



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](#)

경영학석사 학위논문

친환경 LPG 추진선박 개발의  
경제적 효과에 관한 연구

A Study on Economic Effect  
of Development of LPG Fuelled Eco-Ship



지도교수 신 용 준

2020년 02월

한국해양대학교 글로벌물류대학원

해운항만물류학과  
하헌수

本 論文을 河憲秀의 經營學碩士 學位論文으로 認准함.

委員長 金 宗 洙



委員 裴 后 錫



委員 辛 容 尊



2019年 12月 20日

韓國海洋大學校 글로벌物流大學院

## < 목 차 >

국문초록 .....	i
Abstract .....	ii
제1장 서론 .....	1
제1절 연구의 필요성과 목적 .....	1
제2절 연구의 방법 및 구성 .....	4
제2장 이론적 배경 .....	6
제1절 친환경 선박의 개념과 발전과정 .....	6
1. 친환경 선박의 개념 .....	6
2. 친환경 선박의 발전과정 .....	9
제2절 LPG 추진선박의 의의 .....	15
1. LPG의 개요와 특성 .....	15
2. LPG 추진선박의 개념 .....	17
제3절 LPG 추진선박 경제성 효과에 관한 선행연구 .....	22
1. 우리나라 LPG 수요양상 및 수입의존도 .....	22
2. 수송용 LPG 가격경쟁력 .....	24
3. LPG 차량대수 감소 및 수입가격 하락 추세 .....	29
4. LPG엔진과 디젤엔진의 연비 분석 .....	31
5. 선행연구의 시사점 .....	33

제3장 LPG 추진선박 개발 사례 .....	35
제1절 LPG 추진선박 개발 동향 .....	35
1. LPG 연료추진 ROPAX 선박 개발 동향 .....	35
2. LPG 연료추진 VLGC 선박 개발동향 .....	39
3. 소형선 개발동향 .....	41
제2절 LPG 추진선박 개발 모델 .....	43
1. ROPAX LPG 추진선박의 개발 모델 .....	43
2. VLGC (ME-LGI) 탑재 LPG 수송선박 개발 모델 .....	44
3. 소형선 개발 모델 .....	44
제3절 LPG 추진선 개발의 문제점 .....	46
1. 안전성 .....	46
2. 제도적 문제점 .....	46
제4장 LPG 추진선박 개발의 경제적 효과 분석 .....	47
제1절 소형선 경제성 분석을 위한 주요 전제 및 추정 .....	47
1. 경제성 분석의 주요 전제 .....	47
2. 비용의 추정 .....	49
제2절 연료공급가격 최저년도 기준 경제성 분석 .....	54
1. 면세 디젤유 사용 선박의 경제성 분석 .....	54
2. 면세 LPG 사용 선박의 경제성 분석 .....	57
3. 과세 디젤유 사용 선박의 경제성 분석 .....	60
4. 과세 LPG 사용 선박의 경제성 분석 .....	63

제3절 연료공급가격 10년 평균 기준 경제성 분석 .....	66
1. 면세 디젤유 사용 선택의 경제성 분석 .....	66
2. 면세 LPG 사용 선택의 경제성 분석 .....	69
3. 과세 디젤유 사용 선택의 경제성 분석 .....	72
4. 과세 LPG 사용 선택의 경제성 분석 .....	75
제4절 연료공급가격 최고년도 기준 경제성 분석 .....	78
1. 면세 디젤유 사용 선택의 경제성 분석 .....	78
2. 면세 LPG 사용 선택의 경제성 분석 .....	81
3. 과세 디젤유 사용 선택의 경제성 분석 .....	84
4. 과세 LPG 사용 선택의 경제성 분석 .....	87
제5절 LPG 추진선택의 경제성 평가 .....	90
1. 연료의 공급가격별 경제성 비교 .....	90
2. LPG 추진선택의 경제성 평가 .....	96
3. 환경적 효과 평가 .....	99
<b>제5장 결    론</b> .....	100
제1절 연구결과의 요약 .....	100
제2절 연구의 한계 및 향후 연구방향 .....	102
<b>참고 문헌</b> .....	104

## <표 목차>

<표 2-1> 친환경 선박 사례 .....	14
<표 2-2> 용도별 국내 LPG 수요추이 .....	25
<표 2-3> 유종별 유류세 .....	26
<표 2-4> 유종별 10년간 공급가격 추이 .....	27
<표 2-5> 유종별 등록차량 대수 .....	29
<표 2-6> 소나타 기준 연료가격 비교 .....	32
<표 2-7> 선행연구의 고찰 .....	33
<표 3-1> ROPAX 선형의 LPG 사용 HAZID 결과표 .....	38
<표 3-2> LPG연료 추진선박 개발의 제도적 문제점 .....	46
<표 4-1> 소형선 건조 가격 세부별 구분 .....	49
<표 4-2> 소형선 유지관리 비용의 추정 .....	50
<표 4-3> 공급가격 최저년도(2016) 기준 .....	51
<표 4-4> 공급가격 10년 평균 기준 .....	51
<표 4-5> 공급가격 최고년도(2012) 기준 .....	51
<표 4-6> 2018년도 어가유형 및 형태별 소득 통계 .....	53
<표 4-7> 최저년도 면세 디젤유 사용 선박의 총비용의 추정 .....	54
<표 4-8> 최저년도 면세 디젤유 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정 .....	55
<표 4-9> 최저년도 면세 디젤유 사용 선박의 경제성 평가 결과 .....	56
<표 4-10> 최저년도 면세 LPG 사용 선박의 총비용의 추정 .....	57
<표 4-11> 최저년도 면세 LPG 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정 .....	58
<표 4-12> 최저년도 면세 LPG 사용 선박의 경제성 평가 결과 .....	59
<표 4-13> 최저년도 과세 디젤유 사용 선박의 총비용의 추정 .....	60
<표 4-14> 최저년도 과세 디젤유 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정 .....	61
<표 4-15> 최저년도 과세 디젤유 사용 선박의 경제성 평가 결과 .....	62
<표 4-16> 최저년도 과세 LPG 사용 선박의 총비용의 추정 .....	63
<표 4-17> 최저년도 과세 LPG 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정 .....	64

<표 4-18> 최저년도 과세 LPG 사용 선박의 경제성 평가 결과 .....	65
<표 4-19> 10년평균 면세 디젤유 선박의 총비용의 추정 .....	66
<표 4-20> 10년평균 면세 디젤유 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정 .....	67
<표 4-21> 10년평균 면세 디젤유 사용 소형선의 경제성 평가 결과 .....	68
<표 4-22> 10년평균 면세 LPG 사용 선박의 총비용의 추정 .....	69
<표 4-23> 10년평균 면세 LPG 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정 .....	70
<표 4-24> 10년평균 면세 LPG 사용 선박의 경제성 평가 결과 .....	71
<표 4-25> 10년평균 과세 디젤유 사용 선박의 총비용의 추정 .....	72
<표 4-26> 10년평균 과세 디젤유 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정 .....	73
<표 4-27> 10년평균 과세 디젤유 사용 선박의 경제성 평가 결과 .....	74
<표 4-28> 10년평균 과세 LPG 사용 선박의 총비용의 추정 .....	75
<표 4-29> 10년평균 과세 LPG 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정 .....	76
<표 4-30> 10년평균 과세 LPG 사용 선박의 경제성 평가 결과 .....	77
<표 4-31> 최고년도 면세 디젤유 사용 선박의 총비용의 추정 .....	78
<표 4-32> 최고년도 면세 디젤유 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정 .....	79
<표 4-33> 최고년도 면세 디젤유 사용 선박의 경제성 평가 결과 .....	80
<표 4-34> 최고년도 면세 LPG 사용 선박의 총비용의 추정 .....	81
<표 4-35> 최고년도 면세 LPG 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정 .....	82
<표 4-36> 최고년도 면세 LPG 사용 선박의 경제성 평가 결과 .....	83
<표 4-37> 최고년도 과세 디젤유 사용 선박의 총비용의 추정 .....	84
<표 4-38> 최고년도 과세 디젤유 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정 .....	85
<표 4-39> 최고년도 과세 디젤유 사용 선박의 경제성 평가 결과 .....	86
<표 4-40> 최고년도 과세 LPG 사용 선박의 총비용의 추정 .....	87
<표 4-41> 최고년도 과세 LPG 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정 .....	88
<표 4-42> 최고년도 과세 LPG 사용 선박의 경제성 평가 결과 .....	89
<표 4-43> 연료공급가격 최저값 평균값 최고값 기준 .....	90
<표 4-44> 공급가격 최저년도 기준 경제성 분석 결과 비교 .....	91
<표 4-45> 공급가격 10년평균 기준 경제성 분석 결과 비교 .....	92
<표 4-46> 공급가격 최고년도 기준 경제성 분석 결과 비교 .....	93

<표 4-47> 먼세LPG 사용선박의 경제성 평가 .....	96
<표 4-48> 과세LPG 사용선박의 경제성 평가 .....	97
<표 4-49> 국내 소형선박 척수 .....	98
<표 4-50> LPG 선박 국내어선 적용 시 경제적 효과 .....	98



## <그림 목차>

<그림 2-1> MAN B&W ME-LGI 엔진 .....	18
<그림 2-2> ME-LGI 엔진, 연료서비스 탱크 및 배관의 개략도 .....	19
<그림 2-3> 국내 LPG 소비량 추이 .....	22
<그림 2-4> 에너지 세제 개편에 따른 유종간 상대가격비 .....	23
<그림 2-5> 국내 1차 에너지원 공급비중 추이 .....	23
<그림 2-6> 완성차 연료별 연비 .....	31
<그림 2-7> 완성디젤차 대비 연비 저하율 .....	31
<그림 3-1> ROPAX 이미지 및 일반배치도 .....	36
<그림 3-2> 레르 선외기 엔진 .....	41
<그림 3-3> LPG 추진선박 ROPAX 모델 및 건조사양 .....	43
<그림 3-4> LPG연료 추진 소형선 모델 .....	45
<그림 4-1> 연안 소형선박 그림 및 제원 .....	48
<그림 4-2> 2016년 낚시어선업 매출현황 .....	52
<그림 4-3> 순현재가치 비교 .....	94
<그림 4-4> 내부수익율 비교 .....	95
<그림 4-5> 비용편익율 비교 .....	95
<그림 4-6> Environmental Performance of LPG .....	99

# 친환경 LPG 추진선박 개발의 경제적 효과에 관한 연구

하 현 수

한국해양대학교 글로벌물류대학원  
해운항만물류학과

## 국문초록

우리나라는 2020년 9월부터 국내주요5개 항만을 황산화물질 배출규제 해역으로 지정하여 운영할 예정이다. 국내연안을 운항하는 선박에도 배출가스규제는 피해갈 수 없는 시급히 해결해야 할 과제가 되었다. 이제 선박은 저감설비 탑재, 저유황유 사용, 가스연료 사용 중 택일하여 운항에 적용해야한다. 이에 국내 연안운항 선박에 친환경 연료인 LPG를 적용하였을 때, 디젤유 대비 경제성이 있는지, 경제성이 있다면 구체적인 경제적 효과를 수치로 구현할 수 있는가에 대해 연구하였다. 선행연구로 우리나라의 LPG 수요 및 수입현황, 수송용으로써의 가격 경쟁력 및 이미 분석되어진 자동차 시장에서의 LPG 엔진의 연비와 효율을 조사하였다. 그를 토대로 우리나라에서 연구되고 있는 LPG 추진선 개발 사례 중, 자동차용 LPi 엔진을 연안 레저 선박에 적용하는 연구사례를 선정하여 기존의 디젤유사용 선박과 LPG 사용 선박의 경제성을 비교분석 하였다. 기 연구되어진 자동차의 디젤엔진과 LPi엔진의 경제성 비교 연구를 연안 해운 분야에 적용하여 보다 더 신뢰도 높은 연구 결과를 도출하고자 하였다.

끝으로 우리나라 해운이 배출가스 규제를 슬기롭게 극복하고 더 친환경적이고 경제적인 선박을 개발하고 운항하여 세계 속에 가장 선진화된 해운강국으로 발전하기를 기대해 본다.

# A Study on Economic Effect of Development of LPG Fuelled Eco-Ship

HeonSoo, HA

Department of Shipping and Port Logistics  
*Graduate School of Global Logistics*  
*Korea Maritime & Ocean University*

## Abstract

Ship transportation has increased tremendously, which has resulted in increased emissions due to shipping and increased stresses on the environment. Korea plans to operate five major domestic ports in September 2020 by designating them as areas that regulate Sox emissions. Even for ships operating on domestic coasts, emission regulations have become an urgent task to be solved. This study was attempted to find out the economic competitiveness of LPG fuel and its specific economic effects in numerical values. Previous studies have found that the domestic LPG demand, import dependence, price competitiveness of LPG as a clean energy source for transportation, a drop in LPG vehicles, and global decline in LPG prices. Based on this, the economic feasibility of existing diesel and LPG fuelled vessels was compared based on the study of applying LPi engines for automobiles to coastal leisure vessels among the development cases of LPG fuelled vessels under study in Korea. This study intended to produce more reliable research by applying existing economic comparison studies on diesel engines and LPi engines of automobiles to coastal shipping areas.

We hope that Korea shipping industries wisely overcomes emission regulations and develops more eco-friendly vessels and operates more economical ship operation. It is hoped that our shipping will develop into the most advanced shipping power in the world.

