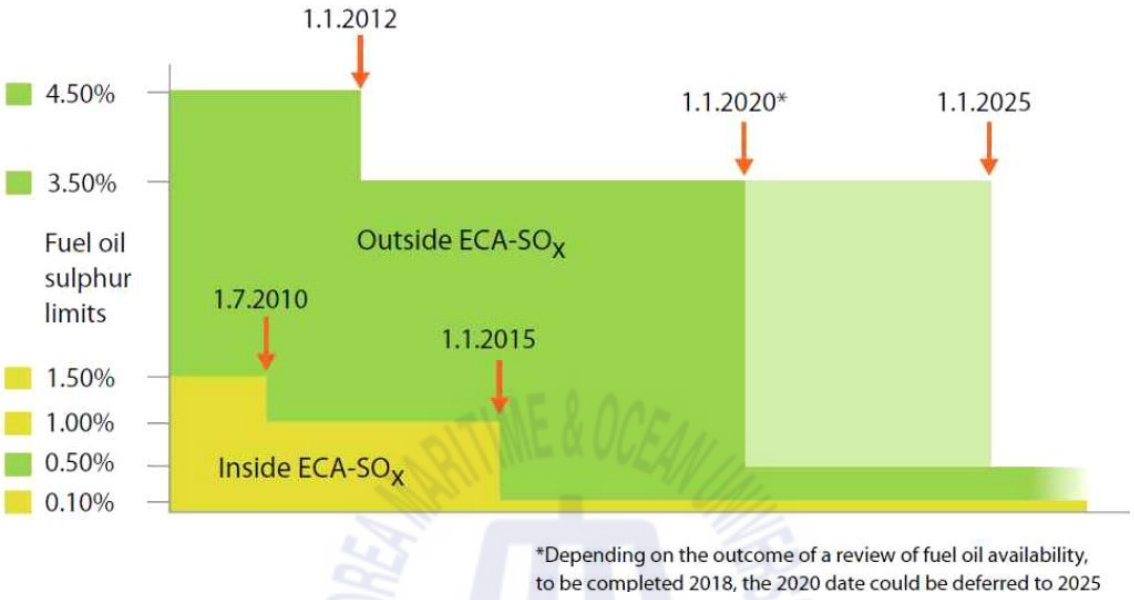
상기와 같은 이유로 해운·해양 분야에서도 국제해운 선박의 해양배출가스에 기인한 대기오염을 줄이기 위해 노력 중이다. 해운 산업의 특성상 국경의 개념이 없고, 편의치적선(FOC) 등의 개념으로 인해 각 국가 별로 선박의 해양 배출 가스에 대한 규제를 시행하는 것은 실질적인 어려움이 많아 IMO의 통제하의 국제적인 규제가 이루어지고 있는 실정이다. IMO가 1973년 체결한 국제 해양 오염 방지 협약(International Convention for the Prevention of Marine Pollution from Ship : MARPOL 협약)에 따라 채택된 1978년의 의정서(regulation for the prevention of air pollution from ships)에는 선박 기인 대기오염 방지 규제에 대한 내용을 MARPOL의 ANNEX VI으로 추가한 것이 IMO가 처음으로 규제를 시작한 것이라 볼 수 있다.

IMO 산하 해양환경보호위원회(MEPC : Marine Enviorenment Protection Committee)에서는 2011년 제 62차 회의에서 MARPOL 협약의 ANNEX VI를 개정하여 에너지 효율 설계지수[2]와 에너지 효율 관리 계획서[3]을 강제하였다. 이는 선박의 연료 효율 증대를 통하여 선박에서 기인하는 해양 배출 가스를 저감하려는 대책이다. 더불어 배기가스의 황 함유량에 대한 규제를 더욱 강화한 해역인 ECA(Emission Control Area)를 지정하였으며, 해당 해역으로는 발틱해(Baltic Sea), 북해(North Sea), 북미 해역이 현재 지정되어 있으며, 발틱해(Baltic Sea)와 북해(North Sea)는 황 함유량을 주로 규제하고 있고, 북미 해역은 질소산화물 까지도 규제하고 있다. 또 세계 주요 항만에서 ECA를 적용하려는 움직임

2) EEDI : Energy Efficiency Design Index
3) SEEMP : Ship Energy Efficiency Plan

Collection @ kmou

이 활발한 실정이다. 홍콩, 중국, 일본 등 선박의 입,출항이 많은 국가의 항만에서도 ECA를 적용하려 하고 있다. 현재 ECA 해역 내에서는 해양배출가스의 황 함유량을 0.1% 이하로 규제하고 있고, 2020년부터는 전 세계 모든 해역에서 황 함유량을 현행 3.5%에서 0.5% 이하로 규제하기로 하였다.



자료 : Lloyd's Register(2012:6), "LNG-fuelled deep sea shipping-The outlook for LNG bunker and LNG-fuelled newbuild demand up to 2025".

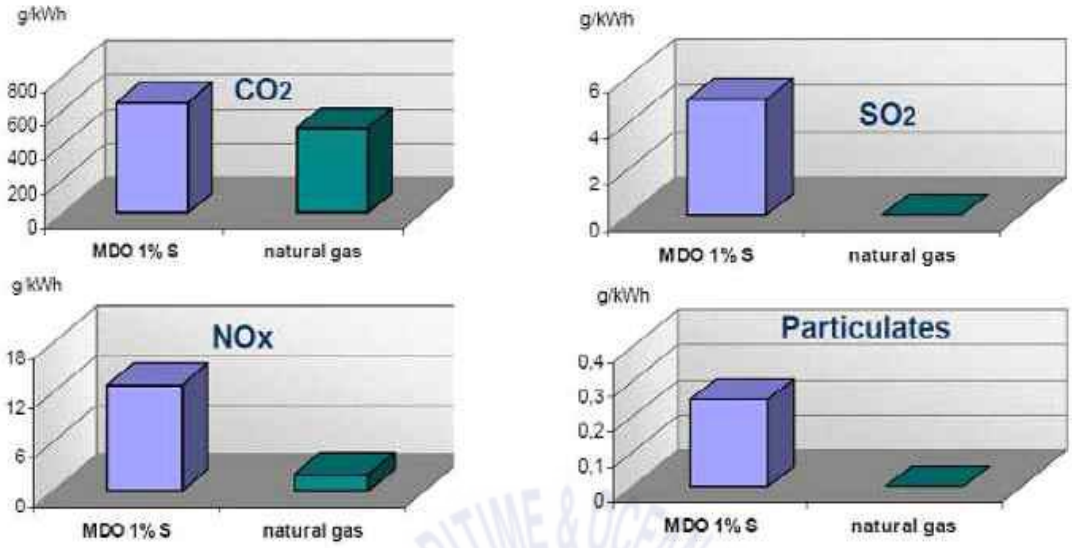
Fig. 2 황함유량 제한 이행 계획

이러한 국제해상수송 분야에서의 대기 오염물질 저감 규제에 대응하여 각 국의 정부 및 해운·항만 분야 기업은 여러 가지 대안을 고민 중이다. 대표적인 방안으로는 저유황유(LSFO : Low Sulfer Fuel Oil)의 활용, 해양배출가스 탈황장치(Scrubber)의 장착, LNG 연료추진선박 등의 개념이 있으며, 그 중 경제성 및 효율성의 측면에서 LNG연료추진선박의 도입이 가장 주목받고 있다. LNG는 친환경 연료이며 전 세계적인 매장량이 풍부하고, 최근 미국을 중심으로 한 셰일가스[4] 등의 개발로 충분한 물량의 확보와 저렴한 가격의 형성 등 선박의 연료로 활용하기에 적합한 조건을 갖추고 있다. LNG를 연료로 활

4) 모래와 진흙 등이 단단하게 굳어진 퇴적암 지층인 셰일층에 매장되어 있는 천연가스이다. 일반적으로 시추되는 천연가스에 비해 깊은 지층에 매장되어 있다. 셰일지층(shale, 혈암)에는 과다한 양의 질소와 황화합물을 함유하고 있어 정제법에 있어 석유와 다르다.

Collection @ kmou

용할 경우 현존 석유연료 대비 온실가스 배출량 20%, 질소산화물 80% 이상, 황산화물 90% 이상을 감축할 수 있고, 미세먼지(PM)의 배출도 대폭 감축할 수 잇다.



자료 :김종현 외(2015:14), “LNG연료추진선 및 벙커링 기술로드맵”, 한국산업기술평가관리원.

Fig. 3 MDO 대비 NG의 배기가스 배출량

이러한 상황으로 LNG연료추진선박에 LNG를 연료로 공급하기 위한 LNG벙커링 산업이 출현하게 되었고, 현재 유럽의 주요 항만 및 일본, 싱가폴 등의 국가에서는 이미 LNG벙커링 산업이 시행되고 있다. 유럽, 미국, 일본 등 주요 국가에서는 LNG벙커링 산업의 도입과 인프라 발전을 위해 정부 및 기업의 적극적인 투자와 개발이 이루어지고 있다.

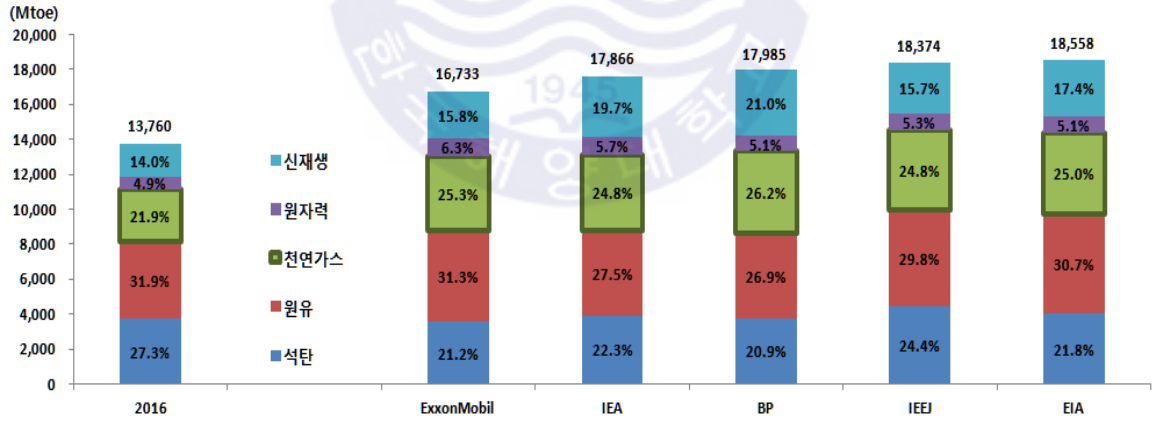
Collection @ kmou

2.1.2 LNG벙커링의 기술적 개념

2.1.2.1 LNG의 특성 및 시장동향

LNG란 액화천연가스(Liquefied Natural Gas)의 약자로서 가스전에서 산출한 천연가스를 수송이 용이하도록 액화 장치에 의해 초저온(-163℃)으로 냉각시켜 액화한 것이며 주성분은 메탄(CH4)이다. 비점은 -161.5℃ 이며 가스 비중은 상온에서 약 0.55, 저온(-140℃)에서는 1.28 정도이므로 상온상태에서 공기보다 가볍고, 저온상태에서 공기보다 무겁다. 가스와 액체의 용적비가 약 600으로 가스를 액화시키면 체적이 1/600로 줄어든다. 무색, 무취, 무독성, 무부식성, 인화성 등의 특성을 가지고 있다. LNG는 가스상태보다 용적이 매우 작아지므로 보관과 수송에 용이한 특성을 가지고 있고, 온도를 높이면 기화하여 다시 가스의 형태로 되며 높은 발열량과 연소성을 가지고 있다. 이러한 특성으로 각종 산업 혹은 기기의 기관 등에 연료로써 사용하기에 적합하다.

세계의 에너지 전망 기관들에 의하면 상기와 같은 특성을 가진 LNG는 2040년경을 전후로 석탄을 제치고 원유에 이은 세계 제 2위의 에너지원으로 부상할 전망이다.[5)]



주 : 각 기관별 전망치(2017.9~2018.2), 한국가스공사(2018.4)

자료 : 이선화(2018:92), “글로벌 LNG시장 변화에 따른 기회와 대응”, 「산은조사월보」, 제753호, 산업은행.

Fig. 4 2040년 에너지원별 수요 전망

5) 이선화(2018:92), “글로벌 LNG시장 변화에 따른 기회와 대응”, 「산은조사월보」, 제753호, 산업은행.

Collection @ kmou

LNG는 연료로서의 우수성과 친환경성 및 안전성을 갖추고 있어 원유를 대체하여 각종 산업 및 일상생활에 친환경 연료로서 지속적 수요의 확대가 전망되고 있다. LNG를 연료로 활용할 경우 기존 석유연료 대비 온실가스 배출량 20% 이상, 질소산화물 80% 이상, 황산화물 90% 이상을 감축할 수 있고, 미세먼지(PM)의 배출도 대폭 감축할 수 있다.

Table 2 LNG 대비 에너지원별 오염물질 배출 지수

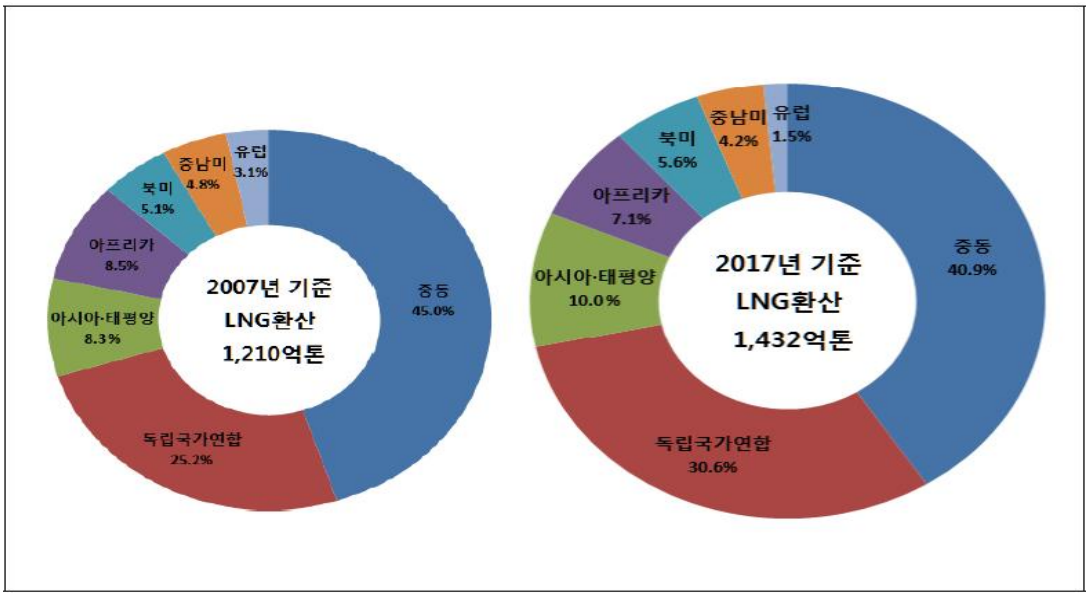
	LNG	LPG	BC유	경유	등유	무연탄	유연탄
CO_2	1	1.03	1.20	1.20	1.17	1.60	1.58
SO_2	1	0.002	3,360.0	808.7	19.2	3,233.6	3,149.7
CO	1	393.5	1,767.7	1,202.2	2,011.5	3,888.9	2,651.5
NOx	1	78.7	858.2	595.7	178.3	1,348.6	919.5
분진	1	833.3	12,506	3,105.6	3,284.1	3,597.9	24,603.2

주 : IPCC(정부 간 기후변화협약 패널), EPA(미국 환경청)
자료 : 이선화(2018:93), 상게서.