# 제1장 서론

## 제1절 연구의 필요성과 목적

해운분야에서 선박의 배출가스 규제는 현재 해운과 조선업계가 해결해야 할 가장 큰 과제이다. 환경규제가 연안의 부근 해역과 항만에서 배출되는 오염물질 규제 뿐 아니라 선박이 운항 중에 배출되는 각종 오염 물질에 주목하면서 전 세계적으로 국제해사기구(International Maritime Organization, 이하 IMO) 및 관련 국가는 배출가스 규제를 더욱 강화하고 있다. 국제해사기구의 선박배출에 관련한 각종 기준 강화와 세계 주요국가의 배출규제해역(ECA: Emission Control Area, 이하 ECA)확대에 따라, 해운선사들은 국제규제와 기항항구의 요구사항을 만족하고 경비 최소화를 위해 친환경 선박 및 관련 장비 개발을 요구하고 있고 조선 및 기자재 산업은 선사의 요구에 부응하고자 우수기술력 확보를 위해 노력하고 있다. 2016년부터 ECA지역 내 Tier III 기준은 Tier I의 질소산화물(NOx) 배출량 제한 기준 대비 80% 저감된 수준이며, 기존 북미 및 카리브 해 지역 외에 2021년부터 북해와 발트해 지역까지 확대될 예정이다. 우리나라의 주요 교역지역인 북미지역, 유럽지역에서는 이미 ECA(Emission Control Area) 구역을 설정하여 선박에서 발생하는 황산화물(SOx) 및 질산산화물(NOx) 배출에 대한 통제를 시행하고 있으며, 이후 미세먼지(PM, Particle matter) 배출까지도 규제할 가능성이 높아질 것이 예상되고 있으므로 국제적인 온실가스 감축에 대한 환경규제 대응 방안 마련 또한 시급할 것이다.

국내에는 2020년 9월부터 부산항, 인천항, 여수항, 광양항, 울산항, 평택 당진항 등 국내 5대 대형 항만이 황산화물배출규제해역이 지정·운영될 예정이다. 해양수산부는 항만지역 등 대기환경 개선에 관한 특별법이 2020년 1월부터 시행됨에 따라 ‘황산화물 배출규제해역 지정 고시’ 제정안을 마련해 놓고 행정예고 되어 있는 상태이다. IMO의 황산화물 배출규제가 2020년 시행됨에 따라 우리나라도 해양환경관리법 시행령을 개정해 선박 연료유는 현재 종류에 따라 0.05 ~ 3.5%가 적용되지만, 2020년 1월 1일부터 0.05 ~ 0.5%로 강화되었으며, 내항 운항 선박은 2021년부

터 적용될 것이다. 국내 5대 대형 항만 ECA는 선박에서 발생하는 미세먼지 등을 감축하기 위해 2020년 1월부터 시행되는 선박 연료유의 황 함유량 기준을 0.5%보다 강화된 0.1%로 설정되어 있다. 정부(해양수산부)에서는 ECA 강제 시행을 해운선사의 준비 기간 등을 고려하여, 2020년 9월 1일 정박 중인 선박부터 시행한 후 점차적으로 2022년 1월 1일부터 ECA로 지정된 해역에서 항해 중인 선박까지 적용이 확대될 것이다.

선박의 배출가스에 대한 IMO 환경규제가 강화되고 있고, 우리나라의 Sox, Nox, PM(Particle matter), CO<sub>2</sub> 감축정책에 부응하기 위해서 전통적인 화석액체 연료에서 친환경 연료로의 전환의 필요성이 대두되고 있다.<sup>1)</sup> “조선 산업 경쟁력 강화 방안”은 2016년 제6차 산업경쟁력강화 관계 장관 회의에서 발표되었으며 이에 따르면 세계 선박수주 절벽이 심화되고 있고, 우리나라 조선업 또한 심각한 타격을 입었던 경험이 있으며, LNG 선박을 위주로 현재 서서히 경쟁력이 살아나고 있다. “제3차 가스추진선 연관 산업육성단 협의회” (2017년 9월) 발표 자료에 따르면 가스연료의 수요는 2030년까지 매년 4 ~ 5% 정도로 성장할 것으로 예상되고 있다. 전 세계적으로 112척의 가스추진선이 있으며, 현재 118척이 발주되었고, 50여 척의 건조계획이 검토되고 있다. 가스연료를 사용하여 발전하는 방법을 이용한 전기추진 선박은 기존의 화석액체 연료를 사용하는 선박에 비해 연료효율성, 관리 및 운영 용이성, 오염물질 배출감소 등의 장점이 있으며, 배터리 추진장치와 혼용하는 하이브리드 시스템을 적용할 경우 기존 선박에 비해 30% 이상의 연료절감이 가능할 것으로 생각된다. 가스연료를 기반으로 하는 발전시스템과 배터리장치, 태양광 등의 신재생에너지를 이용한 복합동력 시스템을 선박에 적용하게 되면 에너지 절감, 환경규제 만족, 친환경성 확보뿐만 아니라 수익창출과 함께 운영비용 절감이 가능하다.

LPG는 환경 및 경제적 측면에서 기존의 액체 연료에 비해 강점을 가지고 있으며 LNG보다 액화온도가 높아 저장 및 취급이 용이하고 연료공급인프라 구성에도 탁월하여 선박의 연료로서 부각되고 있다. 이에 해사업계 및 LPG산업계를 중심으로

1) 한국선급 보고서 LPG 추진선박 도입 타당성 및 안전성에 대한 연구

LPG연료 추진선박에 대한 안전성 및 건조 기준의 필요가 제기되고 있다. 국내 소형 선박업체 및 LPG산업계에서 LPG추진선박 개발에 대한 요구가 증가하고 있으며, 해외에서는 세계 유수의 제조사들을 중심으로 LPG를 연료로 사용하는 기관을 개발하는 등 LPG추진선박 개발 및 선대 도입의 움직임이 관찰되고 있다.

환경규제 강화와 경제적 효율성 추구 등 급변하는 국내외 해운업계의 상황을 고려하여 본 연구는 우리나라 LPG 연료 추진선의 기술적 상황과 제도적 현황을 조사 및 기존 사례의 분석을 통해 기존 시스템에서 사용 중인 타 선박연료 대비 LPG 연료 사용에 대한 경제성과 과급효과를 분석하여 LPG연료 추진 선박의 경제적 타당성 확보하며, 환경적 안전성 및 우수성을 확인해 보고자 한다.



## 제2절 연구의 방법 및 구성

이 연구는 국제해사기구의 선박배출에 관련한 각종 기준 강화와 세계 주요국가의 배출규제해역(ECA: Emission Control Area, 이하 ECA)확대에 따른 각 국가와 지역 항만의 환경규제 대응에 해운회사, 조선 및 기자재 회사가 관심과 노력을 기울이고 있는 현황에 대해 정리하고, LPG연료 추진선박의 현황 분석 및 향후 발전 방안의 제안, 검증을 통해 이러한 규제에 효과적인 대안을 제시하고자 한다.

첫째, 선박 배기가스 배출에 대한 기술 전문 서적, 관련 보고서, 기타 문헌의 고찰을 통해 사용되고 있는 선박배출 저감기술과 시설의 현황을 정리하고, 그에 따른 배기가스 저감장치의 기술과 장비를 분류하여 환경규제에 대응하기 위한 해양조선산업의 시장 규모와 특징의 확인 및 해양조선 산업 시장에서 갈수록 중요성이 확대되고 있는 환경부분의 시장을 예측하고 분석 하도록 한다.

둘째, 세계 해양조선 장비 산업 시장 안에서의 우리나라 친환경 해양조선 산업 시장의 규모와 특징에 대해 분석하고, 세계 해양조선 산업 시장에서 우리나라 해양조선 산업이 환경부분의 경쟁력에서 우위를 선점할 수 있도록 해운 및 조선산업 기술전문가, 선박 건조 전문가, 선박운항 전문가 등 관련 전문가들의 의견 수렴을 통해 국내 LPG연료추진 선박사업의 시행과 발전 방안을 제안하고자 한다.

셋째, LPG 자동차 산업의 연구개발, 기술적 발전, 환경적 이익, 정부의 제도 개선 등 수송용 LPG사용 사례를 우리나라 연안해운 및 해양조선 산업에 접목하여 친환경 해운 및 해양조선 산업으로서의 LPG 연료 추진 선박사업의 가능성을 살펴보고자 한다. LPG 추진 선박이 우리나라 연안을 운항하는 소형선박에 적용될 시 도출되는 경제성을 순현재가치법, 내부수익률법 등의 비용편익을 분석하고 기존 시스템과의 비교를 통해 경제성과 파급효과를 검증하고자 한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다.

제1장에서는 연구의 필요성과 목적에 대해 설명하고 연구의 방법 및 구성에 대해 기술하였다.

제2장에서는 문헌고찰을 통해 친환경 선박의 개념과 발전과정을 살펴보고 친환경 선박 중에서도 가스연료추진 선박, 특히 LPG 연료추진 선박의 개념과 특성을 분석하고자 한다. LPG 연료추진 선박의 가능성을 연구하기 위해 먼저 LPG 연료의 생산현황 및 우리나라 수입 및 소비 현황, LPG 국제가격과 우리나라 소비현황, LPG 연료에 부가되는 우리나라 세금정책을 다른 종류의 연료와 비교하여 분석하고자 한다. 친환경 선박의 관점에서 가스추진선박의 해운 및 해양조선 산업의 분류, 시장 규모와 특징, 그리고 해양조선 산업 중 친환경 시장의 규모, 특징 및 의미를 분석한다. 경제성 분석의 방법론적 측면과 비슷한 사례에 대한 선행 연구를 통해 본 논문의 적용과 시사점에 대해 기술하였다.

제 3장에서는 LPG 추진선박의 개발 현황과 사례를 확인하기 위하여 전 세계적으로 진행되고 있는 LPG 추진선박의 개발 동향, LPG 추진선박의 개발 모델을 선종별로 확인하여 우리나라 연안선박에 적용하여 경제성을 산출하고 경제적 효과를 도출해 낼 수 있는 선종과 선형을 선정하였다. 또한 LPG 추진선박 개발에 문제가 되는 제도적인 측면과 기술적인 측면으로 연구하였다.

제 4장에서는 LPG 추진선박 개발의 경제적 효과 분석을 위한 주요전제와 추정범위를 정하고 10년 기간에 대한 년도별 평균 연료공급 가격을 분석하여 공급가격 최저년도, 10년 평균가격, 최고년도를 기준으로 면세와 과세를 구분하여 각각의 연료가격으로 20년 기간에 대한 경제성을 산출하였다. 또한 우리나라 어선 전체에 대해 LPG 추진선박을 적용할 경우를 가정하여 경제적 효과를 추정 산출하였다.

제 5장에서는 연구결과를 각 장별로 요약하고 본 연구에서 가지고 있는 한계를 정리하고 향후 연구방향에 대해 기술하였다.

## 제2장 이론적 배경

### 제1절 친환경 선박의 개념과 발전과정

#### 1. 친환경 선박의 개념

한국조선해양기자재연구원의 보고서에 따르면, 기존 운항 선박에 비해 효율적인 연비(燃比)를 갖추고 선박의 오염 물질 배출량을 획기적으로 줄인 선박을 “친환경 선박”이라 하며, 그린십(Green-ship), 에코십(ECO-Ship)이라고도 한다. 이제까지는 “친환경 선박”이라 함은 IMO에서 논의되고 있는 신조선 에너지효율지수(EEDI, Energy Efficiency Design Index)관련 요구 조건을 만족시킬 수 있는 선박들을 의미하지만, 앞으로는 선박에서 발생할 수 있는 모든 오염원에서 자유로운 선박을 “친환경 선박”이라고 정의 한다<sup>2)</sup>. 강화되는 환경규제를 충족하고 선형을 개선하고, 선박을 대형화하여 연료를 20~30%가량 덜 쓰고도 같은 효율을 내면서 새로운 국제 환경규제를 충족하는 선박, 기존의 액체 화석연료와 가스연료를 중에서 선택하여 사용하면서 효율을 높이고 동시에 환경규제까지 만족시키는 ‘LNG 또는 LPG 연료추진선박’이 친환경 선박의 대표적인 사례라고 할 수 있다. 따라서 친환경 선박이라 함은 SOx규제, NOx 규제, CO2 규제 등 환경 규제에 적합한 기술을 적용한 선박으로, 신조선은 설계 단계에서부터 해당 친환경 기술과 장비를 적용한 선박, 기존 선박은 운항 중인 선박으로 추가적인 장비를 장착하거나 추가장비 탑재 및 개조를 통하여 해당 기술을 적용한 선박으로 정의할 수 있다.

조선·해운업계는 국제해사기구(IMO)의 유해물질, 평형수, 온실가스 등의 환경 관련 규제가 순차적으로 2015년부터 시행되고 있는 만큼, 비용 경쟁에서 밀리고 환경 요건도 만족하지 못하는 기존 선박들이 친환경 선박으로 완전히 대체될 것으로 전망된다. 이러한 환경변화로 인해 조선사들은 친환경선박 건조 수요가 증가할 것

2) 한국조선해양기자재연구원의 2017년도 보고서 “중소조선산업 대안시장으로써 친환경선박 개조산업”의 친환경 선박 개념

으로 예상하고 해당 규제가 새로운 수요를 발생시키는 좋은 기회로 생각하는 반면, 해운회사들은 친환경 선박 확보를 위한 비용 부담이 증가하여 큰 위기로 생각할 것이다. 전 세계적으로 강화된 환경규제 만족을 위해 다양한 기술을 적용한 친환경 선박 건조를 위해 각종 장비 개발에 박차를 가하고 있다. 선박 배출가스 규제 강화에 따른 EGR, SCR, 스크러버를 이용한 유해가스 감소 장치의 개발과 친환경 연료인 LNG, LPG 등 가스연료를 사용하는 기술에 대한 개발과 선박에 적용하기 위한 다양한 시도가 진행 중에 있다.

통상적으로, 환경적 측면에서 선박에서 배출되는 모든 해양오염<sup>3)</sup>물질, 대기오염물질<sup>4)</sup>, 선박에너지효율설계지수(EEDI)<sup>5)</sup>를 만족시키는 선박(Eco-Ship)<sup>5)</sup>을 친환경선박(Green Ship)의 개념으로 정의할 수 있다. 덴마크 해양산업체 협동조합에서는 친환경선박의 정의와 관련하여, 선박에서 배출되는 모든 대기오염물질을 줄이는 것이라고 정의하였으며, 환경변화를 고려한 친환경성 청정 선박(Clean Ship) 및 첨단 친환경기술을 접목시킨 신개념의 선박(Green Ship)을 친환경선박이라고 우리나라 산업통상자원부의 제5차 산업기술로드맵의 조선해양 분야 최종보고서에서 정의하였다.<sup>6)</sup> 일본에서 시행되는 Super Eco-Ship Project에서 정의하는 친환경 선박(Super Eco-Ship)은 기존의 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 배출의 25%, NO<sub>x</sub> 배출의 90%, SO<sub>x</sub> 배출의 60% 정도를 감소시킬 수 있는 연료와 추진설비 및 선박의 선형설계를 갖는 선박이다. 특히, 신조선 에너지효율설계지수(EEDI)의 관련 요건을 만족시키는 선박을 친환경선박이라고 IMO에서 정의하고 있다.

---

3) “해양오염”이라 함은 해양에 유입되거나 해양에서 발생하는 물질 또는 에너지로 인하여 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 상태를 말한다(해양환경관리법 제2조 제1호).

4) 대기오염물질”이라 함은 오존층파괴물질, 휘발성유기화합물과 「대기환경보전법」제2조제1호의 대기오염물질(질소산화물-NO<sub>x</sub>, 황산화물-SO<sub>x</sub> 등 입상물질과 그 화합물을 포함) 및 같은 조 제3호의 온실가스(GHG) 중 이산화탄소를 말한다(해양환경관리법 제2조 제13호).

5) 에너지효율설계지수(EEDI, Energy Efficiency Design Index): 자동차의 연비(1/km)와 유사한 개념으로 선박건조 시 설계단계에서 선종·톤수별 탄소배출량(g/ton-mile) 제한하는 原단위 탄소배출량 허용기준으로 신조선에 적용된다(MARPOL 부속서 VI/Chapter 4/Regulation 20).

6) 해양수산개발원의 2016년도 보고서 “우리나라 선박의 친환경 기술 적용 확대 방안”

IMO 협약에서 요구하는 친환경선박은 국제협약을 이행하여야 하는데 국제협약에 의한 국가의 책무와 선박운항의 직접적인 영향을 미치는 사항을 고려하여야 한다. 그리고 IMO 협약에서 요구하는 관련 증서를 선박에 비치하여야 한다. 예를들면 국제대기오염방지증서(IAPP)<sup>7)</sup> 및 선박에너지효율적합증서(IEEC)<sup>8)</sup> 등이 있다. IMO 국제협약에서 정의한 친환경선박의 조건으로는 친환경기술을 적용하여 에너지절감을 통한 지속적인 에너지효율을 높이는 노력이 요구된다고 하겠다. 특히 현존선의 경우 배출가스 저감장치와 같은 친환경 장비 또는 선박의 성능을 개선할 수 있는 기술들을 선박의 특성에 맞게 적용하여 에너지효율을 높이는 것이 관건이라고 볼 수 있다.

우리나라 법령에서 정의하는 친환경 선박의 개념은 “ 환경 친화적 선박의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률 (약칭: 친환경선박법) [시행 2020. 1. 1.] [법률 제 16167호, 2018. 12. 31., 제정]” 에 규정을 인용하여 개념을 정하고자 한다. 환경 친화적 선박"이란 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 선박을 말한다.

가. 산업통상자원부와 해양수산부의 공동부령(이하 "공동부령"이라 한다)으로 정하는 기준에 적합한 선박 : 선박에너지효율을 높일 수 있는 기술을 사용하여 설계된 선박이면서 해양오염을 저감하는 기술을 적용한 선박

나. 액화천연가스 등 공동부령으로 정하는 친환경적 에너지를 사용하는 선박

다. 전기 공급원으로부터 충전 받은 전기에너지를 동력원(動力源)으로 사용하는 전기추진선박

라. 휘발유·디젤유·LPG·LNG 또는 공동부령으로 정하는 연료와 전기에너지(전기 공급원으로부터 충전 받은 전기에너지를 포함한다)를 조합하여 동력원으로 사용

---

7) 국제대기오염방지증서(IAPP, International Air Pollution Prevention Certificate)” 는, MARPOL 부속서 제6장 제6규칙에서 정한 국제항해 총톤수 400톤 이상의 선박에는 질소산화물(NOx),황산화물(SOx) 등의 규제내용에 적합하게 선박이 운항되고 있음을 증명하는 서류를 말한다. (MARPOL Annex VI, Reg. 6).(자료: 박한선, 선박온실가스 배출규제를 위한 국가책임과 이행 방안에 관한 연구, 2014.08.)

8) 국제선박에너지효율증서(IEEC, International Energy Efficiency Certificate)” 는 선박이 에너지 효율 설계지수(EEDI)와 선박에너지효율관리계획서(SEEMP)에 대한 검사를 받고 적합하다고 인정하는 관청으로부터 수령한 증서를 말한다.

하는 하이브리드선박

마. 수소 등을 사용하여 전기에너지를 발생시켜 동력원으로 사용하는 연료전지추진선박 9)로 정의되고 있다.

## 2. 친환경 선박의 발전 과정

### ① 현재 환경 기술

선박 운항효율 개선, 선체저항 개선, 추진효율 개선, 엔진효율개선 및 기타 기술 등으로 친환경 기술은 구분이 가능하다<sup>10)</sup>. 그리고 기상에 따른 최적 항로 권고 기술, 최적 트림 기술, 선박 운항 모니터링 기술 등 선박운항효율 개선 기술이 있다. 추진효율 개선 기술로는 선체 도료 기술, 선체 최적화 기술, 선수형태 최적화 기술 등이 있다. 프로펠러 전·후단에 설치하는 다양한 에너지절감장치 등 추진효율 개선 기술이 있으며, 엔진출력 조절(Derating) 기술 등 엔진효율개선 기술이 있다. 마지막으로 폐열회수장치, 에너지절감시스템(Energy Saving System), 축발전기(Shaft Generator) 등이 선박 에너지효율을 개선하는 기술로서 손꼽히고 있다.

다양한 친환경기술을 개발하기 위해 국내 조선 및 기자재 산업의 다양한 노력이 있으나 기술의 성격에 따라 정부의 정책적, 경제적 지원이 투입되어 개발되는 기술이 있다. 또한 조선소와 기자재 산업체의 주도로 개발되는 기술로 구분할 수 있다. 예를 들면 선체 최적화 기술은 각 선주의 선박마다 운항특성이 다르고 선주의 요구조건이 달라 조선소의 개별적인 경험과 노하우를 기반으로 자체적 기술개발이 이뤄지고 있는 기술이 있다. 에너지 절감시스템(Energy Saving System), 스크러버(Scrubber)등은 기자재로 구분될 수 있는데 산업자원부 및 해양수산부 R&D를 통하여 상용화 하는 기술이 개발되고 있으며 이 기술을 양산할 수 있는 시스템을 갖추고 기술에 대한 신뢰도를 높이고 해외진출 전략 등이 마련된다면 수출을 통한 관련 산업의 활성화가 가능할 것으로 생각된다. 그러나 대부분 선박의 에너지 효율은 선

9) 우리나라 법령 “ 환경친화적 선박의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률 (약칭: 친환경선박법) [시행 2020. 1. 1.] [법률 제16167호, 2018. 12. 31., 제정]” 에 규정을 인용하여 친환경 선박 개념 정리

10) 해양수산개발원 보고서 “우리나라 선박의 친환경 기술 적용 확대 방안”

체기술 및 엔진효율 등에 따라 많은 부분이 결정되고 있으므로 신조선박의 설계와 건조계획에서부터 검토되는 친환경기술이 아주 중요한 부분을 차지한다. 많은 신조선박이 건조 시 시장에 선보인 친환경기술에 좌우되고 있으며 운항선박에는 법적 강제성이 요구되어야만 적용되어질 수 있으므로 친환경기술은 기존 운항선박에 적용되기엔 한계가 있는 실정이다. 그리고 2011년 발표된 한국정책금융공사의 그린쉽기금(Green ship Fund)은 개발된 친환경기술이 신조선에 적용될 경우에 한하여 일정 부분의 용자와 금리인하 혜택이 적용된 사례가 있다.

올해 1월부터 회원국 전체 항만을 입·출항하는 선박에 온실가스 감축을 위한 리포트 제출을 강제하는 국제해사기구(IMO)는 ‘IMO-DCS(Data Collecting System)’을 요구하고 있다. 2020년부터 선박용 중유의 황함량 기준을 현행 3.5%에서 0.5%로 강화할 예정이며 2025년 이후에 건조되는 모든 선박은 2014년에 건조된 선박보다 30%의 에너지 효율이 향상되는 규칙을 시행할 전망이다. 국제해상운송 부문에서 단위물동량 당 이산화탄소 배출을 2030년까지 2008년 배출량 대비 최소 40% 줄이고 2050년까지는 70% 감축한다는 목표를 세워놓고 추진하고 있는 IMO의 정책 방향을 유의하여야 할 필요가 있다<sup>11)</sup>. 국제해운 부문에서 2012년 기준 7억 9600만 톤의 이산화탄소가 발생하며 이는 전 세계 이산화탄소 배출량의 2.2%를 차지한다. 전 세계 여객선 승객 1명이 1km 운항 할 경우 약 0.12kg의 이산화탄소가 배출되며 자동차와 비교 시 절반밖에 되지 않지만 감축을 위한 아무런 노력도 하지 않을 경우 해운업에서의 온실가스 배출량은 2050년까지 2012년 대비 최소 50%에서 최대 250%까지 증가할 것으로 전망된다. 선박이 이전보다 더 대형화 되고, 더 멀리, 더 자주 화물운송에 이용되면 더 많은 연료를 소모하게 될 것이기 때문이다.

## ② 국내사례 - 현재 우리나라에서 개발되어진 친환경 LNG연료 추진 선박

기존 디젤 연료선보다 배기가스와 분진 배출을 획기적으로 줄인 친환경 선박에 코누리호는 2013년 7월에 취항하였다. 당시에는 아시아 최초이자 국내 유일의 액화천연가스(LNG) 추진선으로 업계의 주목을 받았었고 지금은 인천항의 친환경 항만

11) 사이언스 타임즈 2019.10.19일 뉴스 “친환경선박으로 온실가스 줄인다, 전기 및 수소, 하이브리드 선박 개발 경쟁”

안내선으로 인천항만공사에서 운항 중에 있다. 그리고 업 운항을 목적으로 하는 선박으로는 국내최초로 LNG 추진 벌크선 “그린 아이리스(Green Iris)호”가 있다. 국내 최초로 도입된 LNG 추진 연안 벌크선으로 DWT 5만톤급 size로 건조되었으며 2018년부터 동해항~광양항 구간에 석탄을 운송을 하고 있다..

### ③ 해외사례 - 미래를 위해 시도되고 있는 친환경 선박 사례<sup>12)</sup>

유럽연합은 100척의 전기추진 여객선을 2030년까지 건조 및 운항을 시작하여 총 10만~30만 톤의 이산화탄소 배출량을 감축하는 '이-페리' 프로젝트를 추진 중이다. IMO의 선박 배출가스 규제에 의해 Sox 및 Nox 등과 같은 대기오염 물질과 이산화탄소의 배출량을 획기적으로 줄이는 친환경 선박이 잇달아 개발되고 있어 주목을 끈다. 환경적으로 진보적인 정부가 많은 유럽 지역에서 가장 활발한 움직임을 보이고 있다. 유럽연합(EU)은 수많은 여객선을 운용하고 있으며 유럽 각 지역의 섬과 연안 지역, 내륙 수로에 대해 100% 전기 추진 여객선을 투입하고자 노력하고 있다. 이-페리(e-ferry)라고 하는 유럽의 전기추진 여객선 개발 프로젝트는 2015년부터 진행되고 있다. 에너지를 효율적으로 활용하여 온실가스 배출 없이 선박이 항행할 수 있는 시스템을 개발하는 프로젝트이다. 호라이즌 2020이라는 유럽의 연구 및 혁신 프로그램은 유럽공동체(EC)가 기금을 지원하고 있다. 목표는 10척의 전기추진 여객선을 2020년까지 운행하고, 2030년까지 100척의 전기추진 여객선을 운항하여 약 10~30만 톤의 이산화탄소 배출을 감소시키는 것이다. 스위스의 에너지 저장 설루션 공급업체 르클랑세는 이-페리 프로젝트의 주요 파트너 중 한 멤버이다. 최근에 1회 충전으로 최장 40km까지 운항할 수 있는 모듈식 리튬이온 배터리 시스템을 개발하여 업계의 주목을 끌었다.