2017년 기준 확인된 세계 천연가스 매장량은 약 1,432억 톤이며 연평균 약 27억 톤이 생산/소비 되므로 향후 사용가능한 기간은 2017년 기준 약 52.6년으로 산정된다.[6] 천연가스 매장량이 가장 많은 국가는 러시아이며 그 뒤를 카타르와 이란이 따르고 있다. 미국은 생산량과 소비량 부분에서 세계최대량을 보여주고 있다.

6) 이선화(2018:94), 상게서.

Collection @ kmou



주 : BP(2018.6), LNG환산톤 기준

자료 : 이선화(2018:94), 상게서.

Fig. 5 세계 천연가스 분포

현재 국제 LNG시장에서는 미국, 호주 등에서 LNG 공급 증가와 기존 LNG 수입국의 수요 둔화로 인해 초과 공급 상황이 나타나고 있는 실정이다. 이후로도 LNG 신규 수요 증가가 예상되지만, 그에 맞서 신규 LNG 프로젝트의 물량 증가로 인해 국제 LNG시장에서의 가격은 지속적으로 낮은 가격대를 형성할 것으로 분석된다. 2019년 04월 동북아지역 LNG 현물 가격은 MMBtu[7] 당 4.25 달러를 형성하고 있다.

2.1.2.2 LNG 연료추진선박의 개념

LNG연료추진선박 기술은 해운시장에서의 신에너지 사용으로 인한 운임료 절감, 획기적인 환경오염방지 대책으로서의 대응, 새로운 에너지 패러다임으로의 변환에 대한 기대감으로 조선 산업 전체의 이목이 집중되고 있는 기술로서 초기 시장 진입기에 해당하는 기술 분야이다.[8]

LNG연료추진선박의 기술은 LNG를 연료로 사용하며 선박의 LNG연료 탱크에서 LNG연료추진선박의 기관에 LNG를 공급하는 일련의 시스템 및 기술로 정의할 수 있다. LNG운반선에서 이미 LNG를 연료로 적용하여 사용하는 기술이 적용되고 있지만 이는 LNG

7) Million British Thermal Units, 1MMBtu는 0.042M3, 0.0193MT
8) 김종현 외(2015:2) “LNG연료추진선 및 벙커링 기술로드맵”, 한국산업기술 평가관리원

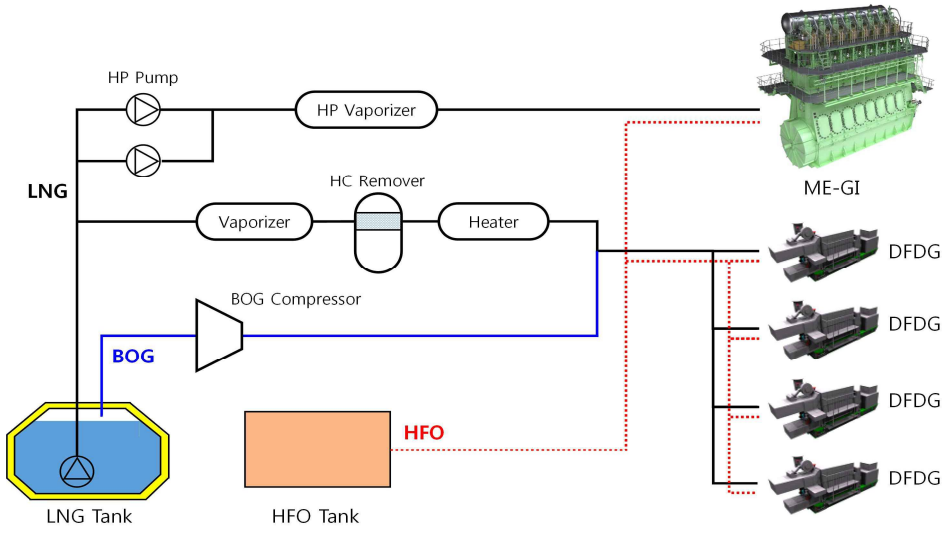
Collection @ kmou

운반선의 화물창에서 기화된 가스(BOG : Boil Off Gas)를 처리하기 위한 것이 주 목적이고, LNG운반선의 주 연료는 기존의 선박들과 마찬가지로 F.O(Fuel Oil)를 사용 중이다. LNG의 여러 가지 특성(초저온, 폭발성, 기화성 등)으로 인해 선박의 연료로 적용시키기 위해서는 현존선 및 신조선에 LNG연료 탱크와 LNG연료용 기관 등의 LNG연료추진선 기술이 적용되어야 하고, LNG를 공급하기 위한 LNG벙커링 인프라도 구축되어야 하는 등 해결 과제들이 많이 남아 있다. 하지만 기존 연료대비 LNG의 발열량이 높은 편이며, 타 대응책들의 경우 설계 변경이나 중대한 수리로 인해 추가적인 비용이 막대하다는 점 등을 감안하였을 때 새로운 환경규제에 대응한 최선의 대책으로 인식되고 있다.

LNG연료추진선박은 LNG의 특성(초저온성, 폭발성, 기화성 등)으로 인해 이를 안정적으로 취급하기 위해서 LNG연료탱크 안전장치, 탱크 계측 및 모니터링 장치 등의 고가의 특수 자재 및 설비들의 적용이 요구되며, LNG연료추진선박을 운항할 인력들에 대해서는 전문적인 교육과 훈련도 필요하다.

한국산업기술 평가관리원의 “LNG연료추진선 및 벙커링 기술로드맵(2015)” 에 의하면 LNG연료추진선박의 정의는 광의의 해석에 의해 LNG연료추진선박 설계기술(선형개발, 배치최적화 기술, 연료공급시스템 및 기자재)을 포함하여 LNG관련 안전규정, 극저온용 단열소재, 선박/육상 LNG 저장시스템, LNG 이송시스템, LNG 액화 및 기화시스템, 안전시스템, LNG 기자재 및 시스템 시험/인증분야 등을 포함하는 산업 기술 분야로 정의될 수 있고, 협의의 해석에 의해 LNG연료공급시스템 및 LNG 연료추진 선박의 설계와 건조, 유지/보수, LNG 연료추진선박용 기자재의 설계/개발, 안전성평가, 시험/인증 등 LNG 연료추진선박의 설계/제작과 직접적으로 연관된 산업 기술 분야로 정의할 수 있다. 결국 LNG연료추진선박의 핵심기술은 LNG연료탱크에서 엔진에 이르는 LNG 연료 공급 시스템으로, 아래의 그림은 개념적인 계통도를 보여주고 있다.

Collection @ kmou



자료 : 김종현 외(2015:3) “LNG연료추진선 및 벙커링 기술로드맵”, 한국산업기술평가관리원.

Fig. 6 LNG 연료공급 시스템

2.1.2.3 LNG 벙커링 산업의 기본 개념

LNG벙커링 기술은 LNG연료추진선박에 연료를 공급하는데 필요한 기술로서 기존 LNG운반선에 비하여 소규모 LNG공급 산업 기술에 해당하기에 LNG산업에서는 중소규모 LNG액화, LNG벙커링, LNG연료추진선박, LNG트레이딩 등을 포함하는 “중소규모 LNG산업” 기술로 평가하고 있다.[9)]

LNG벙커링 산업은 LNG벙커링 터미널, LNG벙커링 선박, 육/해상 LNG벙커링 설비 등의 개념을 포함하는 LNG연료추진선박에 LNG를 연료로 공급하기 위한 일련의 시스템으로 정의될 수 있다. 기존의 석유계 선박 연료유 벙커링 산업과 그 형태적인 측면에서 유사한 특성을 가지고 있는 산업이다. 하지만 LNG의 특성상 기체 상태와 액체 상태가 공존하고 있는 가스이며, LNG의 특성(초저온성, 기화성, 폭발성)으로 인해 저장 설비 및 공급 설비, 선박으로의 공급 방식 등에서 기존 석유계 연료의 벙커링과 차이점이 있다.

LNG벙커링 기술에는 LNG의 초저온과 기화가스의 압력 등을 안정적으로 다루기 위해 특수한 고가의 설비들이 필요하다. 초저온용 펌프, 각 종 안전장치, 특수 계측장치, 초저온 호스 및 배관, 기화가스 압축기, 육/해상 LNG 저장 탱크, 기화기 등의 설비가 필요하

9) 김종현 외(2015:6), 상게서.

Collection @ kmou

다.

LNG벙커링을 시행하는 대표적인 4가지 방식에는 STS(Ship to Ship), PTS(Pipe line/Terminal to Ship), TTS(Truck to Ship), PTTS(Portble tank to Ship)이 있다. 터미널의 규모 및 상황, 주요 입출항 LNG연료추진선박의 크기 및 선종에 따라 적합한 방식을 채택하여 활용하고 있다. LNG벙커링 산업의 주체는 각 항만과 해운사들이며, 현재 유럽지역의 주요 항만들에서 주도적으로 LNG벙커링 산업을 시행 및 육성 중이다. 우리나라를 포함한 동아시아 지역 및 북미 지역에서도 LNG벙커링 시행을 위한 인프라 구축에 많은 노력을 기울이고 있는 실정이다.

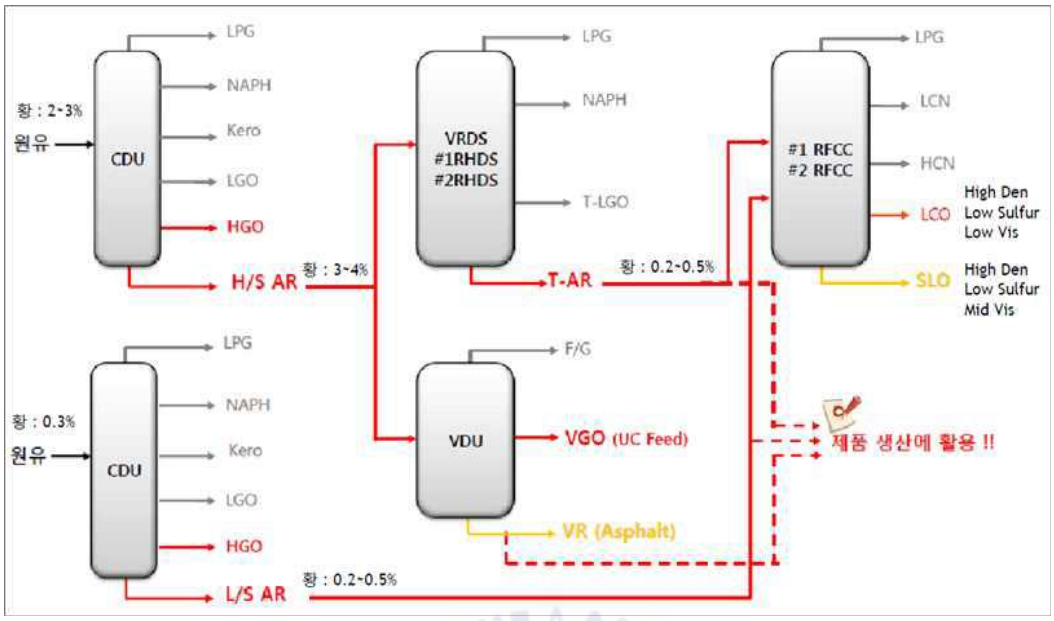
2.1.2.4 IMO 환경규제에 대응하기 위한 타 방안 분석

IMO의 선박 해양배출가스 규제에 대응하여 LNG벙커링 외에 대두되고 있는 방책들로 저유황유의 활용, 후처리장치(SCRUBBER)의 설치, 배기가스 재순환장치(EGR), 선택적 촉매 환원 장치(SCR) 등이 있다. 각 방안들의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

1. 저유황유(LSFO, Low Sulphur Fuel Oil)

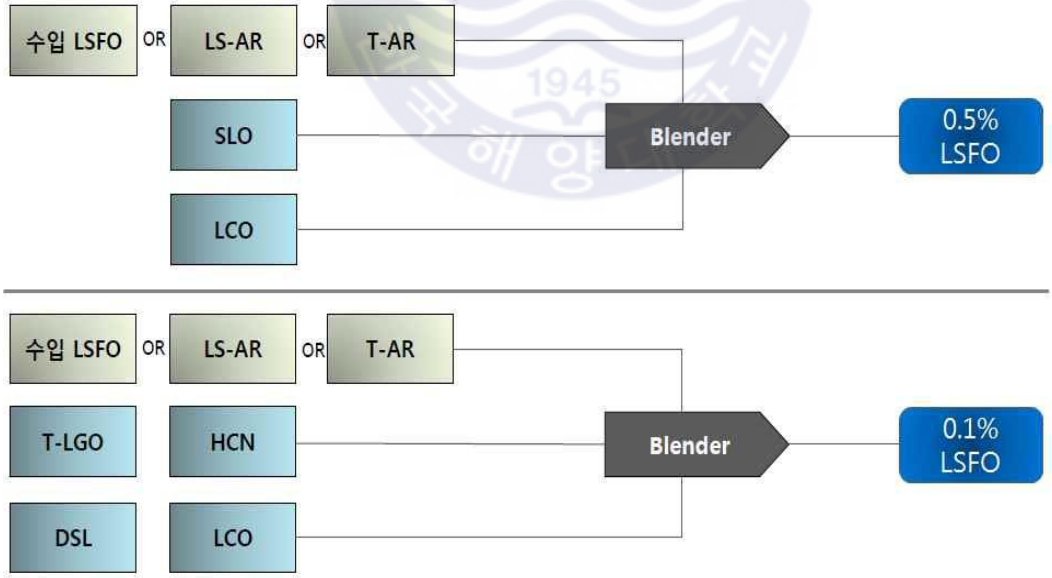
선박배출가스 제한해역(ECA : Emission Control Area)에서 대기오염물질 저감을 위한 규제의 일환으로서 해당 구역을 항행하는 선박의 연료유는 황 함유량이 0.1% 이하로 제한되며 2020년 부터는 전 세계 모든 해역에서 항행하는 선박들의 연료유에 황 함유량을 0.5%이하로 제한한다. 저유황유는 IMO의 규제에 부합하도록 황 함유량을 각각 0.5%이하, 0.1%이하가 되도록 생산되어 진다. 저유황유를 활용하는 방법은 LNG 벙커링 및 타 방안들과 달리 별도의 설비를 신설하지 않고도 현존 선박에 바로 적용 가능한 대안이다. 이러한 이유로 2020년부터 시행되는 황 함유량 관련 규제에 대해 각 국의 주요 해운사 및 항만에서 즉각적인 대응책으로 채택하고 있는 방안이다.

Collection @ kmou



자료 : 박재영(2017:37), “해운기업의 황산화물(SOx) 배출저감 최적대안에 대한 연구 ”, 중앙대학교 석사학위논문.

Fig. 7 중유 제조 공정도



자료 : 박재영(2017:38), 상게서.