스위스에 본사를 둔 다국적 기업 ABB 사는 지난해 11월 덴마크의 헬싱피르와 스웨덴 헬싱보리 사이의 약 8km 항로를 운항하는 2척의 선박을 기존의 디젤 엔진에서 전기 추진으로 전환시켰다. 배기가스가 없는 시스템으로 세계 최대 여객선을 만들기 위해 ABB는 대용량 배터리팩을 기존의 대형 여객선에 설치하는 기술, 에너지 저

12) 사이언스 타임즈 2019.10.19일 뉴스 “친환경선박으로 온실가스 줄인다, 전기 및 수소, 하이브리드 선박 개발 경쟁”

장 제어 시스템, 배터리 팩 등의 핵심 기술을 사용했다고 밝혔고 이 회사가 개발한 고성능 리튬이온 전지팩은 나이하가라 폭포의 유람선에도 적용되어 미국과 캐나다 접경 지역에서 운항될 예정이다. 또한 미국 위스콘신 주 조선소에 배출가스가 없는 전기추진선을 건조 중이라고 밝힌 선사로 유람선 운영사 “더 메이드 오브 미트트 코프”가 있다. 이러한 전기선박이 도입되면 온실가스 배출량의 저감뿐만 아니라 해당 수역의 생태계 보존에도 크게 기여할 것으로 전망된다.

핀란드의 핀페리사와 영국의 롤스로이스사가 공동 개발하고 있는 ‘팔코(Falco)’라는 여객선은 인공지능(AI)으로 조종하는 자율운항 전기 선박으로 곧 상용화될 예정이라고 한다. 총 길이 53.8m, 폭 12.3m인 이 여객선은 파고, 풍향, 유속, 장애물, 선박 위치 등 시시각각 변화하는 운항 정보를 수집한 다음 AI 시스템이 그 정보를 바탕으로 선박을 조종하게 된다. 2020년에 정기 운항을 목표로 하고 있는 팔코 호는 지난해 말 핀란드 발트해 연안에서 승객 80여 명을 태운 채 시험운항에 성공했다. 전기로 움직이는 자율운항 화물선인 ‘야라 버클랜드’가 노르웨이에서는 건조 중에 있다. 전기의 힘으로만 운항하는 팔코와 야라 버클랜드 호는 모두 배출가스가 전혀 없는 친환경 선박이다.

배터리에 에너지를 저장하는 하이브리드 시스템을 탑재한 선박을 선보인 덴마크의 스칸드라인(Scandlines)이라는 해운회사도 있다. 디젤발전기가 만드는 것보다 더 많은 에너지를 필요로 할 때는 배터리의 에너지를 사용하는 이 새로운 시스템은 엔진이 에너지를 덜 사용할 때는 남는 에너지를 배터리에 저장하는 하이브리드 시스템으로 연료 효율을 최대로 높이는 방식이다. 이 하이브리드 시스템이 선박의 이산화탄소 배출량을 최대 15% 감소시킬 수 있다고 개발 회사는 밝혔다. 이 회사는 앞으로 자사의 여객선 전체에 대해 배출가스 제로 프로젝트를 적용할 계획인 것으로 알려졌다.

한편, 벨기에의 선박회사 CBM은 유해물질을 거의 생산하지 않는 수소 여객선 하이드로빌을 운항하고 있다. 하이드로빌은 수소뿐만 아니라 일반 액체 연료로도 운항이 가능한데, CBM은 이 기술을 다른 화물선에도 적용할 계획이다. 국내에서도 수

소 연료전지 추진 선박을 개발하기 위해 대기업과 학계가 참여하는 연구개발팀을 가까운 시일 내에 출범시킬 예정이다. 이를 위해 정부는 부산지역에 수소 선박 건조를 위한 핵심 기술 개발 연구센터를 설립하고, 2020년부터 약 6000억원을 지원하는 프로젝트를 본격적으로 추진한다고 발표하였다.



<표 2-1> 친환경 선박 사례

구분	용도	명칭	특징
국내	항만 안내선	에코누리(Econuri)호  A white and blue ferry with 'ECONURI' and 'IPX' branding, sailing on the water.	아시아 최초, 국내 LNG추진선
국내	연안 벌크선	그린 아이리스(Green Iris)호  A red bulk carrier ship with 'ILSHIN' on the side, sailing on the ocean.	국내 최초 LNG추진 상선
해외	여객선	엘렌(Ellen)호  A white ferry named 'ELLEN' docked at a pier. A small European Union flag logo is visible in the bottom right corner of the image.	세계 최초 100% 전기 페리, 유럽연합과 덴마크의 협업 프로젝트

## 제2절 LPG 추진선박의 의의

### 1. LPG 개요와 특성<sup>13)</sup>

LPG (Liquefied Petroleum Gas: 액화석유가스)는 프로판 (Propane)과 부탄 (Butane)으로 나누어지며, 효율성과 편리성 그리고 청정성까지 가지고 있는 에너지다. LPG는 원유를 정제할 때 정유공장에서 생산되는 것과 석유화학공장의 부산물로 일부 생산되고 있지만 대부분은 유전의 수반가스로 부터 생산되며, 천연가스전에서 원유(Crude Oil)나 천연가스(Natural Gas)를 추출할 때 함께 생산된다. 또한, 납사(Naphtha)를 열분해 하는 과정에서도 일부 생산되고 있다. 국내 정유사의 원유정제 공정이나 석유화학공정에서 부산물로 생산되는 LPG량은 국내수요의 약 30.5%수준이므로 부족한 부분은 미국 또는 중동 등 해외로부터 수입해야 한다.

천연가스는 초저온 상태에서만 액화가 가능한 반면에 LPG는 상온에서도 일정압력을 가하게 되면 액화가 된다. 주성분은 프로판(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), 부탄(C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), 프로필렌(C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>), 부틸렌(C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>) 등이 있으며, 일반적으로 프로판과 부탄이 주성분을 이룬다. 액화가 용이하고, 액화하면 프로판은 1/260, 부탄은 1/230로 부피가 대폭 작아져, 저장/수송에 편리하다.

- . 프로판 : -42℃ 이하 냉각 또는 7기압 이상 압력

- . 부 탄 : -0.5℃ 이하 냉각 또는 2기압 이상 압력

참고로 LNG는 끓는점이 -162℃ 이하로, 용기 공급이 어려워 배관을 통해 가스 상태로 소비자에게 공급되고 있다.

LPG는 열량이 높고(23,700 Kcal/m<sup>3</sup>) 완전연소가 가능한 저공해 청정에너지로 기체 상태에서 공기보다 무거워 환풍기(가스누설경보기)를 아래쪽에 설치한다. 참고로 LNG는 반대로 공기보다 가벼워 위쪽에 설치한다. 순수한 LPG는 무색/ 무취/ 무미 상태이기 때문에, 누출 시 소비자들이 쉽게 인지할 수 있도록 기지 출하 시 냄

13) 한국선급 보고서 : LPG 추진선박 도입 타당성 및 안전성에 대한 연구

새 나는 물질(착취제)을 별도로 첨가한다.

<액화> LPG 액화하는 방법은 압축과 냉각의 2가지 방법이 있다. 압축에 의한 방법은 프로판을 상온(45℃)에서 약 15 bar까지 압축하고, 부탄을 상온(45℃)에서 약 4bar까지 압축하면 액화되어진다. 이를 압축에 의한 액화라고 한다. 냉각에 의한 방법은 프로판을 대기압 하에서 약 -42℃까지 냉각하고, 부탄을 대기압 하에서 -0.5℃까지 냉각하면 액화되어진다. 이를 냉각에 의한 액화라고 한다. 냉각과 압축을 혼합하여 액화할 수 있으며 이를 저온압력식 액화라고 한다.

<기화> LPG저장탱크의 정상부에 있는 밸브를 열어두면 내부 압력에 의해 LPG가스는 세차게 방출되며, 저장탱크내의 LPG는 점차 기체로 변화된다. 이것을 기화라고 하며, 용기내의 액체 표면에서 뿐만 아니라 내부에서도 기포로 되어 기화하는 상태를 알 수 있다. 이때 체적은 점차 250배로 된다.

<증기압> 내압용기에 액상의 LPG를 넣어 일정온도에서 밀폐시키면 액체의 일부는 기화되고, 어느 정도의 압력에 이르면 더 이상 기화가 일어나지 않게 된다. 이때의 액체 상태를 유지하고 있는 압력을 그 온도에서의 증기압이라고 하며, 동일성분 및 동일온도라면 액체의 양과 관계없이 일정하게 있다. 즉, 증기압은 액체의 종류와 온도에 따라 달라지며 온도가 높으면 증기압도 높아지고, 온도가 낮아지면 증기압이 낮아진다. 두 종류 이상의 가스가 혼합되어 있는 경우에도 증기압은 그 가스의 혼합비율과 온도에 따라 일정한 값을 나타낸다. 프로판과 부탄의 혼합 LPG는 증기압이 높은 프로판의 비율이 높을수록 증기압이 높아지며 프로판의 비율이 감소되면 증기압도 낮아진다.

<비등점> 액체의 온도를 높이거나 체에 가해진 압력을 감소시키면 액체의 표면뿐만 아니라 내부에서도 기화가 일어나게 된다. 이렇게 내부에서 기화되어 끓는 현상을 비등이라 하며, 이때의 온도를 비등점이라고 한다. LNG 경우 1기압 하에서 LNG의 온도가 -162 ℃가 되면 기화되기 때문에 LNG 비등점은 1기압 하에서 -162 ℃이며, 프로판과 부탄의 1기압 하에서 의 비등점은 각각

<액화프로판의 팽창> 15℃에서 탱크에 프로판을 충전시키면 온도 상승에 따라 팽창시키면 60 ℃에 부근에서 내부 용적이 액체로 증만 된다(일반적으로 탱크 내부의 최대온도를 60 ℃로 가정한다)

<기화와 액체온도> LPG탱크에서 LPG를 방출시키면 LPG는 기화되며, 액체의 온도는 저하됨으로서 Phase는 안정화 된다. 이 때 LPG가 기화하면서 기화열(증발잠열)을 필요로 하고, 그 열이 외부에서 충분히 보급되지 않기 때문에 LPG의 액체 온도가 저하되어 탱크를 냉각시키게 된다.

<가스의 비중> LPG를 방출하면 기류(바람)의 영향을 받지 않는 한 LPG 가스는 지면에 접하여 흐른다. 는 LPG 가스가 공기보다 무겁기 때문이며 밀폐된 장소에 체류하지 않도록 주의하여야 한다. LPG 가스가 체류되면 공기와 혼합하여 폭발의 위험성이 크기 때문이다.

<연소> 탄화수소의 완전연소방정식  $C_mH_n + (m+n/4)O_2 \rightarrow mCO_2 + n/2 H_2O$ 에서 알 수 있듯이 LPG가 연소하기 위해서는 산소가 필요하다. 산소는 공기 중에 21%가 함유되어 있으며, LPG가 연소되기 위한 공기 중 농도(부피 비)는 프로판이 2.2~9.5%이고 부탄이 1.8~8.4%이다.

## 2. LPG 추진선박의 개념

LPG를 연료로 사용하기 위해 당장 적용 할 수 있는 엔진은 다음 세가지가 있다. MAN ME-LGI 시리즈의 일부로 MAN이 제공 한 디젤 사이클 2 행정 엔진과 오토 사이클에서 Wärtsilä에서 제공하는 린변엔진으로 이 4행정 엔진은 현재 Wärtsilä 34SG 시리즈의 일부로 고정식 발전소에만 사용되고 있다. 세 번째가 GE가 LM2500 시리즈에서 제공하는 가스 터빈에서 증기 터빈 또는 CO2 터빈과 함께 사용할 수 있다.

### ①디젤 사이클 - 2 행정 접근

MAN B & W ME-LGI 엔진 시리즈는 저 인화점 액체 연료 (예 : 메탄올, 에탄올, 디메틸에테르 및 LPG)를 해결하기 위해 MAN Diesel & Turbo에 의해 도입된 엔진이다. 작동 원리 및 안전 조치는 LNG 및 에탄에 연료로 사용되는 이미 확립 된 ME-GI 개념과 유사하며 점화 프로세스를 시작하려면 100 % 엔진 부하에서 연료의 에너지의 3%에 해당하는 과일렛 연료 오일 분사가 필요하다. 엔진은 10% 이상의 엔진 부하에 대해 LPG 연료로 작동 할 수 있다. 이로 인해 HF0에서 작동하는 엔진에 비해

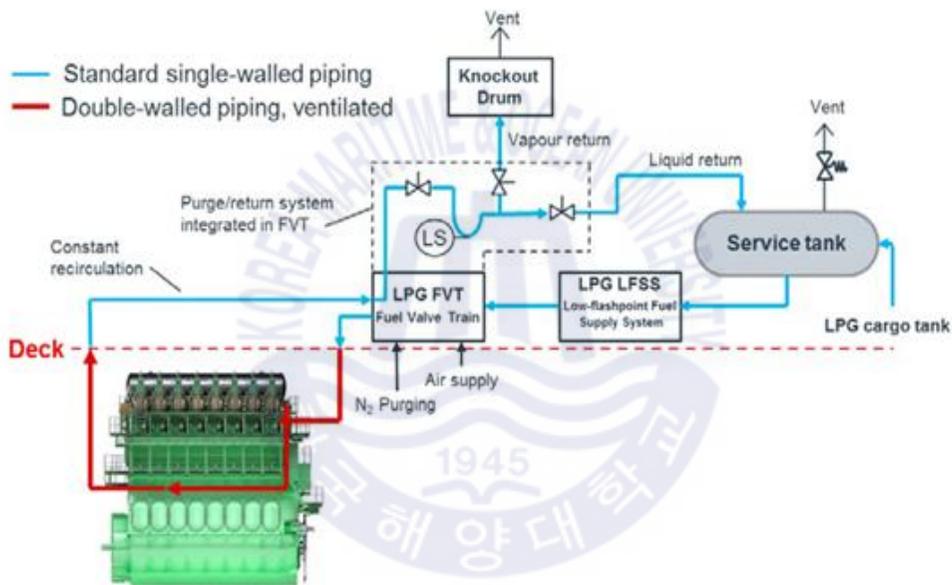
SOX 배출량이 최대 90-97 % 감소되며 NOX 배출량의 감소는 LPG에서 작동 할 때 15-20 % 정도이며 EGR 및 SCR 시스템도 엔진이 Tier III NOX 표준을 만족할 수 있도록 디자인 되어 있다. ME-GI와 ME-LGI 시리즈의 주요 차이점은 액체 연료의 다양한 특성을 해결하는 데 필요한 일부 구성 요소와 보조 시스템에 있다. 연료 분사는 유압 동력을 사용하여 연료 압력을 높이고 고압 연료 라인이 필요 없는 소위 연료 부스터 분사 밸브를 통해 이루어지며 저압 연료 공급 시스템은 비용과 무게를 줄이고 시스템이 단순화 되도록 하여 준다. 연료유와 LPG 인젝터는 모두 실린더 커버에 장착되어 있으며 연료 오일 인젝터는 LPG에서 작동 할 때 파일럿 오일을 분사하는데 사용하고 시스템의 연료라인과 인젝터에 대한 개요는 그림 2-1에서 설명하고 있다.