Fig. 8 중유 제품 배합

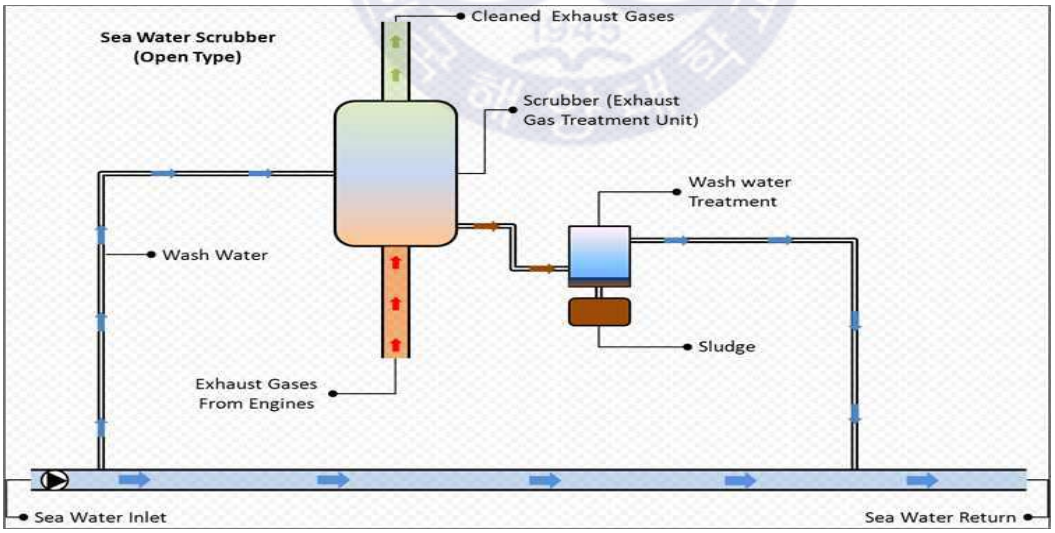
Collection @ kmou

2. 배기가스 세정기술(Scrubbing Technology)[10)]

선박에서 배출되는 배기가스를 세정하는 기술은 원래 육상의 공장 설비에서 황산화물(SOx)을 저감하기 위해 사용되어왔던 기술이다. 그 기본 원리는 선박의 배출가스와 황산화물을 흡수할 수 있는 유체를 서로 접촉시켜 배출가스 내의 황산화물을 중화시키는 것이다. 배출가스에 포함되어있던 황산화물과 황산화물을 흡수하는 유체 내의 알칼리 성분이 반응하여 황산화물을 황산염의 형태로 변환시켜 배출시키는 것이다. 배기가스 세정기술은 다음과 같은 3가지의 기술이 사용되고 있다.

가. 해수기반 배기가스 세정장치

배기가스를 산화상태에서 중화시키는 장치로서 해수의 천연 알칼리 성분을 이용하는 해수기반 세정장치이다. 스크러버에서 해수로 배기가스를 세정하면 배기가스의 황산화물이 해수에 흡수되어 세정수와 슬러지로 분리할 수 있게 된다. 이렇게 생성된 세정수는 해양 방출되며, 슬러지는 육상 처리시설로 이송시킨다. 해수를 기반으로 한 세정장치는 신조선은 물론 현존선에도 설치하여 운용이 가능하며 선박 기관의 출력에 관계없이 활용가능하다. 또한 황산화물 제거 성능이 뛰어나서 현재 실질적인 황산화물 저감 대응책으로 주목 받고 있다.



자료 : 박재영(2017:40), 상게서.

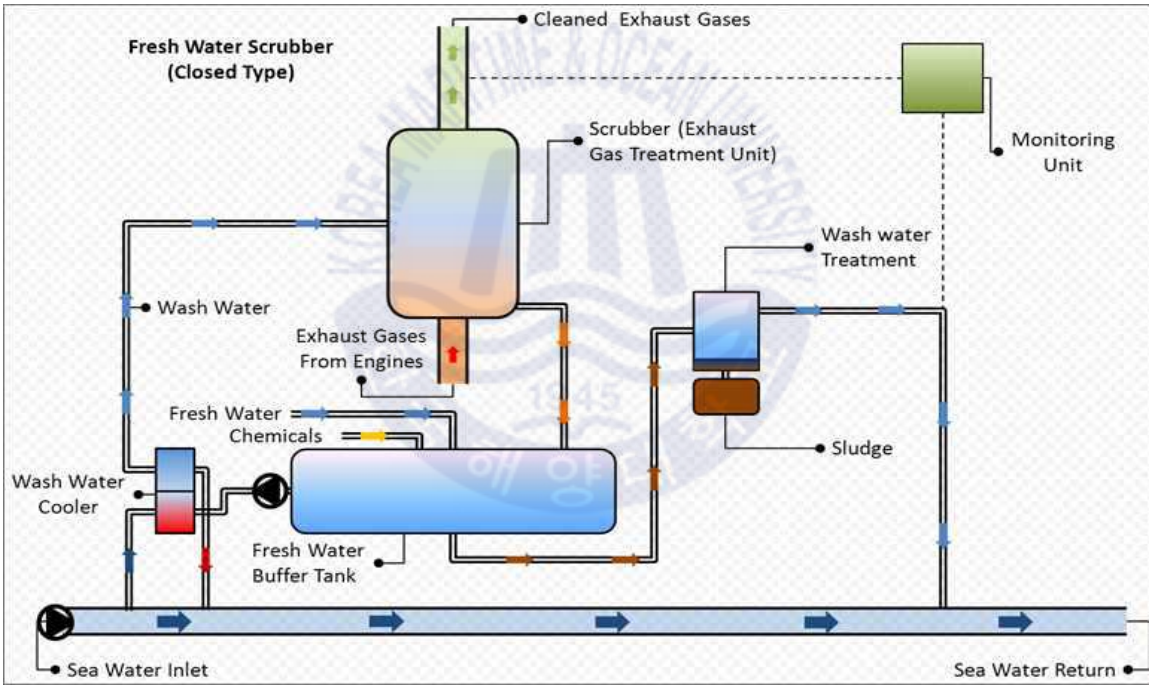
Fig. 9 해수기반 배기가스 세정 장치

10) 박재영(2017:39-42) “해운기업의 황산화물(SOx) 배출저감 최적대안에 대한 연구 ”, 중앙대학교 석사학위논문.

Collection @ kmou

나. 청수기반 배기가스 세정장치

가성소다를 촉매로 활용하여 선박기인 해양배출가스의 황산화물을 흡수하고 세정시키는 세정장치이다. 해수기반 세정장치와 같은 원리로 청수가 황산화물을 흡수하고 이것을 세정수와 슬러지로 분리하여 처리하지만, 청수기반 세정장치는 해수의 알칼리성분이 충분치 않은 해역에서 청수의 촉매제(가성소다)가 그 역할을 대신하여 수행하는 차이점이 있다. 또한 분리된 세정수는 해양으로 배출하지 않고 재처리를 거쳐 황산화물 세정에 지속적으로 재사용되는 차이점도 있다. 청수기반 세정장치도 신조선은 물론이고 현존선에도 설치 및 운용이 가능한 설비이다. 모든 종류의 선박 디젤기관에 적용가능하고 우수한 황산화물 저감 효과가 있다.



자료 : 박재영(2017:41), 상게서.

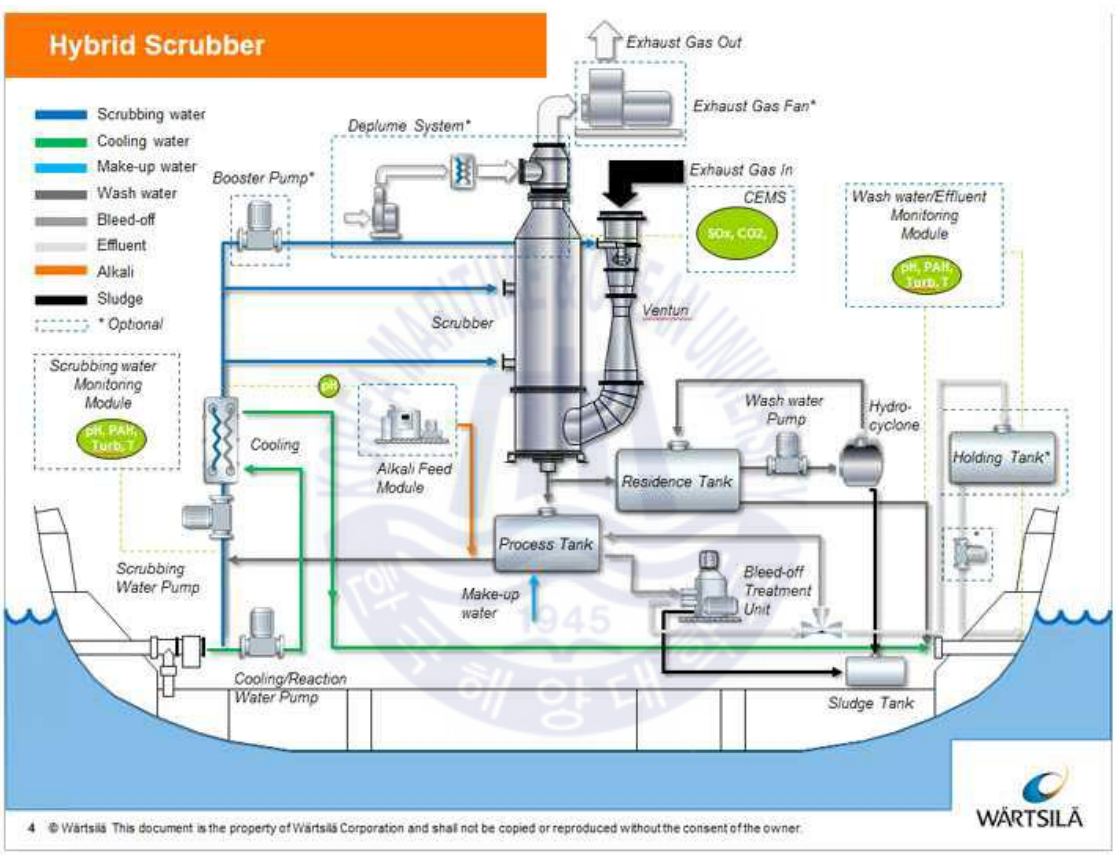
Fig. 10 청수기반 배기가스 세정 장치

다. 복합(Hybrid) 시스템 배기가스 세정장치

상기에 기술한 해수기반 세정장치와 청수기반 세정장치의 배기가스 세정방식을 복합적으로 활용 가능한 세정장치이다. 두 방식을 복합적으로 활용할 시 100%에 가까운 황산화물 세정 효과를 보이며, 미립자 물질도 80% 수준으로 저감시킬 수 있다. 청수기반

Collection @ kmou

세정장치와 같이 천연 알칼리성분이 충분한 해수의 공급이 어려울 때 청수를 이용한 세정을 위해 두 가지 방식을 복합적으로 활용하도록 설계된 장치이며, 해수를 사용한 세정을 할 때는 세정수를 선외 배출하게 되고 청수를 사용한 세정을 할 때는 세정수를 재활용 하도록 되어있다.



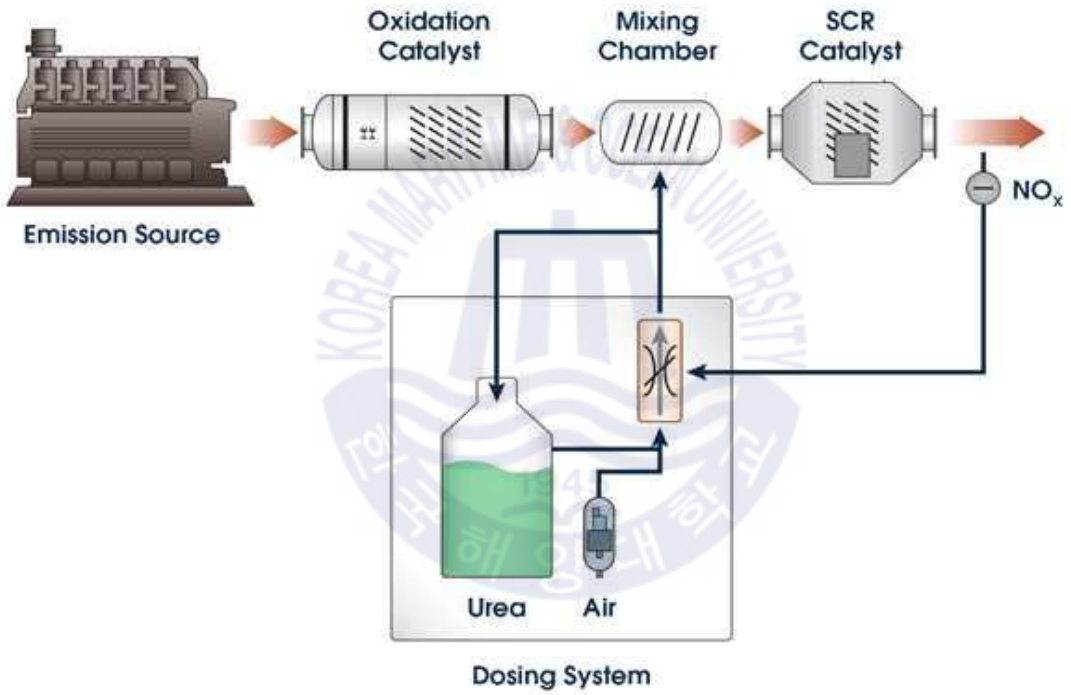
자료 : 박재영(2017:42), 상게서.

Fig. 11 Hybrid 배기가스 세정 장치

Collection @ kmou

3. 선택적 촉매환원장치(SCR, Selective Catalytic Reduction)[11)]

질소산화물 규제는 MARPOL협약의 부속서 6장, 제3장에 의해 2016년 01월 01일 이후 건조된 선박 기준으로 Tier Ⅲ의 규제가 적용되게 된다. 선택적 촉매환원장치의 기본원리는 촉매를 사용해서 배기가스의 질소산화물을 저감시키는 것으로 촉매로는 Urea 수용액[12)]이 이용된다. 선택적 촉매환원장치에서 인체에 무해한 질소와 물이 생성되는데 이는 Urea 수용액을 배기가스로 분사하면 암모니아 액체로 변환되고, 이것이 배기가스의 질소산화물과 결합하는 과정에서 이루어진다.



자료 : 박재영(2017:43), 상게서.

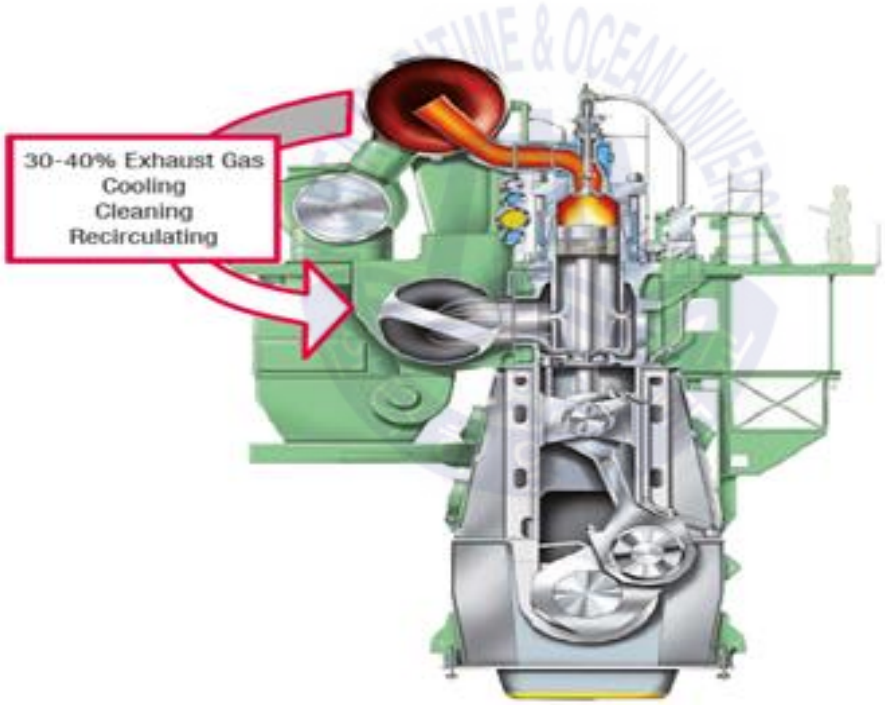
Fig. 12 선택적 촉매 환원 장치(SCR)

11) 박재영(2017:43-44), 상게서.
12) Urea 수용액 : 2NH2CO로 카바마이드 라고도 하며, 색깔과 냄새가 없고 300～450℃의 온도에서 암모니아 가스로 분해되는 물질이다.