<그림 2-1> MAN B&W ME-LGI 엔진

ME-LGI 엔진 시리즈의 추가 기능은 엔진에 통합 된 실링오일 시스템입니다. 이것은 연료 분사 구성 요소에 시스템 오일의 LPG 오염을 방지하는 필수 윤활 및 밀봉을 제공하는 데 필요하며 연료 탱크, 연료 공급 시스템과 엔진 및 배관에 대한 개요는 그림 2-2에 나와 있다. LFSS (Low Flashpoint Fuel Supply System)는 서비스 탱크에서 연료를 취해 압력을 엔진에 공급 가능한 압력으로 높이며, 이는 연료가 액체 상태로 유지되고 연료 부스터 분사 밸브에 도달 할 때까지 캐비테이션이

발생하지 않도록 할 수 있다. 연료의 흐름은 항상 엔진의 연료 소비보다 높아야 하므로 연료 공급 온도를 확보하기 위해 히터와 쿨러가 순환 회로에 배치되어 있다. 연료 밸브 트레인은 마스터 연료 밸브를 통해 연료 공급 시스템을 엔진과 연결하고 퍼지 목적으로, 밸브 트레인은 또한 질소원에 연결된다. 일반적으로 밸브 트레인은 엔진 룸 외부에 날씨 데크 위에 배치되어 안전성을 향상시키며 밸브 트레인에서 연료는 엔진 룸을 통해 이중 벽 환기 파이프로 엔진에 공급된다. 시스템은 탄화수소 센서 (스니퍼)에 의해 모니터링 된다. 이중벽 파이프 내부에서 LPG 증기가 감지되면 안전 시스템이 동력 손실 없이 원활하게 연료 유 작동으로 전환된다.



<그림 2-2> ME-LGI 엔진, 연료서비스 탱크 및 배관의 개략도 : MAN B&W

## ② 디젤 사이클 - 4 행정 접근

Wärtsilä는 LNG 가스 엔진 시리즈에서 MAN과는 다른 접근 방식을 사용했으며 점화용 점화 플러그 또는 파일럿 연료 분사 기능을 갖춘 린번 오토 가스 엔진을 개발했다. 이 엔진은 연소되는 동안 피크 온도를 낮추고 NOX 배출을 줄이며 공기-가스 비율을 정확하게 제어하여 높은 열효율을 유지하면서 엔진의 노킹이나 오작동 없이 운전될 수 있음을 의미한다. 프리 챔버 또는 파일럿 연료 분사에 위치한 점화

플러그를 사용하여 점화를 시작하고 가스 연료는 공기 흡입 밸브의 바로 상류에 위치한 가스 유입 밸브를 통해 실린더로 유입된다. 가스 밸브는 정확한 시간에 각 실린더에 정확한 양의 가스를 공급하기 위해 공기 흡입 밸브와 독립적으로 제어되고 오토 가스 엔진 컨셉은 약 4-5 bar의 비교적 낮은 가스 압력을 필요로 하므로, 엔진으로 들어가기 전에 가스를 가압하기 위해 펌프 및 압축기와 같은 추가 장비가 필요하지 않다. 2014 년에 Wärtsilä는 중미 지역의 나라와 Wärtsilä 20V34SG-LPG GasCube를 설치하는 계약을 체결하였다. 이것은 최소 97 % 프로판과 최대 3 % 부탄으로 구성된 LPG를 사용하여 전기를 생산하는 것으로 16, 17 Wärtsilä 34SG-LPG는 프로판에서 작동 할 수 있는 최초의 중속 엔진이며, 프로판 작동에 최적화 된 34SG 시리즈로 동일한 엔진을 천연 가스 및 에탄과 함께 사용할 수 있으며 엔진을 멈추지 않고 연료 스위치가 작동한다. 천연 가스로 작동 할 때 장치의 정상 출력은 9,341kWe이며 엔진 출력은 6,995kWe (75 %)로 감소하여 LPG에서 작동 할 때 메탄 수가 34인 안전한 노크 마진을 유지한다. Wärtsilä 34SG-LPG와 같은 엔진은 이중 연료 구성에서 파일럿 연료 분사와 함께 사용되어 선박 추진에 사용될 수 있다. 중요한 잇점은 EGR 또는 SCR 시스템이 없어도 Tier III NOx 표준을 준수할 수 있다는 것이며 원칙적으로 34SG 엔진은 마린 처리 될 수 있지만 이중 연료 엔진의 연료 유연성은 갖지 있지 않다. Wärtsilä가 추진 용 LPG를 사용하기 위해 제공하는 다른 옵션은 가스 개질기를 설치하여 LPG 및 증기를 메탄으로 전환하여 CO2 및 일부 수소와 혼합하는 것입니다. 이 경우, 개질기에서 생성 된 가스의 에너지 함량은 DE-RATING 할 필요 없이 일반 가스 또는 이중 연료 엔진을 사용하기에 충분하다. 가격은 8MW 엔진의 경우 약 200만 유로 산정되었다.

### ③ 가스터빈 엔진 접근

GE는 LM2500 시리즈 엔진에 폐열회수 시스템인 COGES (combined cycle gas turbine, electric and steam) 시스템을 사용하여 LPG 연료 추진 ROPAX 선박을 한국 파트너 선사와 함께 개발하였다. GE는 수십 년 동안 항공기에서 사용되었던 가스터빈기술을 기본 바탕으로 하여 선박용으로 LM2500 제품군의 터빈을 제공하고 있으며 이 엔진은 주로 군용 또는 대형크루즈 선박 위주로 사용되었다. 이 가스터빈은 연료분사시스템을 변경하지 않고 LPG와 MGO를 연료로 연소할 수 있다. 다만 LNG

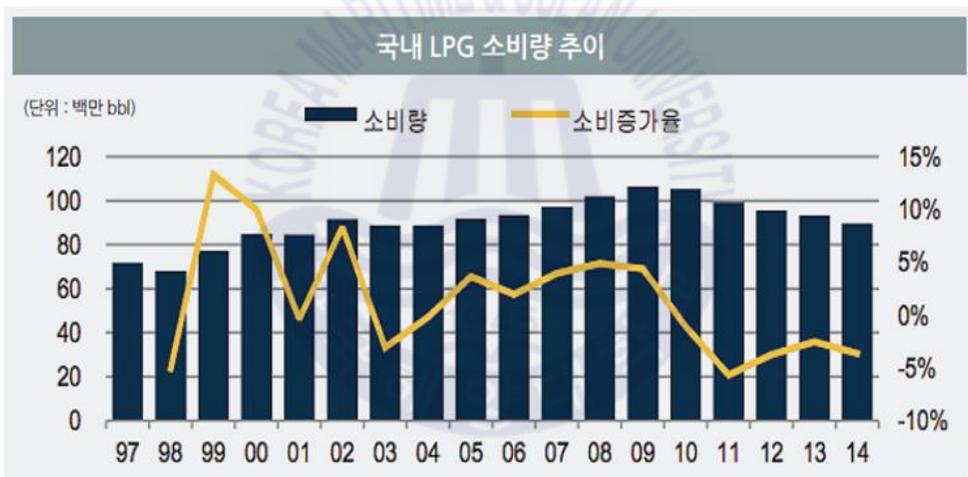
에 사용되는 안전시스템은 LPG 밀도로 인한 시스템 변경과 누출 감지기와 환기 시스템을 조정해야 한다. LM2500 제품군은 단일 사이클 모드에서 22~33 MW의 출력과 36 ~ 38 % 효율의 터빈을 제공할 수 있으며 가스터빈의 최소 부하는 50%정도로 확인할 수 있다.



### 제3절 LPG 추진선박 경제성 효과에 관한 선행연구

#### 1. 우리나라 LPG 수요양상 및 수입의존도<sup>14)</sup>

LPG(Liquefied Petroleum Gas, 액화석유가스) 시장은 대체재 성격의 LNG 도시가스의 보급이 확대되면서, 1994년부터 LNG 소비량이 LPG 소비량을 상회하였고 2000년까지 연평균 성장률이 5.5% 수준으로 둔화되었다. 2000년대 들어서는 수요가 정체되며 성장률이 1% 내외 수준을 보이다 2009년을 정점으로 역성장세를 보이고 있어 산업주기 상 성숙기에 접어든 상태로 판단된다.



<그림 2-3> 국내 LPG 소비량 추이(KAMA)

LPG는 가정용·수송용 등의 연료로서 중요 에너지원 역할을 담당하고 있으며, 전국 650만 이상의 가구가 사용하는 대중연료로서 국민경제상 중요도가 높은 수준이다. 또한, 2005년 세계개편(디젤유 자동차 시판에 따른 대기오염 우려에 따라 차량용 연료간 상대가격 비율을 선진국 수준인 100(휘발유):디젤유(85):LPG(50) 수준으로 결정하여 개별소비세법을 개정)에 따른 시장 환경 변화 속에 일정 수준의 안

14) 한국기업평가 2018 보고서 “한국가스산업 동향 및 전망

정된 수요기반을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

구분	2003.07	2005.05	2005.07~	2006.07~	2007.07~
휘발유:경유:LPG	100:61:43	100:70:53	100:75:50	100:80:50	100:85:50

<그림 2-4> 에너지 세제 개편에 따른 유종간 상대가격비(MKE)

업계 차원에서 LPG 체적거래(공급자가 수시로 가스를 보충하는 공급방식, 계량기로 측정된 사용량만큼 이용요금 지불)와 LPG 차량 확대 보급 노력 (① LPG 직분사 방식의 차량용 LPDi 엔진개발, ② 2003년 이후 디젤유 사용 청소차의 LPG차로의 개조사업, ③ 비수도권 5대 광역시 운행 디젤유차의 LPG 차량 전환, ④ 2011년 11월 장애인 소유 LPG 차량의 5년 초과 사용 시 일반인 판매 허용, ⑤ 2008년 4월 경차 및 하이브리드 차량에 LPG 사용 가능하도록 관련 사업법 개정 공표) 이 지속되는 가운데, 중단기간 내 급격한 수요위축 가능성은 낮은 수준으로 판단된다.

(단위 : 천 TOE, %)								
연도	총공급량	석탄	석유	LPG	천연가스	수력	원자력	신재생
2011	276,636	30.2	34.3	3.7	16.7	0.6	12.0	2.4
2012	278,698	29.1	34.5	3.6	18.0	0.6	11.4	2.9
2013	280,290	29.2	34.3	3.5	18.7	0.6	10.4	3.2

<그림 2-5> 국내 1차 에너지원 공급비중 추이(KESIS)

국내 LPG 수요의 60% 이상을 직수입에 의존하고 있으며 국내 정유사 생산 LPG 물량 또한 수입 원유로부터 정제·추출되는 점을 감안할 때, LPG 수요의 수입의존도는 절대적인 수준이다. 정부는 LPG의 수급 및 가격안정을 도모할 목적으로 ‘액화석유가스의 안전 및 사업관리법’, ‘석유사업법’, ‘고압가스 안전관리법’ 등 관련 법률에 근거하여 사업자에게 일정 규모 이상 저장시설을 설치하고 민간비축 의무를 부여하는 등 법적 규제를 시행하고 있다. 이러한 규제와 더불어 에너지 특

별용자자금, 가스안전기금 등의 정책자금을 지원하고 있으며 가스충전 및 판매, 집단공급과 관련 용품 제조 등의 각 사업영역별로 허가제를 실시하는 등 LPG산업 전반에 걸친 높은 관여도를 나타내고 있다. 국내 LPG 수요의 60% 이상을 직수입에 의존하고 있으며 국내 정유사 생산 LPG 물량 또한 수입 원유로부터 정제·추출되는 점을 감안할 때, LPG 수요의 수입의존도는 절대적인 수준이다. 이로 인해, 중동 산유국 정세, 국제유가 및 환율변동 등의 외부환경요인에 따른 수급 변동 가능성이 상존하고 있다. 정부는 LPG의 수급 및 가격안정을 도모할 목적으로 ‘액화석유가스의 안전 및 사업관리법’, ‘석유사업법’, ‘고압가스 안전관리법’ 등 관련 법률에 근거하여 사업자에게 일정 규모 이상 저장시설을 설치하고 민간비축 의무를 부여하는 등 법적 규제를 시행하고 있다. 이러한 규제와 더불어 에너지 특별용자자금, 가스안전기금 등의 정책 자금을 지원하고 있으며 가스충전 및 판매, 집단공급과 관련 용품 제조 등의 각 사업영역별로 허가제를 실시하는 등 LPG산업 전반에 걸친 높은 관여도를 나타내고 있다. 내수시장은 2000년부터 수송용이 최대 비중을 차지하고 있다. LNG 도시가스 공급확대로 인한 가정·상업용 수요 감소와 동시에 LPG 차량 증가로 수송용 수요가 꾸준히 증가하였고, 석유화학사의 산업용 수요와 정유사들의 고도화 설비 확충에 따른 알킬레이션(친환경 옥탄가 향상 휘발유 첨가제)용 부탄 수요가 증가하였기 때문이다. 그러나 2000년 전후로 급증한 LPG 차량 폐차 등으로 차량등록대수가 감소하면서 수송용 수요는 2010년 이후 지속적인 감소 추세에 있으며, 공업원료용 수요 또한 감소하면서 전체적인 LPG 수요는 역성장 기조를 나타내고 있다. 이러한 국내 LPG산업의 저성장세는 당분간 지속될 것으로 예상된다.

## 2. 수송용 LPG의 가격경쟁력

### ① LPG 수요 추이

수송용 수요는 정부의 에너지 세제개편 영향을 받고 있는데, 휘발유나 디젤유 등 여타유종대비 청정연료로서의 가치를 인정받아 상대적으로 유리한 가격비가 형성되는 등 일정 수준의 가격경쟁력을 유지하고 있다. 과거 2001년 시행된 제1차 에너지 세제개편(2000.12 특별소비세법 개정)은 수송용 유종간 부과세금을 차등 적

용, 연료간 상대가격비를 조정함으로써 LPG 수요 감소 요인으로 작용하였다. 이는 국내 에너지원간 수급불균형을 고려하여 타 유종 대비 LPG에 부과되는 특소세 부담을 증가시킴으로써 가정용·수송용 시장에서 LPG의 상대적인 가격경쟁력이 저하되었고 결국 LPG 수요 증가세가 둔화되는 결과로 이어졌다. 한편, 2005년부터 시판된 디젤승용차 증가에 따른 환경문제 등이 부각되며 청정연료에 대한 인식이 확대된 가운데, 2005년 7월 제2차 에너지 세계개편에서는 휘발유·디젤유·LPG 상대가격비율이 선진국 수준인 100:80:50으로 결정되었고, 2007년 7월까지 단계적인 세금조정을 통해 가격비율 조정이 이루어지면서 당시 유가급등에 의한 대체연료로서의 LPG 가격경쟁력이 제고되었다.

<표 2-2> 용도별 국내 LPG 수요추이(KESIS)

구분		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
물 량	가정, 상업용	1,911	1,679	1,686	1,625	1,593	1,545	1,529
	도시가스용	62	178	198	395	562	632	190
	수송용	4,366	4,379	4,500	4,468	4,249	4,126	4,010
	산업용	637	650	620	727	660	673	607
	공업원료용	1,516	2,045	2,286	1,942	1,572	1,323	1,800
	합계	8,493	8,931	9,290	9,157	8,636	8,299	8,136
비 중	가정, 상업용	22.5	18.8	18.1	17.7	18.4	18.6	18.8
	도시가스용	0.7	2	2.1	4.3	6.5	7.6	2.3
	수송용	51.4	49	48.4	48.8	49.2	49.7	49.3
	산업용	7.5	7.3	6.7	7.9	7.6	8.1	7.5
	공업원료용	17.8	22.9	24.6	21.2	18.2	15.9	22.1
증 가 율	가정, 상업용	-8.2	-12.1	0.4	-3.6	-2	-4.1	-1
	도시가스용	-10.1	187.1	11.2	99.5	42.3	15.1	-69.9
	수송용	7.3	0.3	2.8	-0.7	-4.9	-3.4	-2.8
	산업용	26.4	2	-4.6	17.3	-9.2	3.2	-9.8
	공업원료용	4.9	34.9	11.8	-15	-19.1	-14.2	36.1
	전체	4	5.2	4	-1.4	-5.7	-3.8	-2

② 유종별 유류세의 세율

<표 2-3> 유종별 유류세<sup>15)</sup>

구분		유류세				판매 부과금	부가 세	세금 합계
		교통세	개별 소비세	교육세 주1)	주행세 주2)			
일반휘발유 (원)		529.00	-	79.35	137.54	-	10%	745.89
고급휘발유 (원)		529.00	-	79.35	137.54	36.00	10%	781.89
선박디젤유 (원)		375.00	-	56.25	97.50	-	10%	528.75
자동차디젤유 (원)		375.00	-	56.25	97.50	-	10%	528.75
부탄LPG (자동차용)	원/kg	-	160.60	24.09	-	36.67	10%	221.36
	원/liter	-	80.30	12.05	-	18.34	10%	110.68
일반부탄 (취사용등)	원/kg	-	275.00	41.25	-	62.28	10%	378.53
	원/liter	-	137.50	20.63	-	31.14	10%	189.27
일반 프로판 (산업용등)	원/kg	-	14.00	-	-	-	10%	14.00
	원/liter	-	7.00	-	-	-	10%	7.00
주1) 교육세 : 교통세(교통에너지환경세) 또는 개별소비세의 15% 주2) 주행세 : 교통세의 26% 주3) LPG 1 kg = 509 liter (1:1.96) 이지만 여기서는 1:2로 단순화 함 ※ 석유수입관세(수입가격의 3%) 및 석유수입 부과금(약16원/리터)은 별도								

오피넷에는 우리나라 주유소 및 충전소의 위치, 국제유가, 국내유가, 유가동향에 대해서 실시간 검색할 수 있는 한국석유공사에서 운영하는 인터넷 사이트이다. 이곳에서는 표 2-3과 같이 유종별 유류세의 세율을 확인할 수 있다. 면세유를 사용할 수 없는 과세유 소비자는 대표적으로 관공선, 레저선박(납시형 레저선박 포함)들이 있으며 통상 디젤유를 많이 사용한다. 디젤유에 부과되는 세금은 부가세를 별

15) 출처 : 오피넷 (한국석유공사에서 운영하는 종합석유 정보망)

도로 하더라도 리터당 528.75원으로 일반프로판 7월에 비교하면 높은 세금이 부과되는 것을 확인할 수 있으며, 우리나라 LPG 소비량이 감소추세에 있으므로 LPG에 부과되는 세금이 증액될 가능성은 매우 낮은 것으로 파악된다. 따라서 LPG의 가격 경쟁력은 외국 대비 국내가 아주 높은 것을 알 수 있으며, 선박에 자동차용 부탄 대신 일반 산업용 프로판을 사용하여야 하는 이유도 국내의 유류세 제도를 이용하기 위함이다.

### ③ 유종별 10년간 공급가격

<표 2-4> 유종별 10년간의 공급가격 추이<sup>16)</sup>

년월일	디젤유 (원/liter)		프로판 (원/liter)		자동차부탄
	세전공급	세후공급	세전공급	세후공급	세후공급
2009년 평균	630.93	1,266.88	389.36	440.65	728.53
2010년 평균	745.64	1,390.72	476.71	538.15	847.40
2011년 평균	963.22	1,630.06	559.62	616.76	968.10
2012년 평균	1,001.23	1,683.50	574.53	644.63	989.07
2013년 평균	935.02	1,610.66	550.16	618.95	956.05
2014년 평균	827.38	1,489.19	523.71	588.16	956.05
2015년 평균	530.50	1,165.69	327.82	370.95	931.77
2016년 평균	443.91	1,070.44	260.57	297.02	683.64
2017년 평균	526.99	1,161.83	329.52	372.87	602.28
2018년 평균	632.88	1,278.31	352.79	398.47	689.25
10년 평균	723.77	1,374.73	434.48	488.66	810.67

16) 한국석유협회 통계자료

선박에서 사용하는 대표적인 유종인 디젤유와 비교 연구 대상인 프로판, 그리고 참조할 수 있는 자동차 부탄연료에 대한 10년간의 공급가격 추이는 대한석유협회의 통계자료에서 파악할 수 있다. 표 2-4에서 보는 바와 같이 2012년도에 디젤유와 LPG가격 공급가격이 가장 높은 것으로 파악되며 차이는 다음과 같다.

2012년도 면세 디젤유와 LPG 가격차이 = 1,001.23원 - 574.53원 = 426.70원

2012년도 과세 디젤유와 LPG 가격차이 = 1,685.50원 - 644.63원 = 1,0387.87원

그리고, 2016년도에 디젤유와 LPG 공급가격이 가장 낮은 것으로 파악되며 차이는 다음과 같다.

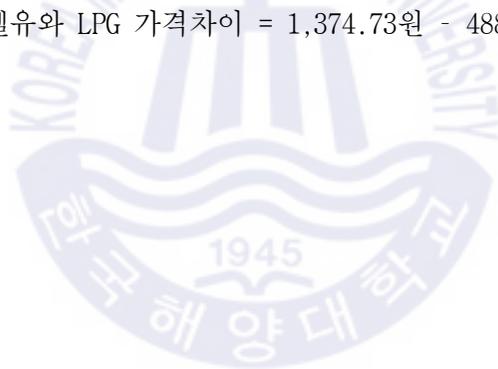
2016년도 면세 디젤유와 LPG 가격차이 = 443.91원 - 260.57원 = 183.34원

2016년도 과세 디젤유와 LPG 가격차이 = 1,070.44원 - 297.02원 = 773.42원

마지막으로 10년 평균 디젤유와 LPG 공급가격 및 차이는 다음과 같다.

10년 평균 면세 디젤유와 LPG 가격차이 = 723.77원 - 434.48원 = 289.29원

10년 평균 과세 디젤유와 LPG 가격차이 = 1,374.73원 - 488.66원 = 886.07원



### 3. LPG 차량대수 감소 및 수입가격 하락 추세

#### ① LPG 차량 대수 감소 추세

유가 급등과 세계개편에 따른 가격경쟁력 확보 및 정부의 청정 수송연료 보급 확대노력 등으로 LPG 차량 증가율은 2009년까지 전체 차량 증가율보다 높은 수준을 지속하였으나, 여전히 휘발유 및 디젤유차 비중이 절대적인 가운데 2015년 3월말 기준 LPG 차량비중은 11.5% 수준에 머무르고 있다. 또한, 외환위기 당시 급증했던 LPG 차량 (1999~2002년간 약 120만대 증가)의 폐차 시기가 도래하여 폐차대수가 신규 등록대수를 상회함에 따라 2011년 이후 LPG 차량등록대수는 지속적인 감소세를 나타내고 있다. 다만, LPG 차량 보급 확대 노력이 지속되는 가운데, 업계는 기존 등록차량의 폐차가 상당 부분 일단락되는 2015~2016년부터는 차량 등록대수가 재차 증가세로 전환될 것으로 예상하고 있다.

<표 2-5> 유종별 등록차량대수 (KAMA 자료)<sup>17)</sup>

구분		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015.03
대수	휘발유	8,561	8,914	9,193	9,333	9,485	9,706	9,779
	디젤유	6,285	6,483	6,705	7,002	7,396	7,939	8,103
	LPG	2,397	2,456	2,445	2,433	2,410	2,355	2,338
	CNG	25	29	32	37	40	41	40
	기타	57	59	62	65	70	77	79
	합계	17,325	17,941	18,437	18,871	19,401	20,118	20,339
증가율	휘발유	3.6	4.1	3.1	1.5	1.6	2.3	
	디젤유	2.4	3.2	3.4	4.4	5.6	7.3	
	LPG	3.3	2.5	-0.4	-0.5	-0.9	-2.3	
	CNG	23.6	15.5	11.9	14.1	7.4	1.9	
	기타	3.6	3.5	4.6	5.1	8.1	103	
	합계	3.2	3.6	2.8	2.4	2.8	3.7	

17) 한국자동차산업협회

## ② 사우디 계약 수입가격(CP) 하락 추세

국내 LPG 공급가격의 기준이 되는 아시아 시장의 기준가격은 사우디 Aramco사의 LPG 기간 계약 가격(CP, Contract Price)이다. Aramco사에서 매월 말 익월에 적용될 기간계약가격을 통보하면, LPG 수입업체는 환율, 각종 세금 및 유통비용 등을 반영하여 판매가격을 결정하고 다음달 1일부터 적용하는 구조이다. 사우디CP는 금융위기로 2008년 하반기 급락한 이후 2012년 초까지 대체로 높은 상승세를 지속하였으나 하반기 이후로는 등락을 반복하며 높은 변동성을 보이고 있다. 특히, 2014년 하반기 들어서는 국제유가 급락에 맞물려 가파르게 하락하였는데 C3 기준 4분기 평균가격은 직전분기대비 20% 가량 하락하였다.