Collection @ kmou

4. 배기가스 재순환장치 (EGR)

배기가스 재순환장치(EGR : Exhaust Gas Recirculator)는 선박기관에서 연소로 인해 발생한 배기가스의 일부를(약 30%) 세정과 냉각과정을 거쳐 기관의 흡기로 재순환 시키는 방법이다. 흡기의 열용량 증가로 연소시의 최고 온도가 낮아지면서 질소산화물(NOx)의 형성이 저감된다. 배기가스 재순환장치는 EGR율에 따라 연소시의 질소산화물의 생성량이 반비례하게 된다. 하지만 EGR율이 높아지면 기관에서 생성된 배출가스의 CO, HC비율이 증가하게 되며 기관의 운전 정숙도가 저하될 수 있다. 이러한 이유로 배기가스 재순환장치의 활용은 질소산화물의 생성이 많은 영역에서만 운용하는 것이 효과적이다.



자료 : MAN Diesel & Turbo 보고서.

Fig. 13 배기가스 재순환장치 (EGR)

상기의 IMO의 선박기인 해양배출가스 규제에 대한 대응책들을 본 연구의 주 내용인 LNG벙커링 방안과 비교 분석한 표는 다음과 같다.

Collection @ kmou

Table 3 대안별 배출가스 감소량

구분	NOx 감소	SOx 감소	GHG 감소	PM 감소
LNG	4행정:90%, 2행정:40%	90~100%	15%	90%
LSFO	-	약 80%	-	약 20%
Scrubber	-	90~95%	1~2%	80~85%
SCR	4행정:90%	-	-	20~40%
EGR	20~40%	-	-	소폭 증가
DWI(물기반 기술)	20~40%	-	소폭 증가	-
HAM	20~40%	-	-	-
엔진개조	20~40%	-	소폭 증가	감소불능

자료 : DNV Korea(2013:45), “동남권 LNG 벙커링 기본계획수립 연구”, 한국가스공사/경남에너지.

Table 4 대안별 장단점

구분	장점	단점
LNG	저렴한 연료비, 유지비 감소 SOx(~100%), NOx(~90%) 감소 PM(~90%), CO2 감소 연료유 청정기 없음	개조가 어려움, 화물 공간 감소 기반시설 제한, 취급 인원 훈련 필요 건조비용 증가
LSFO	설비 교체 및 추가 비용 없음 SOx 감소, 열처리가 필요 없음	비싼 연료비, 연료의 기록 필요 연료 가격이 증가할 것으로 예상 CO2 저감 없음, NOx 처리 필요 연료 전환 문제 발생
Scrubber	기존 선박연료 사용 SOx, PM 감소	이용가능 공간 축소 추가 투자비용 발생 운영비 및 운용에너지 증가 NOx 저감 미비 물 방출(pH 등급) 슬러지 배출
SCR	상대적으로 성숙한 기술 NOx 저감	2행정 엔진에 대한 입증 없음 시간이 지남에 따라 노후화 발생
EGR	상대적으로 성숙한 기술 NOx 저감	효율성에 부정적 영향 엔진 마모 증가 선박에 작동사례 거의 없음
물기반 기술	NOx 배출 저감 수단	선박에 대한 발달 기술 없음
엔진개조	광범위한 엔진 유형에 적합 보고된 중도한 사항 없음 지속적 영향	

자료 : DNV Korea(2013:45-46), “동남권 LNG 벙커링 기본계획수립 연구”, 한국가스공사/경남에너지.

Collection @ kmou

상기의 표에서 확인할 수 있는 바와 같이 IMO의 규제에 대응한 여러 가지 대응책들이 있지만 규제의 핵심인 대기오염물질 저감의 효율성 측면에서 LNG연료를 활용하는 방안이 가장 효과적인 것을 확인할 수 있다.

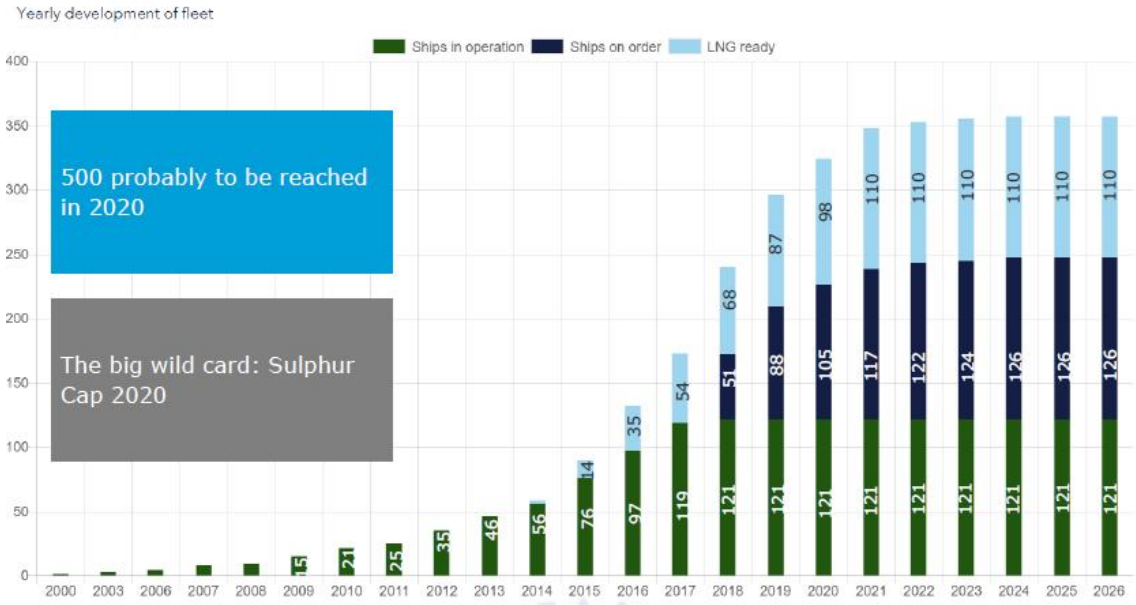
2.1.3 LNG벙커링의 현황 및 전망

2.1.3.1 LNG연료추진선박의 현황 및 전망

상기에 기술한 바와 같이 IMO의 환경규제에 대응하기 위한 방책으로서 LNG연료추진선박의 활용이 가장 주목 받고 있으며 이러한 움직임에 따라 전 세계의 주요 국가 및 해운사에서 LNG연료추진선박의 운항을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 실제 운항 중인 LNG연료추진선박과 향후 운항을 목표로 건조 중인 LNG연료추진선박 그리고 LNG-Ready선[13]의 수가 전 세계적으로 증가 추세에 있다. DNV-GL의 보고서(2018)에 따르면 2018.04월 기준 운항 중인 LNG연료추진선박의 수는 121척이며, 발주된 LNG연료추진선박의 수는 51척, LNG-Ready선의 수는 68척에 이르고 있다. LNG연료추진선박의 수는 지속적으로 증가하여 2026년에는 운항 및 발주된 LNG연료추진선박의 수가 247척, LNG-Ready선의 수가 110척에 이를 것으로 예상하고 있다.

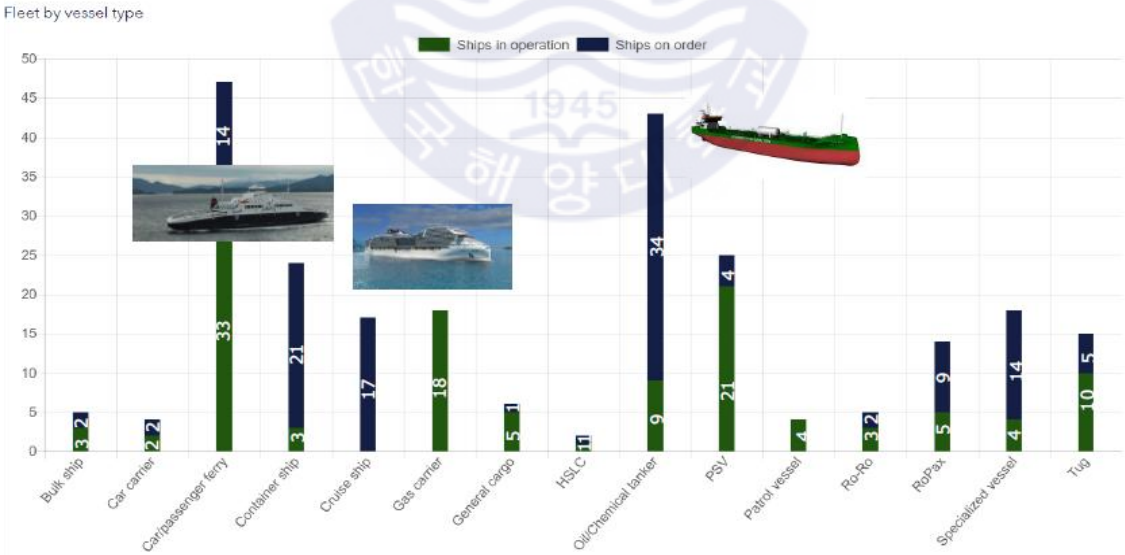
13) 현재 LNG연료추진선박으로 운항하는 것은 아니지만 추후에 LNG연료추진선박으로 개조할 수 있도록 설계/건조 된 선박

Collection @ kmou



자료 : DNV-GL(2018), LNG regulatory update

Fig. 14 LNG연료추진선박 운항현황 및 전망



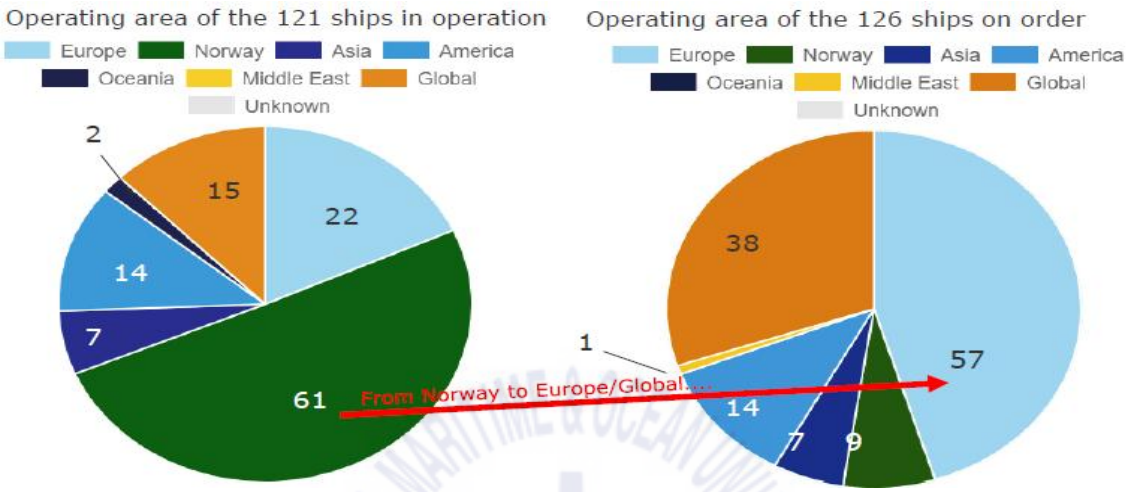
자료 : DNV-GL(2018), LNG regulatory update

Fig. 15 선종별 LNG연료추진선박 운항현황 및 전망

동 보고서의 2026년 까지 지역별로 운항 및 발주된 LNG연료추진선박의 현황을 살펴보면 현재 운항 중인 121척 중 69%에 달하는 LNG연료추진선박이 유럽지역에서 운항 중

Collection @ kmou

이며, 그 중 노르웨이가 61척으로 가장 높은 비율을 나타내었다. 2026년까지의 발주량도 유럽지역이 가장 많아 유럽지역에서 LNG연료추진선박의 운항을 주도적으로 시행 중임을 확인할 수 있으며, 아시아 및 북미 등에서도 지속적 증가세를 보일 것으로 예상된다.



자료 : DNV-GL(2018), LNG regulatory update

Fig. 16 지역별 LNG연료추진선박 운항현황 및 전망

2.1.3.2 LNG벙커링 산업의 현황 및 전망

LNG연료추진선박의 출현과 LNG벙커링 산업의 발전이 예상됨에 따라 전 세계 주요 항만에서 LNG연료추진선박의 LNG연료 벙커링을 유치하고 새로운 부가가치 창출을 위하여 LNG벙커링 인프라 구축에 많은 노력을 기울이고 있다. 유럽의 경우 노르웨이, 네덜란드 등의 항만에서 LNG벙커링을 시행 및 인프라 확장에 힘쓰고 있고, 아시아와 미주지역도 LNG벙커링을 위한 항만의 시설을 건설하고 운영 중인 곳이 다수 존재한다. 전 세계의 LNG벙커링을 시행 중인 항만의 과반수 이상이 유럽 지역에 존재하고 있어 LNG연료추진선박 및 LNG벙커링 산업의 시행에 있어 유럽이 선도적인 역할을 하고 있다고 볼 수 있다. 그 이후로는 전 세계 각 항만에서 LNG벙커링을 계획 중에 있어 LNG 벙커링 산업의 규모는 더욱 확장될 것으로 예상된다.

노르웨이를 중심으로 한 북유럽 지역의 LNG벙커링 산업의 투자 계획은 MoS(Motorway of the Sea)와 TEN-T(Trans-European Transport Network) 프로그램 내에

Collection @ kmou

서 추진 중이며, 이는 북유럽이 북해와 발틱해에서 LNG연료추진선박의 유치와 LNG벙커링 산업의 주도권을 잡기 위한 것이기 보다는 유럽 전체의 해상운송의 효율화와 친환경 정책을 동시에 추구하기 위한 것이다. 서유럽의 경우 벨기에의 Antwerp와 Zeebrugge, 영국의 Southhampton, 프랑스의 LeHarvre, Roscoff 항에서도 LNG벙커링을 시행 및 계획 중이다. 특히 네덜란드의 Rotterdam항은 LNG를 수급하던 항만으로서 LNG를 취급하는 기반시설을 어느 정도 갖추고 있는 상태이므로 LNG벙커링 항만으로 적극 육성할 계획을 가지고 있다. 남부유럽의 스페인과 그리스의 항만에서도 LNG벙커링 항만 구축을 계획 중이다.

주 : Google earth

자료 : 김근섭 외(2015:34), “LNG 추진선 도입에 따른 항만의 대응전략”, KMI.

Fig. 17 Rotterdam항 Gate 터미널

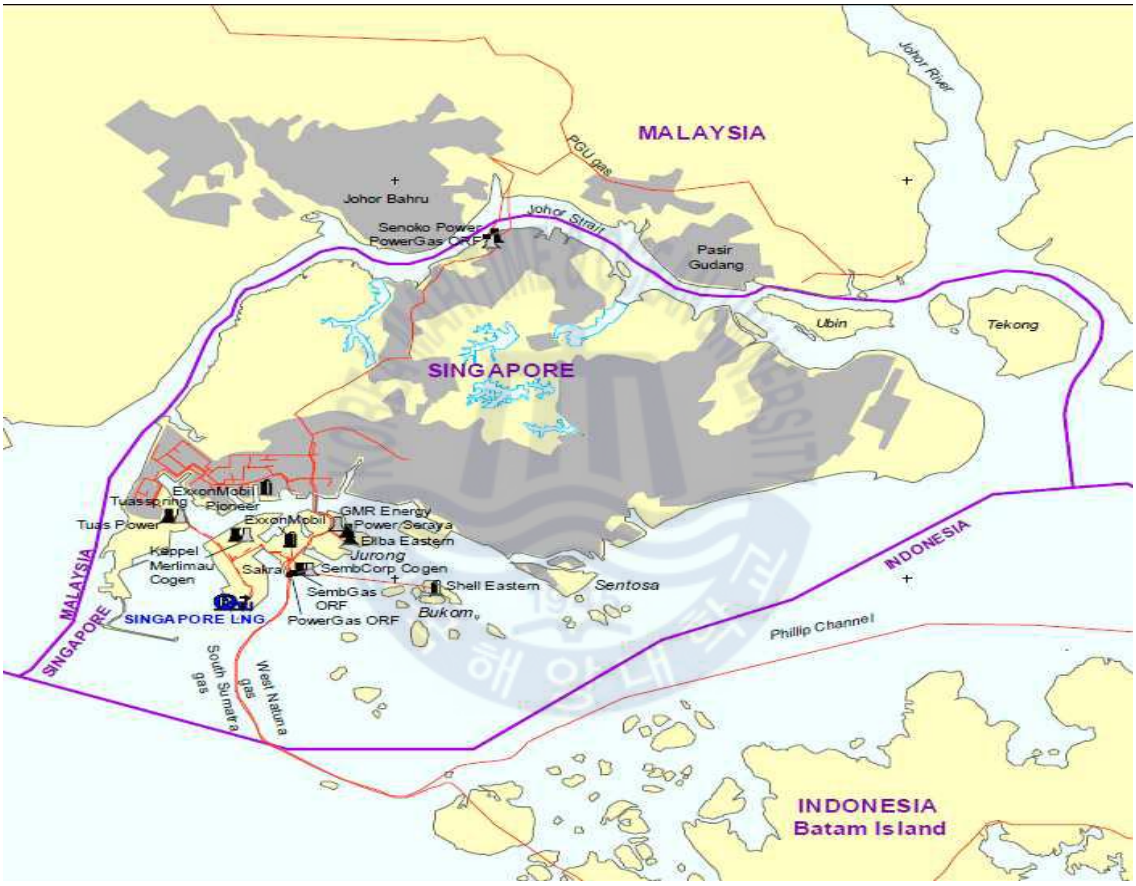
아시아의 경우는 한국, 중국, 일본 및 싱가폴 간에 LNG벙커링 허브 항만 선점을 위한 경쟁이 치열하다. 그 중에서도 싱가폴이 가장 적극적으로 경쟁력을 높여가고 있다. 남현정・이태희(2017)[14]의 연구에서는 다음과 같이 기술되어 있다.

싱기폴은 이미 유류 벙커링에서 세계 1위로서 연간 4,200만 톤을 공급하고 있는데 2015년 현재 LNG 벙커링 터미널 저장탱크 3기에 2선석을 갖춘 부두를 확보하고 있는 실정이다. 2018년부터는 실제로 주롱섬에 LNG터미널 1기, 2기, 3기를 갖추고 운영하게

14) 남현정・이태희(2017:9-10), “미래 신해양산업으로서의 LNG연료추진선 현황과 경쟁력 제고방안에 대한 연구”, 「전문경영인연구」, 제20권 제3호, 한국전문경영인학회.

Collection @ kmou

되면 1,100만 톤의 공급능력을 확보할 것으로 알려지고 있다. 싱가포르는 이미 글로벌 LNG공급자인 BG가스, BP, 미쯔비시, Total 등을 유치했다. 아울러 싱가포르 항만공사인 MPA는 820만 달러의 펀드를 조성해 LNG선박 건조에 대해 140만 달러씩 지급하고 있다. 그리고 이미 LNG 공급자(aggregator) 제도를 도입, BP로 하여금 해운업체에게 LNG를 판매할 수 있도록 허가하고 있는 바, 가장 앞서서 LNG벙커링 허브를 실현해 나가고 있다. 실제로 2017년 6월 싱가포르 LNG공사(Singapore LNG Corporation·SLNG)가 Jurong Island에 위치한 자사의 터미널에서 동사 최초로 소규모 LNG 재적하에 성공했다.



주 : Wood Mackenzie, "Singapore LNG long-term outlook 2015", p.2, 2015.3

자료 : 김근섭 외(2015:45), "LNG 추진선 도입에 따른 항만의 대응전략", KMI.

Fig. 18 싱가폴 LNG인프라

Collection @ kmou

일본과 중국의 경우도 LNG벙커링 인프라 구축에 힘을 쏟고 있다. 일본은 요코하마항을 중심으로 적극적인 LNG관련 항만산업을 추진 중에 있다. 중국은 LNG선박연료로의 전환에 적극적인 대응을 보여주고 있다. 홍콩과 함께 자체적인 ECA를 선포하였으며, 내항 선박을 대상으로 LNG연료추진선박으로 교체하고 LNG를 연료로 공급하는 정책을 중점적으로 시행할 계획이다. 이를 위해 양자강 유역에 LNG벙커링 관련 인프라를 구축 예정에 있다. 또한 Zhoushan항을 중심으로 LNG벙커링 기지를 구축하고 외항 선박을 대상으로도 LNG벙커링을 시행할 계획을 가지고 있다.

우리나라의 경우 지리적인 이점으로 LNG연료추진선박과 LNG벙커링 산업의 발전에 따른 상당한 수요가 예상되지만, 아직은 LNG연료추진선박의 운항 및 LNG벙커링의 운용이 미미한 상황이다. 국내에서 운항중인 LNG연료추진선박은 인천항만공사의 항만 안내선 에코누리호와 포스코의 석회운반선 그린아이리스호가 있다. 이 두 선박에 대한 소규모의 LNG벙커링이 시행중이기는 하나 동북아의 LNG벙커링 허브항만 선점을 위해서는 인프라 발전에 더욱 노력해야하는 실정이다. 하지만 LNG연료추진선박 및 LNG-Ready선박 건조 부문에서는 세계적인 경쟁력을 갖추고 실적을 내고 있다.

자료 : 최원영(2019), “가스공사, ‘IMO2020’ 대비 LNG벙커링 사업 박차”, <http://www.asiatoday.co.kr/view.php?key=20190808010004429>.

Fig. 19 에코누리호

Collection @ kmou

그 외에도 북미 지역 및 중동지역에서도 LNG벙커링 인프라 구축에 많은 노력을 기울이고 있는 실정이며, 이러한 세계적인 현황들을 보았을 때 LNG연료추진선박의 도입 및 LNG벙커링 산업은 발전 전망이 좋은 산업이라 판단할 수 있겠다. 해당 산업에서 세계의 주요 항만들과 경쟁하여 주도권을 선점하기 위해 우리나라도 정책적 지원 및 적극적인 투자, 연구가 필요하다고 생각된다.

2.2 LNG 벙커링의 시행 방식에 대한 고찰

2.2.1 STS(Ship to Ship)

LNG벙커링용 선박에서 LNG연료추진선박으로 벙커링하는 방식이다. LNG벙커링용 선박은 해상의 FLBT[15]나 또는 육상의 LNG공급 시설에서 직접 LNG를 충전하여 LNG연료추진선박으로 LNG를 벙커링하는 역할이 가능하다. 이 방식은 빠른 벙커링 속도와 대용량 공급에 유용한 방식이다. 그러나 LNG벙커링용 선박의 건조 및 LNG기지의 신설 등 초기 투자비가 큰 단점이 있다.

자료 : 이재우 외(2015:7) , “LNG연료추진선.벙커링산업 시장조사 및 경쟁력 분석” , 한국수출입은행.

Fig. 20 Ship to Ship

15) Floating LNG Bunkering Terminal : 해상 부유식 LNG벙커링 터미널

Collection @ kmou

2.2.2 PTS(Pipeline/Terminal to Ship)

벙커링 Pipeline이나 벙커링암을 활용하여 벙커링하는 방식으로 LNG연료추진선박이 육상이나 해상에 설치된 LNG 터미널에 접안하여 벙커링을 시행하게 된다. 대용량의 벙커링과 신속한 벙커링 작업이 가능한 장점이 있어서 대형 벙커링을 계획하는 항만이라면 반드시 갖추어야 할 벙커링 시스템이다. 그러나 육상 및 해상의 벙커링용 설비 및 접안, 계류 설비들의 구축 등 초기 투자비용과 시간이 많이 소요되는 단점이 있다.

자료 : 이재우 외(2015:7), 상게서.

Fig. 21 Pipeline to Ship

2.2.3 TTS(Truck to Ship)

LNG용 탱크로리 트럭에서 LNG연료추진선박으로 벙커링하는 Truck to Ship방식은 주로 소용량의 LNG벙커링에 효율적으로 활용된다. 항만에 육상 LNG기지가 갖추어져 있고 본격적인 LNG벙커링 인프라를 구축하기에 앞서 소규모 LNG벙커링 설비를 갖추기 위해 혹은 소형 LNG연료추진선박에 LNG를 공급하기 위해 주로 활용되고 있다. 초기 인프라 구축에 많은 비용과 시간이 필요하지 않고 기동성을 가지고 있는 트럭이라는 설비를 활용하여 유연한 벙커링 시행이 가능하다는 장점이 있지만, 벙커링 가능한 용량이 작고 벙커링 속도가 느리기 때문에 대용량 벙커링 설비로는 부적합하다. 인천항만공사의 항만안

Collection @ kmou

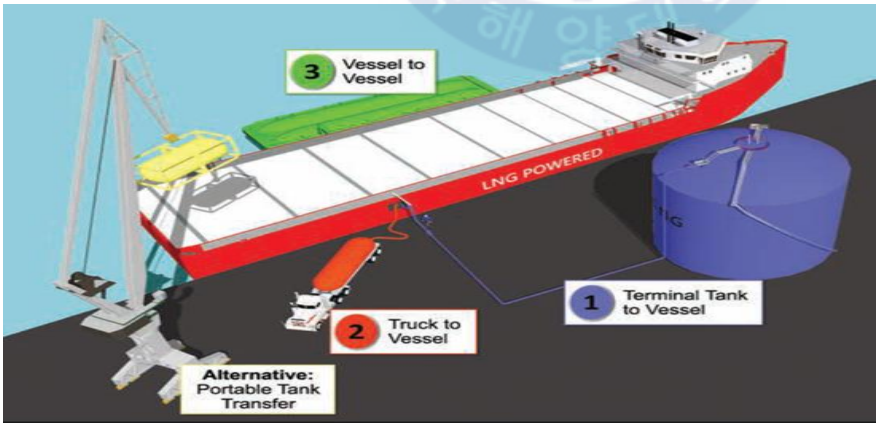
내선 에코누리호의 경우 TTS방식으로 LNG연료를 공급받고 있다.

자료 : 이재우 외(2015:6), 상게서.

Fig. 22 Truck to Ship

2.2.4 PTTS(Portable Tank To Ship)

이동식(Portable)탱크의 탑재에 의한 방식이다. 일정 규격 용량의 LNG 탱크를 선박에 그대로 탑재(틸/부착)하는 방식이다. 이 방식을 활용하면 벙커링에 소요되는 시간을 줄일 수 있으나 LNG 연료 탱크의 가격이 높다는 단점이 있다.



자료 : ABS

Fig. 23 Standard LNG Bunkering Options

Collection @ kmou

Table 5 LNG벙커링 방식별 장단점

방식	장점	단점
TTS	유연성 저렴한 인프라 구축비	적은 이송량 느린 벙커링 속도
PTTS	간단한 운송 (위험물 컨테이너) 기 개발된 기술	비싼 탱크비용 로딩/언로딩 시 추가 노력 (Extended effort during 로딩/언로딩)
PTS	이용가능성 빠른 벙커링 속도 대용량 이송 가능	전용부두 Blocking of port area 비싼 인프라 구축비 Second mooring 필요
STS	유연성 빠른 벙커링 속도 대용량 이송 가능 항구 내 벙커링 가능	비싼 인프라 구축비

자료 : 김종현 외(2015:79), “LNG연료추진선 및 벙커링 기술로드맵”, 한국산업기술평가관리원.

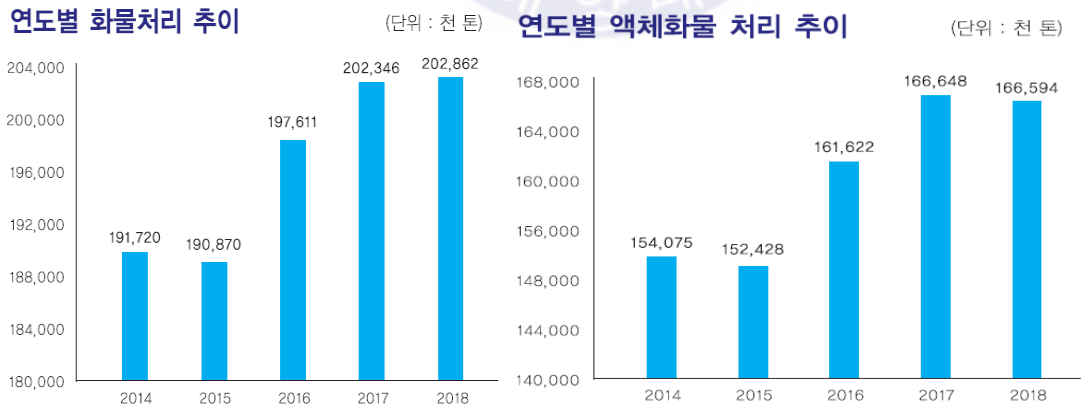
Collection @ kmou

2.3 울산항에서의 LNG 벙커링 산업 현황 및 전망

2.3.1 울산항의 현황에 대한 고찰

2.3.1.1 울산항 현황

울산항은 신라시대부터 번창한 항만이었으며, 1963년 09월 25일 현대적 의미의 무역항(국제개항장)으로 지정된 후 배후의 국가 산업단지에 입지한 자동차, 조선, 석유화학 산업을 지원하는 산업지원 항만으로 발전을 거듭하여 왔다. 울산항은 대한민국과 울산지역 중심항만으로 경제성장을 이끌어 왔으며 다양한 항만 인프라 구축과 급변하는 환경, 수요에 선제적으로 대응하여 연간 약 2억 톤의 물동량을 처리하는 동북아 물류 거점으로 자리매김하고 있다. 울산항은 국내 액체화물의 34.4%, 도입 원유의 47.7%를 처리하고 있으며, 배후에 세계적 규모의 석유화학단지와 정유회사, 대규모 액체화물 저장시설을 갖추고 있다. 2018년 기준 총 물동량은 202,862천 톤으로 취급 화물의 종류는 원유, 석유류, 케미칼제품, 기타, 차량 및 부품, 광석류 순으로 통계되고 있으며, 액체화물의 물동량은 166,594천 톤으로 국내는 물론 동북아 최대의 액체화물 처리 항만의 위상을 보여주고 있다. 액체화물 뿐만 아니라 일반화물과 컨테이너 화물의 처리에 관한 서비스도 제공하고 있다.



자료 : 울산항만공사 홈페이지

Fig. 24 울산항 연도별 화물처리량

Collection @ kmou

액체화물 물동량 국내 1위의 항만으로서의 입지를 더욱 굳건히 하고 동북아 액체물류의 허브항만으로 거듭나기 위하여 1~20만 톤급 8개 선석과 2,413만 배럴의 오일을 저장할 수 있는 탱크시설을 건설하는 동북아 오일허브 구축 사업을 시행중이다. 2010년부터 2030년까지 약 1조 7,977억 원을 투입하여 울산 신항의 북항과 남항을 2단계로 나누어 개발 중이다. 최근 2019년부터는 한국석유공사의 주도하에 동북아 오일가스허브항만 구축을 계획 중이다. 북항의 오일탱크 부지에 LNG를 수급 처리할 수 있는 시설을 구축하여 LNG화력 발전 및 LNG벙커링 사업을 시행할 예정에 있다.

이와 같은 이유로 울산항에는 많은 수의 선박들이 입출항을 시행 중이며, 울산항의 물동량과 선박 입출항량도 더욱 증대될 것으로 예상된다. 아래의 표에서는 2018년 울산항의 입출항 선박 통항량과 정박/계류 설비의 현황에 대하여 확인할 수 있다.