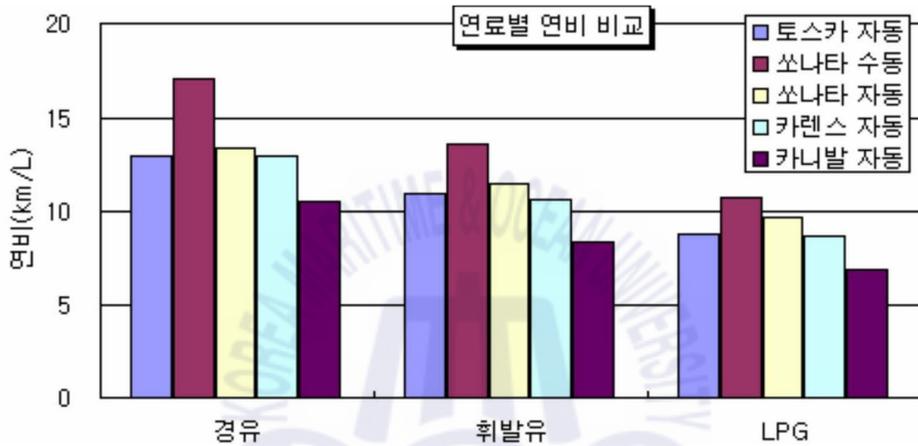
LPG는 서민 대중연료이므로 안정적인 공급을 위하여 도입 초기부터 2000년까지 전기, 수도, 가스사업에 적용되는 공공요금 관리방식에 의해 정부 최고판매가격 고시제도로 관리되었다(석유및 석유대체연료사업법 23조). 그러나, 2001년부터는 상기고시제도가 폐지됨에 따라 국제가격의 변동요인이 탄력적으로 국내 판매가격에 반영되는 가격자유화가 시행되었다. 동 제도에서는 기존의 정부 고시가 제도에서와 달리 LPG 도입비 상승 / 하락 요인을 탄력적으로 판매가에 반영할 수 있다. LPG는 국내 총1차 에너지 수요의 약 3.3%를 차지하고 있으며, 2018년 3분기 기준 수송용(33.7%), 가정상업용(15.7%), 석유화학용(38.8%), 산업용 등(11.8%)의 비중으로 구성되어 있다. LPG는 일반유류와 비슷한 계절적인 수요편차가 있어, 통상적으로 난방용 수요가 많은 동절기의 소비량이 하절기보다 늘어나는 수요패턴을 가지고 있으나, 자동차용 수요와 석유화학용 수요 증가로 동하절기 수요격차가 많이 줄었다.

2018년 3분기 누적 기준 국내 LPG 총수요는 전년 동기대비 +4.5%(+302천톤) 증가하였다. 프로필렌 제조를 위한 PDH(프로판 탈수소화 공정) 공급 및 NCC 공급용으로 석유화학용 수요가 전년동기 대비 견조한 판매세를 보이며 +22.0% (+494천톤) 증가했다. 그러나 산업용 수요는  $\Delta 5.1\%$ ( $\Delta 45$ 천톤), 가정상업용 수요는  $\Delta 0.6\%$ ( $\Delta 7$ 천톤) 소폭 감소했다.

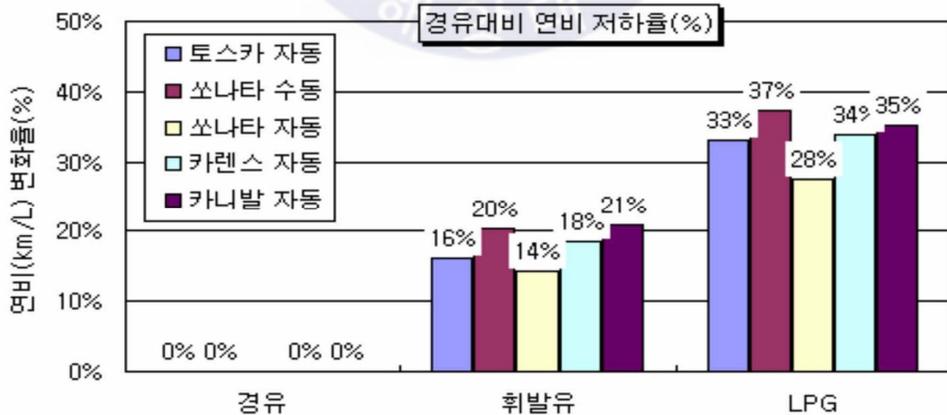
#### 4. LPG 엔진과 디젤 엔진의 연비 분석

##### ① 연비 분석

국내 완성차 중 디젤유·휘발유·LPG 엔진이 적용되어 생산되고 있는 쏘나타·토스카·카렌스·카니발에 대하여 연비 조사 결과를 보면, 다젤자동차 대비 LPG자동차의 연비가 30~35% 낮게 나타났다.



<그림 2-6> 완성차 연료별 연비



<그림 2-7> 완성디젤차 대비 연비 저하율

② 경제성 비교

연료가격 면에서 가솔린과 디젤유에 비해 LPG의 경쟁력이 뛰어나다. 예를 들어 소나타가 연간 30,000km를 운행할 경우 LPG자동차는 휘발유자동차에 비해 1,747,500원이 디젤차에 비해 577,500원이 절약되는 것으로 파악된다.

<표 2-6> 소나타 기준 연료가격 비교 18)

구 분	휘 발 유	디 젤 유	L P G
소매연료가격 (원/L )	1,645	1,437	804
연 비 (Km/L)	10	12	8
비용(원/km)	164.5	119.75	100.5
일일 주행거리(km)	100	100	100
월 사용일수	25	25	25
월 주행거리(km)	2,500	2,500	2,500
연 주행거리(km)	30,000	30,000	30,000
연간 연료비	4,935,000	3,592,500	3,015,000
절감액	1,747,500	577,500	-

주) 연비는 차량의 공인연비를 기준으로 함

18) LPG 개조자동차 연비 및 CO<sub>2</sub> 배출현황 (교통안전공단 박용성 박사)

## 5. 선행연구의 시사점

디젤유 추진선박과 LPG연료추진 선박의 경제성을 비교분석한 논문은 아직까지 없으며, 유사한 주제의 연구로는 2014년 2월에 발간된 액화천연가스(LNG)를 연료로 하는 친환경 선박 개발에 따른 기술평가 및 경제성 분석(Technology Assessment and Economic Analysis of Green Ships Fuelled by Liquefied Natural Gas (LNG Energy Information Administration)에서 대형 LNG 수송선의 경제성 분석을 연구하였다. 가스를 선박연료로 사용하는 연구는 대부분 LNG 위주로 이루어지고 있는 실정이며 선행연구로 시행한 연구는 LPG 자동차 관련 논문과 자료, 공공투자사업의 경제성 분석관련 논문과 자료이며 대상 자료는 다음의 표와 같다.

<표 2-7> 선행 연구의 고찰

연구(논문)명	연구내용	연구자 및 발행연도
디젤 및 LPG자동차의 주행모드별 시험조건 및 시험데이터	i40 디젤차와 YF소나타 LPi차를 동일한 플랫폼을 사용하여 연비 분석	한국기계연구원 2016년
유종별 세율비교 및 가격동향	휘발유, 디젤유, LPG 세율비교 및 가격	한국석유공사 오피넷, 2019년
LPG 자동차 보급성과 및 추진전략 연구	LPG 자동차의 환경성, 경제성 등을 종합적으로 검토한 후 LPG 자동차의 증장기 보급전략 제시	한국환경정책연구원 2011년
공공투자사업 경제성 분석의 한계점과 그 대안 탐색: 할인인자를 중심으로	공공투자사업의 경제성 분석에 있어서 할인인자의 개선효과를 도출하고 검증함	박철민, 임보람 2016년
공공투자 사업의 경제성분석을 위한 사회적 할인율 추정	사회적 할인율의 변화(7.7%~5.5%)에 따른 경제성 분석의 영향 분석	최지은, 박동규 2015년
사회적 할인율 조정이 공공투자사업의 경제성 평가에 미치는 영향	사업기간 30년, 기간별 할인율을 3.5%~5.5%로 차등 적용하여 NPV, B/C 변화율을 연구	김상겸 2013년
환경을 고려한 연안공공사업의 경제성분석 개선에 관한 연구	국내외에서 수행한 사업에서 환경적 편익과 비용 정보를 수집하고 연구사례를 통한 경험적 비용 및 편익에 대해 개선을 제안	신철오, 장정인 2008년

#### 1) 사회적 할인율을 5.5% 반영

“공공투자 사업의 경제성분석을 위한 사회적 할인율 추정(최지은, 박동규, 2015년)” 논문에서는 예비타당성조사 일반지침에서 공공투자사업의 권고기준인 사회적 할인율인 5.5%를 적용하였다.

#### 2) 경험적 비용과 편익 자료 축적의 필요성 제안

“환경을 고려한 연안공공사업의 경제성분석 개선에 관한 연구(신철오, 장정인, 2008년)” 논문에서는 국내외에서 수행한 사업사례를 통한 환경적 편익 자료와 비용 자료 수집의 필요성에 대해 제안하고 있으며 비용과 편익 추정에 있어 경험적 자료가 경제성 분석에서 중요한 요소임을 증명하였다. 본 논문에서는 우리나라에서의 시추 사례와 통합시운전 사례의 경험적 비용과 편익 자료를 활용하여 경제성 분석을 실시하도록 하겠다.

#### 3) 사회적 할인율 조정에 따른 NPV, B/C ratio 변화율 측정

“사회적 할인율 조정이 공공투자사업의 경제성 평가에 미치는 영향(김상겸, 2013년)” 논문에서는 공공투자 사업의 사업기간을 30년으로 하였을 때 사업진행기간 동안의 기간별 할인율을 5.5%로 일정하게 적용하는 것이 아니라 3.5%~5.5%로 차등 적용하였을 때 순현재가치(NPV)와 편익비용비율(B/C ratio)에 어떻게 변화하는지를 연구하였다. 이는 본 논문에서 경제성 분석에 영향을 미치는 것으로 예상이 되는 주요 인자의 변화율을 적용하여 변하는 NPV와 B/C ratio의 변화율을 측정하도록 하였다.

#### 4) 선박수명 20년, 할인율 5.5%, 물가상승률 제외 조건을 적용한 경제성 분석

선박운항기간 20년, 할인율 5.5%, 물가상승률 제외 조건을 적용하여 경제성 분석을 실시한 경제성 분석 방법을 연구하였다. 본 논문에서는 사업기간의 변화, 물가상승률의 변화, 할인율의 변화가 NPV, IRR, B/C ratio에 어떤 영향을 미치는지 연구하였다.

## 제3장 LPG 추진선박 개발 사례

### 제1절 LPG 추진선박 개발 동향

#### 1. LPG 연료추진 ROPAX 선박 개발 동향

##### ① LPG 연료추진 ROPAX 컨셉

Ro-Pax의 주요 특징은 다음과 같다.

- 전장(LOA) : 165m;
- 너비(Breath) : 26 m;
- 설계 흘수(디자인 초기) : 6m;
- 추진 : 2 개의 전기 모터;
- 수용 인원 : 808 명의 승객과 33 명의 승무원;
- 화물 : 25 톤 50 대 + 5 톤 57 대 + 자동차 25 대; 그리고
- 설계 흘수(초기)에서의 서비스 속도 : 25 노트

GE항공 마린 가스터빈 사업부와 한국 연안 해운선사, 설계회사, LPG TANK 및 FGSS 개발회사는 2016년 11월에 LPG 추진 페리선 개발 다자간 양해각서 체결 후 개발을 지속적으로 진행하고 있다. 개발하고 있는 선박은 친환경 연료인 LPG와 GE 가스터빈 엔진의 COGES 시스템이 적용돼 운영비 절감과 환경 보호에 기여할 것으로 기대된다. 또한 프랑스선급과 함께 해당 개발 선박의 가스터빈 기반 추진 시스템과 LPG 연료 공급 시스템 등 선박 설계의 안전성을 확인했다. 그림 3-1은 Ro-Pax 이미지와 일반배치도를 나타낸다.

## ② 위험성평가-HAZID 개요

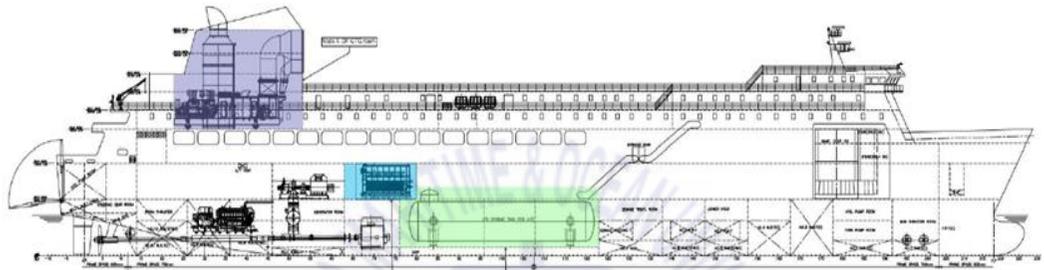
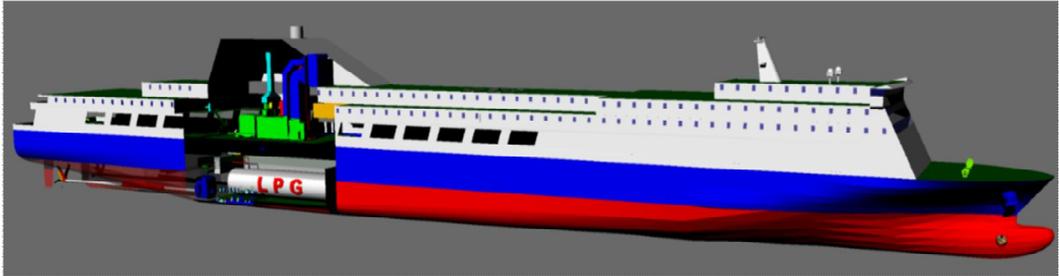


Figure 1.1 Ro-Pax Side view

### <그림 3-1> ROPAX 이미지 및 일반배치도

LPG 추진선의 개념을 설명하기 위해 연구자 본인이 참여한 LPG 선박의 위험성 평가 보고서를 인용하고자 한다.