Table 6 2018년 울산항 입항 실적

구분		총계	원유/석유제품 운반선	화학제품 운반선	산물/일반화물선	컨테이너선	자동차선	기타선
합계	척수	23,285	12,883	4,219	2,041	1,599	542	2,001
	비중(%)	100.0	55.3	18.1	8.8	6.9	2.3	8.6
	톤수	220,646,198	113,828,856	24,250,355	24,531,752	23,749,980	31,373,638	2,911,617
외항선	척수	11,785	5,042	3,228	1,351	1,599	542	23
	톤수	204,608,726	104,788,346	21,996,372	22,386,484	23,749,980	31,373,638	313,906
내항선	척수	11,500	7,841	991	690	0	0	1,978
	톤수	16,037,472	9,040,510	2,253,983	2,145,268	0	0	2,597,711

자료 : 울산항만공사 홈페이지

Table 7 울산항 총괄 접안 능력

안벽연장	접안능력	정박능력	연간 하역능력	야적능력	항내 하역능력	해안선 길이	간만의 차
20,668m(잔교포함)	115척(3,678.5DWT)	56척	71,728천톤(74만 TEU)	3,485천톤(1,381천㎡	114㎢	58km	60.8cm

자료 : 울산항만공사 홈페이지

Collection @ kmou

2.3.1.2 울산항의 관습적인 선박연료유 급유 방법

울산항에서 기존 벙커C유 선박 연료의 급유는 벙커링 선박에 의해 STS 방식으로 이루어지고 있으며, 사유부두에서의 벙커링은 사고 시 책임 소제의 문제가 있어 관습적으로 울산항의 묘박 대기지인 E1, E2, E3 앵커리지에 묘박 중 시행되어 왔다. 각각의 묘박지 내에는 벙커링 전용 묘박지가 지정되어 있어, 벙커링 순서에 관계없이 급유가 긴박한 선박이 우선적으로 벙커링이 가능하기도 하다. 또한 울산항에서는 하역 작업과 급유 작업의 병행이 불가하여 벙커링 시 이중정박료를 지불해야하는 탱커선에게 벙커링 인센티브제를 시행하여 정박료 감면을 시행 중이다. 이로써 울산항에서 벙커링을 시행하는 선박의 수가 증가하고 관련 산업에 이익 증대를 가져오고 있다. 이렇듯 울산항에 입항하는 선박들로부터의 지속적인 선박 연료유 공급이 이루어져 왔으며, 최근의 환경규제 동향과 맞물려 LNG연료추진선박으로 선박 연료의 패러다임이 변화하게 되면 LNG연료추진선박을 대상으로 하는 LNG벙커링 산업의 수요도 증가할 것으로 판단된다.

2.3.2 울산항에서의 LNG벙커링 산업 전망

2.3.2.1 울산항의 LNG벙커링 수요 예측

울산항에서의 LNG벙커링 수요를 예측하기 위해 한국가스학회지에 기고된 김기동 외(2017)[16]의 연구결과를 인용하였다. 해당 연구에 따르면 울산항에서의 LNG벙커링 전망을 아래와 같이 산정하고 있다.

자동차선, 컨테이너선, 액체화물선을 위주로 입,출항지의 평균거리와 선종별 속도, 연료사용량을 고려하여 LNG수요량을 추정하였다. 해운선사들로 부터 항해거리, 평균 항속, 연료소모량 등을 파악하고 항해에 필요한 연료의 소모량을 계산하였다. 일부 지역의 해상거리는 해양수산부 국립해양조사원의 해상거리표를 활용하였다.

$t = d/v$ ---------- (1)

$fc = fa \times t$ ---------- (2)

$ft = n \times fc$ ---------- (3)

---

16) 김기동 외(2017:69-70), “해상부유식 LNG 벙커링 터미널 시범사업을 위한 울산항 LNG 벙커링 수요전망에 관한 연구”, 「한국가스학회지」, 제21권 제1호, 한국가스학회.

Collection @ kmou

여기서 t는 운항소요시간, d는 운항거리, v는 평균항속, fc는 운항에 따른 연료소모량, fa는 선종별 평균 연료소모율, ft는 총 연료소모량, n은 입출항 선박수.

입출항 선박수와 연료소모량을 곱하여, 전체 선박연료량을 산출하였다. 식(3)에서 얻은 연료량이 전부 LNG를 연료로 사용하였을 경우로 가정하여 총 LNG 사용량을 예측하였으며, 연도별 선박들의 예상 입출항수, 선박발전전망, LNG 추진선의 증가 등의 변수를 긍정적인 경우와 부정적인 경우로 나누어 고려하였다. 타 지역으로 입출항하는 선박도 지역별 평균거리를 해상거리표와 선사의 협조를 받아 계산하였다. 액체화물운반선들의 주요 입출항지는 일본, 중국, 아시아지역 등이며 위와 같은 방법으로 선종별 LNG 벙커링 수요량을 구하였으며, '울산항 LNG벙커링 수요'를 Table 8에 예측하였다. 2030년 LNG벙커링 수요가 최대 900천 톤을 보여주고 있다. 2015년 한국가스공사의 가스판매량이 약 31,456천 톤인 것을 감안하면, '15년 전체 가스판매량 대비 약 3% 달하는 물량임을 알 수 있다. 울산항 LNG벙커링 수요전망 결과로 추진할 수 있는 LNG벙커링 인프라는 2020년까지는 Truck to Ship방식의 LNG벙커링의 소규모 벙커링으로 시작하고, 2025년에는 통영 혹은 삼척LNG터미널을 기반으로 하는 LNG벙커링 선박이나 LNG벙커바지를 이용하여야 하며, 340천 톤 이상의 수요가 발생하는 2025년 이후는 경제성을 고려하여 FLBT의 추진이 필요하다.

Table 8 LNG bunkering demand forecast for

Year	Min.	Max.
2020	100	320
2025	340	700
2030	350	900
2035	1000	1200

Unit : k ton

자료 : 김기동 외(2017:70), "해상부유식 LNG 벙커링 터미널 시범사업을 위한 울산항 LNG 벙커링 수요전망에 관한 연구", 「한국가스학회지」, 제21권 제1호, 한국가스학회.

상기 연구 결과와 같이 울산항에서의 LNG벙커링 수요는 지속적으로 증가할 것으로 예상되며, 수요량 변화에 맞추어 점점 더 높은 수준의 인프라를 구축하도록 장기적이고 구체적인 인프라 구축 계획의 수립이 필요하다고 판단된다.

Collection @ kmou

2.3.2.2 울산항의 LNG벙커링 시행 계획

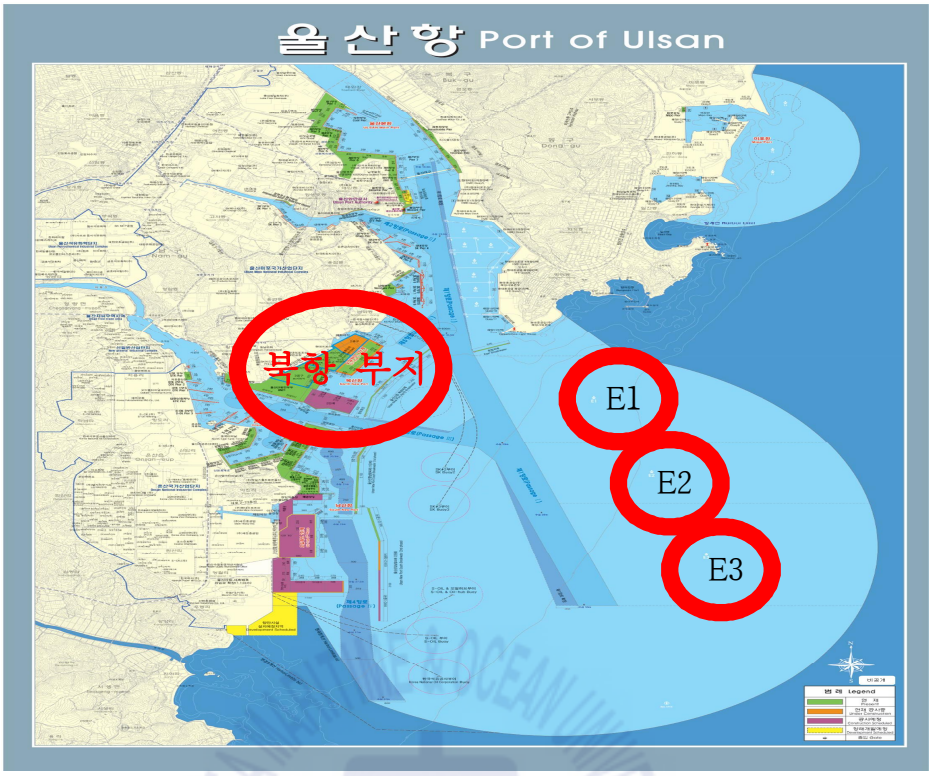
울산항은 동북아 석유 물류의 중심거점으로 거듭나기 위해 2008년부터 울산항 동북아 오일허브 사업을 추진해왔다. 울산항만공사, 한국석유공사, 정부 등이 협력하여 추진하던 울산항 동북아 오일허브 사업은 투자자본의 철회, 국제 유가의 변동성 등의 영향으로 사업 진행이 지지부진해진 상태이다. 이러한 상황을 타개하고 새로운 울산항의 발전방안으로 동북아 오일/가스허브 터미널 사업이 새로이 구상되고 있는 상황이다. 한국석유공사를 주체로 당초 울산항 오일허브터미널 사업 1단계(북항사업)의 내용을 석유제품 전용사업이 아닌 석유와 LNG/LPG를 복합 취급하는 터미널로 개발한다는 내용이다. 한국석유공사는 이러한 사업의 추진을 위해 사업계획을 수립하고 기획재정부의 예비타당성조사를 받고 있다.

SK가스는 LNG직도입 및 LNG화력발전 사업 등 석유/가스 복합 터미널 사업에 참여할 계획이다. SK가스는 한국석유공사의 종속회사이며 울산 지역에 석유/가스 복합터미널 운영사업을 검토 중인 코리아에너지터미널(주)의 지분을 인수 검토 중이다. 상기와 같은 석유/가스 복합 터미널 사업은 사업규모 6,160억 원 건설 예정 기간은 2020~2024년이며 2024년에 상업 가동 예정이다.[17]

이렇듯 울산항은 여러 기관과 기업의 협력을 통해 친환경 에너지 취급을 확대하고 LNG저장, LNG발전, LNG벙커링, LNG선박 도입 등을 실현하는 LNG종합 클러스터 조성을 계획 중이다. 울산 신항의 북항을 석유/가스 복합취급 터미널로 개발하면 북항을 중심으로 LNG벙커링 산업이 시행되어질 것으로 전망된다.

17) 김재형(2019), 가스신문 “SK가스, 코리아에너지터미널(주) 주식인수 검토”, <http://www.gasnews.com/news/articleView.html?idxno=88989>

Collection @ kmou



자료 : 울산항만공사 홈페이지

Fig. 25 울산항 항세도

2.3.2.3 울산항에 적용 가능한 LNG벙커링 방식에 관한 고찰

울산항에서는 입출항 선박의 선종 및 크기, 연료 공급 방식에 따라 여러 가지 시행방안의 활용이 가능할 것으로 예상된다. 정박 중 혹은 묘박 중인 선박에 LNG벙커링 전용선박이 접근하여 STS(Ship To Ship)으로 LNG를 공급하는 방식이 가장 보편적인 방안이 될 것으로 예상되며, 소형선박의 경우 LNG탱크로리 트럭을 이용한 TTS(Truck To Ship) 방식도 가능할 것으로 예상된다. 울산항에서는 현재 벙커링 암이나 벙커링 호스를 이용하여 정박 중 벙커링을 시행하고 있지 않지만 LNG벙커링의 경우 LNG 추진선 전용부두를 구축하고 LNG벙커링 암을 활용한 PTS(Pipeline/Terminal To Ship)방식도 가능할 것으로 생각된다. LNG벙커링 수요가 일정 수준 이상으로 증가하였을 때 효율적인 LNG연료의 공급을 위하여 FLBT(Floating LNG Bunkering Terminal, 해상부유식 LNG벙커링 터미널)방식의 도입도 고려 중이다.

기존의 벙커 C유 급유 방식과 마찬가지로 울산항 묘박지에 대기 중인 LNG연료추진

Collection @ kmou

선박에 벙커링 전용선이 LNG를 공급하는 방식이 가장 효율적일 것으로 예상되나 여러 가지 상황을 고려하여 기존의 LNG벙커링 방식이 모두 제공 가능하도록 인프라를 구축하는 것이 LNG벙커링 허브항만으로서의 경쟁력을 갖추는데 유리할 것으로 판단된다.

Collection @ kmou

제3장 연구방법 및 연구설계

3.1 AHP 기법에 대한 고찰

3.1.1 AHP 분석의 개념

특정 문제의 해결을 위한 대안들 중 최적 대안을 선정하거나 대안들 간의 우선순위를 선정하는 방식으로 AHP(Analytic Hierarchy Process, 계층화분석과정)기법을 활용하기로 한다.

AHP기법은 선택을 위한 모형 중 보상형 모형에 해당하며 이는 개별로 평가된 기준들이 서로 간에 영향을 주는 모형이다. 즉, 한 기준에서의 열등함이 다른 기준에서의 우월함으로 상호 보완될 수 있는 선택 모형인 것이다. 이를 위해 선택 문제에 대한 각 기준들의 상대적 중요도(가중치)와 각 기준들 하에서 각 대안들의 상대적 선호도(매력도)를 수치화하는 방식을 사용하고 있다.

다 기준, 다 대안에 대한 의사 결정에서 인간의 사고능력은 한계가 있다. AHP는 당면 문제를 한꺼번에 해결하려 하지 않는다. 해당 문제를 인간이 효율적으로 사고할 수 있는 작은 문제로 나누고 작은 문제들을 하나씩 해결한 후 해결책들을 종합하여 본 문제를 해결하는 방식이다. AHP는 문제를 인간의 사고력으로 감당할 수 있는 작은 단위로 나누기 위해 계층구조화(hierarchy)를 이용한다

상기에 설명한 바와 같이 AHP기법은 다 기준, 다 대안의 선택문제에서 계층구조화 기법을 활용하며 계층구조는 크게 목표, 기준, 대안의 3단계로 구성된다. 또 각 단계는 세부 단계로 나누어 구성이 가능하다. 계층구조화를 활용하여 본 문제를 작은 문제의 단위로 쪼개는 것이 가능해진다.

Collection @ kmou

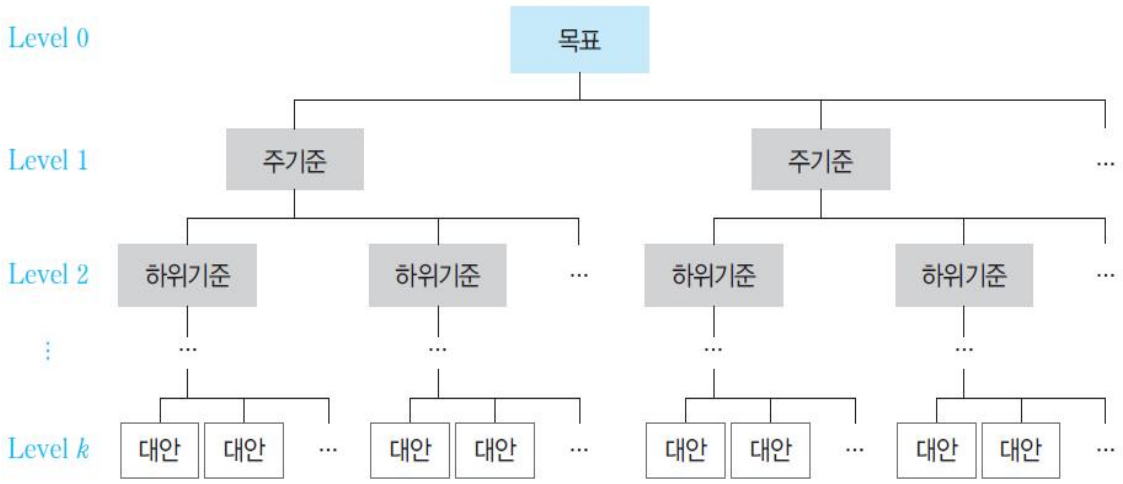


Fig. 26 선택문제의 계층구조화

3.1.2 AHP의 분석 및 절차

AHP기법은 각 기준들의 가중치와 각 기준 하에서 대안들의 매력도 측정을 위해 이원비교(쌍대비교, Pairwise energy terminal)를 활용한다. 인간의 판별 능력은 2개의 개체를 상호비교 할 때 가장 극대화 되며 이원비교를 통해 다 기준 다 대안들에 대해 비슷비슷한 비교를 중복적으로 시행함으로써 판단의 정확도를 높일 수 있다. 이렇듯 계층화된 다 기준과 다 대안들을 이원비교를 통해 상호 비교함으로써 높은 수준의 선택문제의 해결책을 도출할 수 있다.

상기에 설명한 바와 같이 문제해결을 위한 여러 가지 대안과 그 대안들을 평가하기 위한 다양한 기준이 존재하는 문제에서 AHP기법을 활용하는 것은 합리적이고 정확한 판단을 위한 효과적인 방안이 될 수 있으며, AHP기법을 활용한 문제해결 절차를 요약하면 아래와 같다.

1) 문제의 분해, 주 선택 문제를 작은 단위의 문제로 쪼개서 해결 후 해결책을 취합함으로써 본 문제를 해결하는 방식이므로 먼저 문제를 단계별로 나누는 과정이 필요하다. 이때 사용하는 방식이 계층구조화이다.

2) 계층구조화한 의사결정기준들의 상대적중요도(가중치)와 대안들의 상대적선호도(매력도)를 계량화함으로써 선택 문제를 해결하게 된다. 이를 위해 각 요소들 간의 이원비

Collection @ kmou

교 방식을 활용한다. AHP기법에서의 이원비교에서는 1에서 9까지의 비율척도를 활용하며 각 수치의 내용은 하기의 표와 같다.

중 요 도	정 의
1	동일한 정도로 중요 (Equal Importance)
3	약간 더 중요 (Moderate Importance)
5	중요 (Strong Importance)
7	매우 중요 (Very Strong Importance)
9	절대 중요 (Absolute Importance)
2, 4, 6, 8	위의 수치들의 중간 정도의 중요성

Fig. 27 AHP 이원비교 비율척도표

3) 판단의 일관성을 측정해야한다. 이원비교 결과가 유효하게 이용될 수 있을 만큼 일관성을 갖추었는지 일관성 비율(CR)을 이용해 측정한다. 일반적으로 일관성 비율이 0.1를 초과할 시 해당 이원비교는 일관성이 결여된 것으로 판단되어 수정조치 혹은 재비교의 수행 등이 요구된다.

4) 계층별 의사결정 요소들의 상대적 중요도와 성대적 선호도를 계량화하여 도출한다.

5) 모든 요소들의 가중치와 매력도를 결합하여 대안들의 종합적인 매력도를 산출한다. 이 결과에 따라 대안의 우선순위를 결정한다.

3.2 연구 설계 및 설문 조사

3.2.1 연구 설계

본 연구는 LNG벙커링에 관한 국내·외 문헌과 자료들을 바탕으로 울산항에 LNG벙커링 산업을 도입 시에 고려해 볼 수 있는 LNG벙커링 방안 4가지 방식을 대안으로 설정하였다. 각각의 대안은 STS, PTS, TTS, PTTS이며 각 대안 중 중요도를 산출하기 위한

Collection @ kmou

의사결정기준을 계층화하여 설정하였다. 그 후 한국LNG벙커링산업협회 관계자와 유선상으로 인터뷰를 진행하여 기술적 자문을 받고 본 연구 설계의 적정성을 검증받는 과정을 거쳤다. 계층구조화한 의사결정 기준들은 하기와 같다.

Table 9 LNG벙커링 도입시 고려할 상위기준 및 하위기준

의사결정기준	의사결정대안
운용 비용 저렴성	1) STS(Ship to Ship) : LNG벙커링 BARGE선을 통해 LNG추진선박에 LNG를 공급 2) PTS(Pipeline/terminal to Ship) : 부두에 접안하여 벙커링암/라인 등을 통해 LNG를 공급 3) TTS(Truck to Ship) : LNG탱크로리를 통해 LNG를 공급 4) PTTS(Portble tank to Ship) : LNG연료 탱크 자체를 탈/부착하는 형식으로 LNG를 공급
작업의 편의성	
방안별 수요량(이용도)	

상기와 같이 울산항 LNG벙커링 방식의 우선순위 도출이라는 의사결정문제를 파악하고 이러한 의사결정 문제를 해결하기 위한 대안들을 설정하였다. 그리고 그 대안들 간의 중요도를 다각도로 평가하고 산출하기 위해 의사결정 기준도 선정하였다.

Collection @ kmou

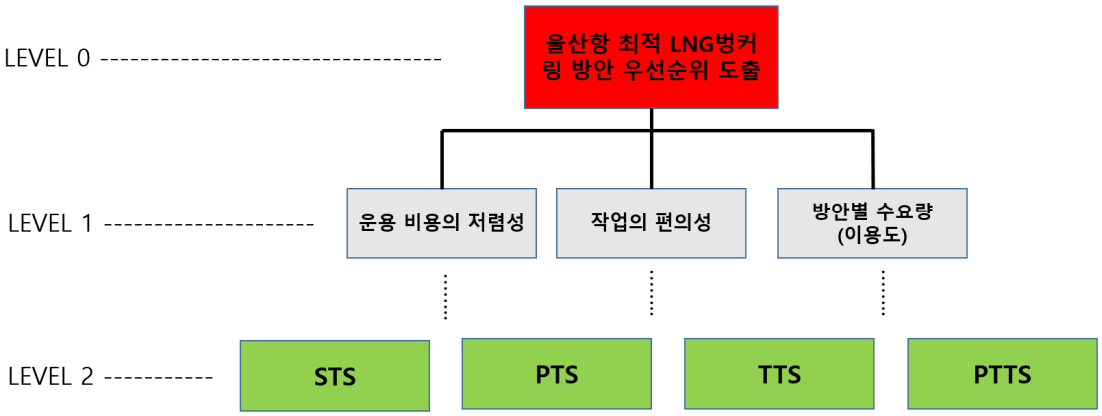


Fig. 28 울산항 최적 LNG벙커링 방안 우선순위 도출 문제 계층구조화

3.2.2 설문 조사 설계 및 시행

AHP의사결정 기법은 해당 의사결정문제에 대해 전문적인 지식과 이해를 가지고 있는 전문가들의 의사를 도합하여 결론을 도출하게 된다. 계층화된 기준 및 의사결정 대안들에 대한 전문적이고 객관적인 판단을 할 수 있는 조사대상자들을 선정하여 조사를 진행하여야 의미 있고 객관적인 연구 결과가 도출될 수 있다. 이러한 이유로 조사 대상자들을 해운, 조선, 항만 관련 분야의 공공기관, 기업체, 연구기관 등의 실무 경력자들로 선정하였으며 울산항만공사, 울산항만청, 현대중공업, 울산항 소재 항만관련 기업체, 일본선급협회 울산지부 등 가능한 울산소재의 기관과 기업체 종사자 위주의 설문을 실시하였다. 직군의 분류는 해운업, 항만산업, 조선업, 해양관련 정부/공공기관/협회, 해양관련 학계/연구기관으로 분류하여 직군 별로 별도의 결과가 도출 가능하도록 설문을 실시하였다.

설문지의 작성 및 배부는 onestopsurvey.com의 R프로그램 기반의 AHP분석 프로그램을 활용하였다. 해당 사이트에서 상기에서 구상한 울산항 LNG벙커링 최적 방안 우선순위 도출의 계층화 분석이 가능하도록 설문지를 작성 후 E-Mail 및 모바일 기기를 통한 설문지의 배부와 회수를 실시하였다. 가능한 많은 의견을 수렴하고, 일관성지수가 연구에 활용하기 적절한 설문결과들을 분별하기 위해 2019년 11월 15일부터 2019년 12월 16일까지 충분한 기간 동안 해당 설문 조사를 실시하였다.

총 57명의 유효한 설문조사가 회신되었고 직군별, 직급별, 근무경력별로 분류하면 결

Collection @ kmou

과는 다음과 같다. 우선 직군별로는 선박관리업 3명(5.3%), 정부/공공기관/협회 17명(29.8%), 조선업 9명(15.8%), 학계/연구기관 5명(8.8%), 항만산업 10명(17.5%), 해운업 13명(22.8%), 직급별로는 기타 13명(22.8%), 대리/사원급 17명(29.8%), 부장/과장급 18명(31.6%), 임원급 7명(12.3%), CEO 2명(3.5%), 근무경력별로는 10년 미만 28명(49.1%), 10년 이상~20년 미만 18명(31.6%), 20년 이상~30년 미만 5명(8.8%), 30년 이상 6명(10.5%)과 같이 설문에 응답하였다.

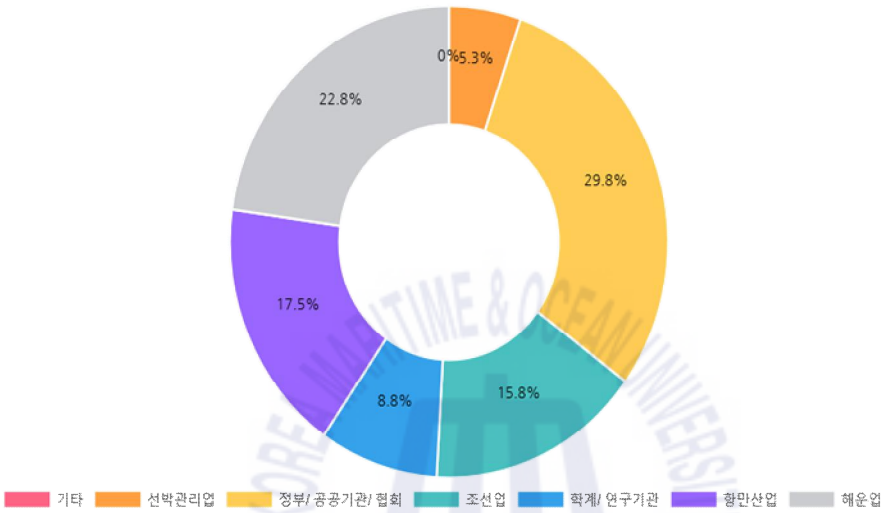


Fig. 29 직군별 응답 비율

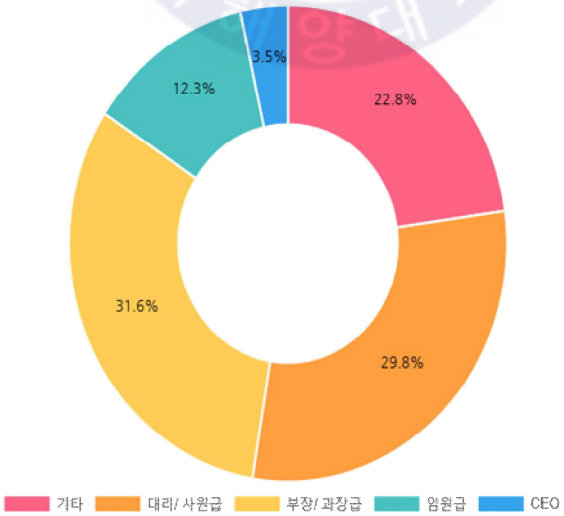


Fig. 30 직급별 응답 비율

Collection @ kmou

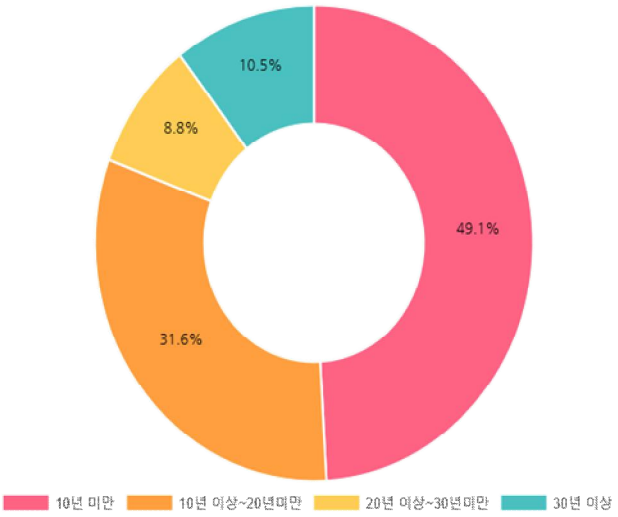


Fig. 31 근무경력별 응답 비율

Collection @ kmou

제4장 연구 분석 결과

4.1 연구 분석 결과

4.1.1 의사결정 기준 간의 상대적 중요도 분석 결과

제3장의 연구 설계에 기술한 바와 같이 울산항 최적 LNG벙커링 방안 우선순위 도출을 위한 의사결정기준들을 운용비용의 저렴성, 작업의 편의성, 방안별 수요량으로 정하고 각 기준들 간의 이원비교를 통한 상대적 중요도를 도출하였다. 일관성 지수는 2.1%로서 AHP분석에 적합한 수치를 나타내었다. 결과는 아래의 그래프와 같이 운용비용의 저렴성이 44.12%로 상대적 중요도가 가장 높게 도출되었고, 작업의 편의성 31.86%, 방안별 수요량 24.02%로 각각 결과가 도출되었다. 해운, 항만, 조선 관련 전문가들이 울산항 LNG벙커링 운영 방안의 상대적 우선순위를 결정하기 위해 비용적인 측면을 가장 많이 고려하였다는 것으로 판단할 수 있겠다.

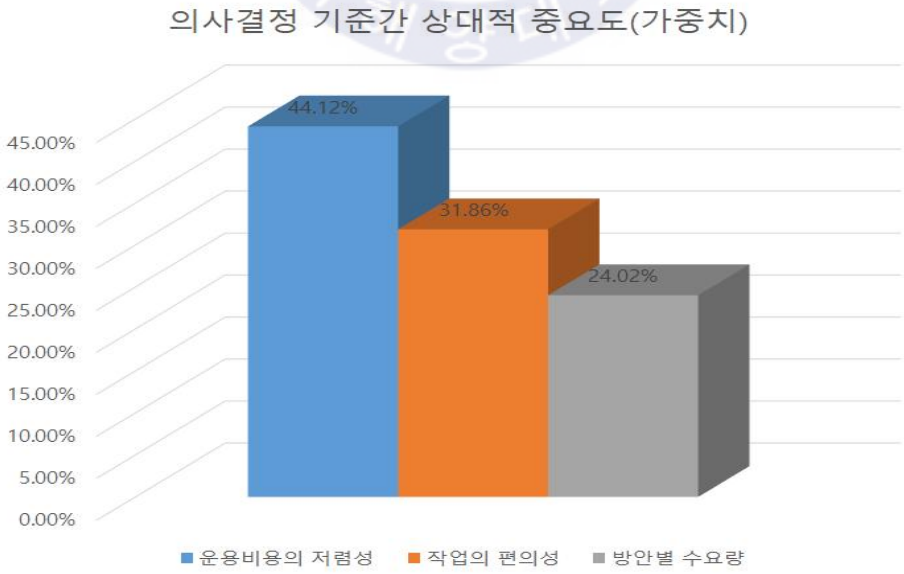


Fig. 32 의사결정기준간의 상대적 중요도

Collection @ kmou

4.1.2 의사결정 대안 간의 상대적 선호도 분석 결과

의사결정 대안들 간의 상대적 선호도 분석 결과는 각 의사결정 기준하에서 다음과 같이 도출되었다. 운용 비용의 저렴성 기준하에서 일관성 지수는 0.2%로 AHP분석에 적합한 수치를 나타내었으며, 각 대안들 간의 매력도는 STS(40.43%), PTS(34.76%), TTS(12.33%), PTTS(12.48%)로 STS방식의 상대적 선호도가 가장 높게 산출되었다. 작업의 편의성 기준하에서 일관성 지수는 0.0% 였으며, 대안들 간의 상대적 선호도는 STS(35.29%), PTS(36.82%), TTS(13.935), PTTS(13.96%)로 STS방식과 PTS방식이 거의 대등한 수치를 나타내었다. 방안별 수요량 기준 하에서는 일관성 지수 1.1%, STS(39.84%), PTS(34.33%), TTS(13.18%), PTTS(12.65%)로 STS방식의 상대적 선호도가 가장 높게 산출되었다.

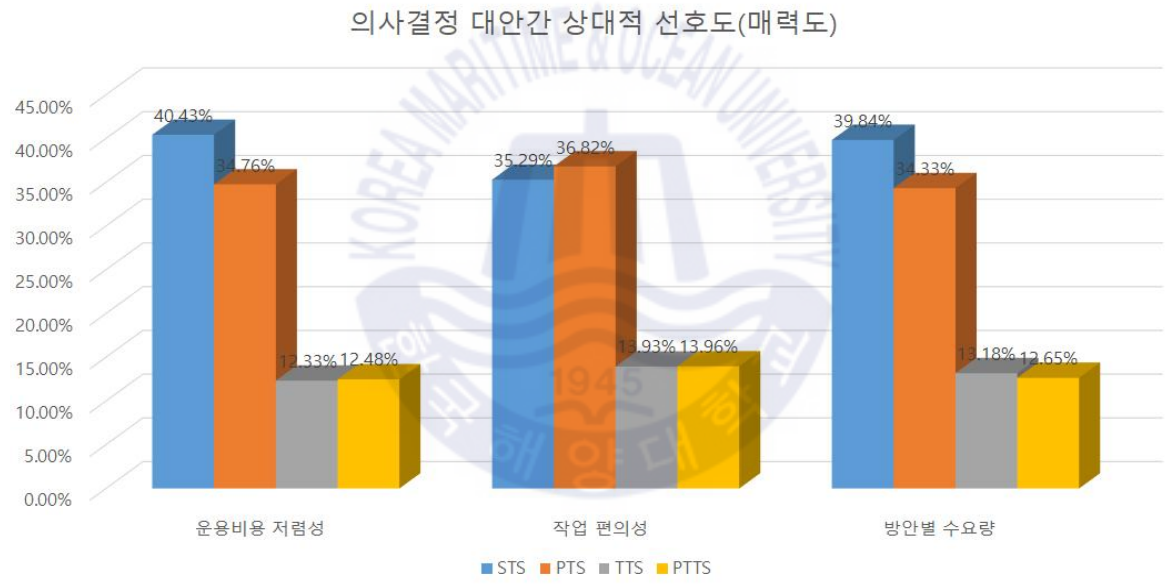


Fig. 33 의사결정 대안 간의 상대적 선호도

4.1.3 의사결정 기준과 대안 간의 종합 분석

울산항 최적 LNG벙커링 방안의 우선순위를 도출하기 위한 의사결정 기준들 간의 상대적 중요도와 의사결정 대안들 간의 상대적 선호도를 AHP분석을 통하여 도출하였다. 이 결과들을 종합하여 의사결정 기준들과 대안들 간의 종합중요도를 정리하면 아래의 표와 같다.

Collection @ kmou

Table 10 의사결정 기준과 대안의 종합중요도

의사결정기준	가중치	의사결정대안	선호도	순위
운용 비용의 저렴성	44.12	STS	17.84	1
		PTS	15.34	2
		TTS	5.44	8
		PTTS	5.51	7
작업의 편의성	31.86	STS	11.24	4
		PTS	11.73	3
		TTS	4.44	10
		PTTS	4.45	9
방안별 수요량	24.02	STS	9.57	5
		PTS	8.25	6
		TTS	3.17	11
		PTTS	3.04	12

상기의 표에서 확인할 수 있듯이 종합적인 중요도는 운용 비용의 저렴성 기준 하에서 STS방식이 가장 선호되고 있다. 이 결과로부터 설문에 응한 전문가들이 비용적인 측면을 중요시 여겼고, STS 방식을 운용 비용의 측면에서 가장 효율적인 방안으로 판단했다고 분석할 수 있겠다. 또한 모든 의사결정 기준 하에서 STS방식과 PTS방식의 선호도가 대등한 수준으로 높게 도출되는 것을 확인할 수 있다. 이는 설문에 응한 관련 분야 전문가들이 비용적인 측면, 작업의 효율적인 측면, 추후 울산항에서의 예상 수요 측면에서 가장 효율적인 LNG벙커링 방식으로서 STS방식과 PTS방식을 선호하는 것으로 분석할 수 있겠다.

설문 결과를 직군별로 분류하여 AHP분석을 시행한 결과 선호도의 수치는 조금씩 차이가 있으나 의사결정 기준의 상대적 중요도를 비교하였을 때 운용 비용의 저렴성이 가장 높은 중요도를 나타내었고, 의사결정 대안들 간의 상대적 선호도 또한 STS방식이 가장 선호되는 경향을 보여주었다. 그 결과를 아래의 표와 같이 정리하였다.

Collection @ kmou

Table 11 직군별 종합중요도

직군	종합항목	선호도	순위
해운업	(운용비용 관점에서) STS	15.2%	1
	(작업 편의성 관점에서) STS	13.87%	2
항만산업	(운용비용 관점에서) STS	19.22%	1
	(운용비용 관점에서) PTS	16.96%	2
학계,연구기관	(운용비용 관점에서) STS	18.91%	1
	(운용비용 관점에서) PTS	17.27%	2
조선업	(운용비용 관점에서) STS	28.58%	1
	(운용비용 관점에서) PTS	15.3%	2
정부,공공기관,협회	(작업 편의성 관점에서) PTS	13.83%	1
	(운용비용 관점에서) STS	13.41%	2
선박관리업	(운용비용 관점에서) STS	46.37%	1
	(작업 편의성 관점에서) STS	13.7%	2

4.2 종합적인 분석

설문결과를 AHP기법으로 분석한 결과 설문에 응한 전문가들은 울산항 최적 LNG벙커링 방안을 선정하는데 있어서 운용 비용적인 측면을 가장 중요하게 고려한 것으로 판단할 수 있겠다. 또한 4가지의 LNG벙커링 방식 중 STS방식을 비용적 측면, 작업 편의성 측면, 향후 예상 수요 측면에서 가장 효율적인 방안으로 이해하고 있음을 확인할 수 있었다. 현재 울산항에서 선박 연료유(벙커 C유)를 공급하는 방식도 대부분 벙커링 바지를 통한 STS 급유가 주를 이루는 현황을 고려할 때 LNG벙커링에 있어서도 STS방식이 가장 보편적인 LNG벙커링 방안이 될 가능성이 크다고 생각된다.

울산항에 입항하는 선박의 상황에 따라 다양한 방식의 LNG벙커링이 요구될 수 있다. LNG벙커링 허브항만을 선점하기 위해서는 STS방식뿐만 아니라 PTS, TTS, PTTS 방식의 LNG벙커링이 모두 가능한 항만 인프라를 구축할 필요가 있다고 생각된다.

Collection @ kmou

제5장 결론

5.1 연구 요약 및 의의

본 연구에서 문헌조사와 이론적 고찰을 통해 석유계 연료의 배출가스가 인류의 건강과 지구의 환경에 막대한 피해를 주고 있다는 것을 확인하였다. 이에 대응하여 국제사회는 대기오염물질의 배출에 대한 강력한 규제를 시행 중이며, 국제해운 부문에서도 선박기인 해양배출가스에 대한 규제를 IMO의 주도로 시행 중임을 확인하였다.

국제해운부문에서의 대기오염물질 저감을 위한 다양한 대안들 중 LNG연료추진선박의 도입이 가장 효율적인 방안으로 주목받고 있으며, 이미 전 세계 주요항만에서 LNG연료추진선박에 LNG를 연료로 공급하기 위한 LNG벙커링 산업이 도입되고 발전 중이다. 이러한 변화에 발맞추어 국내의 주요 항만도 LNG벙커링 산업을 도입하기 위한 여러 가지 구상과 노력을 시행 중이며, 국내 액체화물 물동량 1위의 울산항에서도 많은 수요가 있을 것으로 예상되고 있다.

울산항에서 LNG벙커링 산업을 시행하기 위한 최적의 방안을 도출하기 위해 선행연구 분석과 문헌조사를 통하여 다양한 LNG벙커링 방안에 대하여 알아보았고, 최종적으로 STS, PTS, TTS, PTTS방식을 설정하였다. 이 4가지 방안들 중 울산항의 현황과 LNG벙커링 산업 발전 예상, 예상 수요도 등을 감안하여 AHP분석 기법을 통한 각 대안들 간의 상대적 중요도를 분석하였고, 그 결과는 기존의 선박유 급유방식과 동일한 STS(Ship To Ship)방식이 가장 적합한 방안으로 도출되었다. 그리고 대안을 결정하기 위해 설정하였던 계층화된 의사결정기준들 간의 상대적 중요도 분석에서는 운용 비용의 저렴성이 상대적 중요도가 가장 높게 산출되어 울산항에 적합한 LNG벙커링 방식을 결정하는 데에 비용적인 측면을 가장 중요하게 고려해 보아야 할 사항으로 결정지었다.

아직 전 세계적으로도 인프라가 부족하고 국내에서는 TTS방식 이외에는 실제 거의 시행되고 있지 않는 산업 분야인 LNG벙커링 이지만, 환경규제가 본격화 되는 시점부터 본격적으로 해당 산업의 발전이 이루어지고, 많은 수요가 있을 것으로 예상된다. 앞으로 선박 연료뿐만 아니라 다양한 산업분야에서 LNG를 연료로 활용하는 경우가 지속적으로 증대될 것으로 예상되며 이러한 변화에 따라 각종 산업 및 해운분야에서도 LNG관련 산

Collection @ kmou

업을 통한 새로운 수익의 창출을 도모해야 할 것으로 생각된다. 그 중 구체적으로 그 발전 방안이 논의 되고 있는 해운부문에서의 LNG벙커링 산업은 해운강국인 대한민국이 주목해야 할 산업이다. 국내 주요 항만인 울산항에서의 LNG벙커링 도입은 반드시 필요한 사항이며 본 연구를 통해 울산항에서의 최적 LNG벙커링 방안을 도출하였다는 것에 의의가 있다고 하겠다.

5.2 한계점 및 향후 연구과제

본 연구는 선행연구와 국내·외 문헌조사 및 자료조사를 통하여 울산항에서의 LNG벙커링 산업 시행방안에 대해 고찰해 보았다. 하지만 아직 본격적으로 시행되지 않고 있는 산업분야에 대한 연구와 결론을 도출하는 과정에서 본 연구의 한계점이 있다고 생각한다. LNG연료추진선박들의 점진적인 증가세에 맞추어 울산항 LNG벙커링 산업의 발전도 점진적으로 이루어질 것으로 생각된다. 그래서 소규모 벙커링 방식인 TTS방식부터 점차 대규모 공급 방식인 STS방식으로 수요가 증가해 나갈 것으로 판단된다. 울산항에서의 LNG벙커링 산업의 규모가 커지고 보편화 되었다는 가정 하에 본 연구의 결과 도출이 가능하다고 생각된다. 울산항의 LNG벙커링 산업 초기 양상은 본 연구에서 도출된 결과와 부합하지 않을 수도 있다고 생각된다.

향후에 실제로 LNG벙커링 산업이 시행되고 난 후에는 울산항 LNG벙커링 산업의 현황을 주제로 연구를 진행하여 개선점과 실질적 발전방안을 모색하여 울산항의 LNG벙커링 산업이 경쟁력을 갖추기 위해 필요한 사항을 연구해볼 필요가 있다고 생각한다.

Collection @ kmou

참고문헌

[국내문헌]

강석환(2018), “녹색해운 인프라 구축 우선순위 선정에 관한 연구.” 석사학위논문. 부산: 한국해양대학교.

권대희(2015), “4행정 디젤기관의 배기가스 측정결과에 따른 IMO Tier iii 대응을 위한 연구.” 석사학위논문. 부산:한국해양대학교.

김기동 외(2017), “해상부유식 LNG 벙커링 터미널 시범사업을 위한 울산항 LNG 벙커링 수요전망에 관한 연구.” 한국가스학회학회지. 제 21권 제1호.

김근섭 외(2015), “LNG 추진선 도입에 따른 항만의 대응전략”, 한국해양수산개발원.

김은주 외(2018), “IMO의 국제해운부문 온실가스 배출규제의 개선방향에 관한 연구”

김종현 외(2015), “LNG연료추진선 및 벙커링 기술로드맵” 한국산업기술평가관리원

김학소・최광호(2018), “우리나라 LNG벙커링 허브항만 개발 및 운영에 관한 연구”, 「국제상학」, 제33권 제1호, 한국국제상학회.

남현정 외(2017), “미래 신해양산업으로서의 LNG연료추진선 현황과 경쟁력 제고방안에 대한 연구”, 「전문경영인연구」, 제3호.

박준희(2014), “친환경 항만정책이 해운선사에 미치는 경제적 영향에 관한 연구”, 석사학위논문. 중앙대학교.

박재영(2017), “해운기업의 항산화물(SOx) 배출저감 최적대안에 관한 연구”, 석사학위논문. 중앙대학교.

서선애, 조성우(2014), “해상부유식 LNG벙커링 시스템 R&D사업의 경제성 분석”, 한국항만경제학회지 제 30권 제4호.

손애리(2012), “선박기인 대기오염 규제에 대한 해운기업의 인식도 및 대응전략”, 석사학위논문. 중앙대학교.

양종서 외(2015), “LNG연료추진선.벙커링산업 시장조사 및 경쟁력 분석”, 한국수출입은행

이선화(2018), “글로벌 LNG시장 변화에 다른 기회와 대응”, 「산은조사월보」, 제753호, 산업은행.

이창식(2015), “LNG벙커링 산업 진출 전략에 관한 연구”, 석사학위논문. 한양대학교.

Collection @ kmou

임지연・서정규(2019), “최근의 LNG 수급 동향과 계약 방식의 변화”, 「세계 에너지시장 인사이트」, 제19-28호.

장경석(2013), “해운환경 규제, 친환경 선박 시대의 서막”, 하나 산업정보 2013년 제2호, 하나금융경영연구소.

정재호(2016), “LNG Bunkering 사업 활성화 방안 연구”, 석사학위논문. 한양대학교.

DNV Korea(2013), “동남권 LNG 벙커링 기본계획수립 연구 “, 한국가스공사/경남에너지.

[외국문헌]

DNV-GL(2018), “Best fuel of the future”, conference & study tour , Washington State Ferries, LNG regulatory update.

Lloyd’s Register(2012), “LNG-fuelled deep sea shipping-The outlook for LNG bunker and LNG-fuelled newbuild demand up to 2025”

MEPC 59차 회의 / Marine Environment Protection Committee(2009a), “Second IMO GHG Study 2009”, MEPC. 59th session, 9

[기타자료]

김재형(2019), 가스신문 “SK가스, 코리아에너지터미널(주) 주식인수 검토”, <http://www.gasnews.com/news/articleView.html?idxno=88989>

최원영(2019), 아시아투데이 “가스공사, ‘IMO2020’ 대비 LNG벙커링 사업 박차”, <http://www.asiatoday.co.kr/view.php?key=20190808010004429>

Collection @ kmou

本 論文을 김동휘의 物流學碩士 學位論文으로 認准함

위원장 : 조 성 철 (인)
위 원 : 류 동 근 (인)
위 원 : 김 치 열 (인)

2019년 12월

한국해양대학교 글로벌물류대학원

dCollection @ kmou