- 목적 : GE 가스터빈 LM2500 엔진 및 COGES 시스템 승인 원칙 (AIP)을 검토하고 연료 가스 설치 및 Ro-Pax 기내의 추진 및 전력 생성에 사용되는 모든 위험을 검토하기 위해 HAZID (Hazard Identification)를 시행함
- 일시 : 2017 년 4 월 25 일 ~ 27 일
- 참여 : GE AVIATION, 영성(YS)글로벌, 단택, 극동선박설계, 앤써, 대한 LPG 협회, E1, SK-GAS, Bureau Veritas (BV) 및 Tecnicas.
- 결과 : HAZID 세션 동안 289 개의 시나리오가 연구되었고 그 중 160 항목이 위험성이 있음이 도출되었다. 워크샵 참가자의 판단에 따라 위험 등급

을 평가하였다. 129개의 시나리오는 위험성이 일반적이거나 연료 가스 설비 또는 GE COGES시스템에 국한되지 않는 일반사항으로 위험 등급에서 제외 되었다.

<표 3-1> ROPAX 선형의 LPG 사용 HAZID 결과표

노드	위험 범주	색인어
1. 좌현 및 우현의 LPG 저장 탱크	1. 격납 손실	1. LPG 누출
		2. 가스 누출
	2. 작동 위험	1. 항해 및 항만 작업 중 작동 위험
		2. 해안에서의 LPG 공급 중 작동 위험
		3. 가스 설비 시동 중 / 유지 보수 시의 작동 위험
		4. 관련 및 보조 장치의 손실
		5. 동시 작업
		6. 연료 가스 설비의 유지 보수
		7. 비상 작동
	3. 인접 지역에 대한/으로부터의 영향	1. 인접 지역
2. LPG 연료가스 공급 장치(FGSS)	1. 격납 손실	1. LPG 누출
		2. 가스 누출
	2. 작동 위험	1. 항해 및 항만 작업중 작동 위험
		2. 해안에서의 LPG 공급중 작동 위험
		3. 가스 설비 시동중 작동 위험
		4. 관련 및 보조 장치의 손실
		5. 동시 작업
		6. 연료 가스 설비의 유지 보수
		7. 비상 작동
	3. 인접 지역에 대한/으로부터의 영향	1. 인접 지역
3. 좌현의 LPG 연료 수급 장소	1. 격납 손실	1. LPG 누출
		2. 가스 누출
	2. 작동 위험	1. 항해 및 항만 작업중 작동 위험
		2. 해안에서의 LPG 공급 중 작동 위험
		3. 가스 설비 시동 중 작동 위험
		4. 관련 및 보조 장치의 손실
		5. 동시 작업
		6. 연료 가스 설비의 유지 보수
		7. 비상 작동
	3. 인접한 지역에 대한/으로부터의 영향	1. 인접 지역
4. GUV 에서 DF GTG E/R 그리고 LPG 연료수급 장소에서 LPG 저장 탱크로의 연료 가스 라인, LPG 탱크 및 FGSS 로부터의	1. 격납 손실	1. 가스 누출
		2. LPG 누출
	2. 작동 위험	1. 항해 및 항만 작업중 작동 위험
		2. 해안에서의 LPG 공급 중 작동 위험
		3. 가스 설비 시동중 작동 위험
		4. 관련 장치의 손실
		5. 동시 작업
		6. 연료 가스 설비의 유지 보수

통풍관, LPG 연료수급 장소 및 FGSS PRV, GUV 배출 라인으로 부더의 안전 라인	3. 인접한 지역에 대한/으로부터의 영향	7. 비상 작동 1. 인접 지역
	5. 이종연료 가스 터빈 발전기 실	1. 격납 손실 2. 작동 위험 3. 인접한 지역에 대한/으로부터의 영향
6. 완성 설비	1. 자연 재해	1. 극한 기후 2. 해상 사고
	2. 인접 지역 으로부터의 영향	1. 외부 효과 2. 인접한 산업 시설/토지 이용의 근접성 (항구 및 LPG 터미널에서) 3. 인구의 근접성(여객 터미널, 마을, 해변, 휴양지, 교도소, 장애인 센터, 퇴직자, 경기장 등) (항구 내) 4. 다른 선박의 근접성 (항구 및 해상에서)
	3. 주변 환경에 미치는 영향	1. 인접한 산업 시설 / 토지 이용의 근접성 (항구 / LPG 터미널) 2. 인구의 근접성 (여객 터미널, 마을, 해변, 휴양지, 교도소, 장애인 센터, 퇴직자, 경기장 등)의 근접 (항구에서) 3. 다른 선박의 근접성 (항구에서)
	4. 환경에 대한 영향	1. 대기로의 배출 2. 해상으로의 배출 (어종 / 수생 식물 군 / 동물 군)
	5. 인간 요소	1. 오 작동(조작) / 잘못된 취급 2. 외부 방문객/가스 교육을 받지 않은 검사원/작업자

## 2. LPG 연료추진 VLGC 선박 개발동향

아스트모스 에너지(Astomos Energy)는 세계 최초 LPG 추진선 개발 계획을 발표하였고 2020년 실용화 및 글로벌 공급을 목표(IMO 규제 대응)로 하고 있다. LPG(액화석유가스) 제조 기업인 아스트모스 에너지(일본 기업체)가 세계 최초로 LPG 추진선의 실용화를 위한 구상을 내놓았다. 2020년 준공 목표인 LPG 연료를 주입하는 VLGC(대형 LPG 수송선)의 실용화 계획을 발표하였고 장기적으로는 VLGC선에 그치지 않고 컨테이너선, 크루즈선, 벌크선, 자동차선 등 폭넓은 선종을 대상으로 LPG 추진선을 개발, 궁극적으로는 글로벌 LPG 공급망의 구축을 목표로 한다고 발표하였다. 아스트모스는 본 계획과 관련하여 일본 내 조선소, 해운선사, 선용품 메이커와 협의를 진행 중에 있으며, LPG 연료를 주입하는 세계 최초의 선박(선술한 VLGC선)이 2020년 준공되면 준공된 VLGC선을 자사에서 보유하여 운항할 계획이다. 2020년 준공 예정인 VLGC선의 엔진은 선박용 엔진 메이저 제조업체인 유럽의 디젤 터보(MAN Diesel & Turbo)사가 개발 중인 LPG 및 중유 양 연료를 주입할 수 있는 저속 디젤 엔진 "ME-LGI"(전자 제어식 리퀴드 가스 인젝션)를 탑재하며, 아스트모스 에너지사에 의해 LPG 연료 주입이라는 최초의 대안이 제시된 것이다. 아스트모스는 "LPG는 선박 연료로 매우 유망하여 개발 성공 시에는 장래 환경오염 감소를 위한 매우 유력한 옵션이 될 것이다"라고 언급하였다. 또한 LPG선박 연료의 이점은 처리용이성과 글로벌 공급망의 구축이 비교적 손쉬운 점이며 LNG의 비등점은 마이너스 162도로 다시 초저온으로 가공해야 하는데 이때 저장 탱크와 공급선 구축·정비에 비용이 소요되는 반면 LPG를 구성하는 프로판은 마이너스 42도, 부탄은 마이너스 0.5도로 훨씬 처리하기 용이하여 비용 측면에서도 LNG보다 절감이 가능하다. 또한 LPG는 LNG보다 영업 시장이 기 발달되어 있어 이미 세계 각지에 공급 포인트가 있어 기존 인프라가 이미 글로벌 수준에 도달해 있기 때문에 LPG 추진선은 항해 중에 언제든지 세계 주요 항만에 정박하고 신속한 연료 주입이 가능하다. 아스트모스는 그동안 구축해 놓은 싱가포르, 미국 걸프, 중동, 유럽 등 세계 각지의 네트워크(LPG 공급망)를 활용하여 LPG 선박 연료 공급 체계를 구축할 계획이다. MAN B&W사의 ME-LGIP와 ME-LGIM 추진엔진은 각각 LPG와 메탄올을 연료로 사용하는 엔진으로,

연료 공급 시 연료가액상이기 때문에 ME-GI엔진에 Liquid의 L을 붙여 ME-LGI 엔진으로 통칭한다. ME-LGI 엔진을 탑재한 선박의 경우, ME-GI 엔진과 마찬가지로 선박항해 중 연료분사밸브의 작동 신뢰도를 지속적인 테스트를 통해 확인해야 할 필요가 있다. 연료분사밸브에 누유가 발생할 경우, 엔진의 손상 혹은 화재의 위험성 등이 증가하는 등 안전에 큰 문제가 발생하기 때문이다. 즉, 연료분사밸브테스터의 개발이 연료분사밸브의 사용을 위해 반드시 요구 된다. ME-LGI 선박용 연료분사밸브 테스터는 기존에 없는 제품으로 신규 개발 시 여러 가지 어려움에 봉착할 수 있다. 새로운 시스템의 개발에는 시스템 엔지니어링 프로세스 방법이 매우 유용하다. 시스템 엔지니어링 프로세스는 포괄적이고 반복적이며 재귀적인 문제 해결 방법으로 시스템의 목적, 필요성, 요구사항을 구체적인 생산품 내지 프로세스로 변환시키는 역할을 하게 된다. 이러한 시스템 엔지니어링 프로세스는 시스템을 설계 할때 시스템의 기능 구현에 있어 필요한 모든 구성 요소를 빠짐없이 포함시킬 수 있을 뿐만 아니라 불필요한 구성요소가 설계에 반영되지 않도록 하는 장점이 있다. Astomos Energy사는 자동차 운반선, 컨테이너 선박 및 벌크선과 같은 다른 선종에 LPG연료를 홍보하기 전, 자사 VLGC선박에 LPG추진 적용을 계획하고 LPG연료의 적용 및 확대를 위해 자국 조선소, 선주 및 선박 운영사와의 협력을 진행하고 있는 한편 Kuwait Petroleum Corporation, Elgas (호주 LPG사업자) 및 Statoil 등과 LPG연료 사용을 위한 MOU를 체결 하였다.

벨기에 가스선사 Exmar는 세계 최초로 LPG를 연료로 하는 VLGC 2척을 2017.2월 한진중공업 수빅조선소에 발주하였으며 2020.7월과 2020.9월에 준공 예정이다. Exmar는 발주 선박에 MAN B&W사의 ME-LGI 방식 신형디젤 주기관 탑재와 적하 LPG를 연료로 사용을 계획하고 있다. 해당 선박은 노르웨이 최대 Oil Major인 Statoil과 장기용선 계약에 투입예정이다. Exmar의 LPG 연료 채용은 Statoil의 지속가능성장 정책의 의지가 반영되어 있다. Statoil은 일본 Astomos Energy사와유럽지역의 선박용 LPG연료 사용 확대를 위해 협력하고 있다.

### 3. 소형선 개발동향

#### ① 레르 선외기 엔진<sup>19)</sup>

세계 최초의 프로판 40HP 2 스트로크 프로판 아웃보드 엔진으로 미국 외부 시장을 위한 저가의 엔진으로 개발되었다.<sup>20)</sup>



출처 : LPG for Marine Engines, The Marine Alternative Fuel Commercial, Passenger, Offshore Boats/Ships, Recreational Crafts and Other Boats

<그림 3-2> 레르 선외기 엔진

#### ② 토하츠 선외기 엔진

토하츠 아메리카는 새로운 5-hp LPG 선외기를 선보였다. 가솔린과 비교하여,

19) 2017 World LPG Association - WLPGA

20) PG for Marine Engines, The Marine Alternative Fuel Commercial, Passenger, Offshore Boats/Ships, Recreational Crafts and Other Boats

LPG 배기가스는 12% 더 적은 이산화탄소를 배출하는데, 이는 선택을 위한 더 깨끗한 선택이다. LPG 모터는 시동이 쉽고 작동이 더 조용하며 연료 관련 부품의 유지보수가 덜 필요하다. 선외기는 짧고 길며 초장 길이인 세일러 프로모델을 포함하여 다양한 샤프트 길이로 나온다. 연료 공급원을 하나만 가지고 다니는 것 외에 다른 이점은 낮은 배출량, 연비 및 연료 관련 문제가 발생할 수 있는 원격지에서 중요한 유지보수를 줄이는 것이다. 알려진 바와 같이 "프로판"은 대형 운반 핸들 및 프론트 장착 변속 레벨이 특징인 가솔린 MFS5C의 모든 표준 특성을 유지한다. 프로펠러를 통한 배기가스는 소음을 감소시킨다. 추가된 안전 기능에는 연료 조절기, 차단 밸브 및 안전한 작동을 위해 필요한 LPG 피팅이 포함된다. 독점적인 안전 연료 차단 밸브는 엔진이 사용 중이 아닐 때 프로판 연료가 연속적으로 작동하지 않도록 한다. 토하쓰 사장은 새로운 LPG 선외기가 성능 저하 없이 WOT에서 5시간 내내 가동될 것이라고 장점을 설명한다.

선외기 엔진 공해에 대한 몇 가지 사실들 이들링 속도

◆ 2행정 엔진 카뷰레터는 공회전 및 최대 속도에서 틀림없이 가장 오염이 심한 엔진이다.

◆ 4행정 엔진은 HC 배출량은 낮지만(-87% 2행정 엔진 대비), LPG 엔진 대비 배출량은 더 높음(LPG 엔진 대비 +137,5% 및 농축 가스 혼합물로 테스트한 LPG 엔진 대비 +52%)

◆ LPG 구동 엔진은 비연소 탄화수소 배출량이 가장 낮음(2행정 엔진 대비 -95%, 4행정 가솔린 엔진 대비 -92%, LPG 엔진 대비 -34%)을 보장) 최고 속도

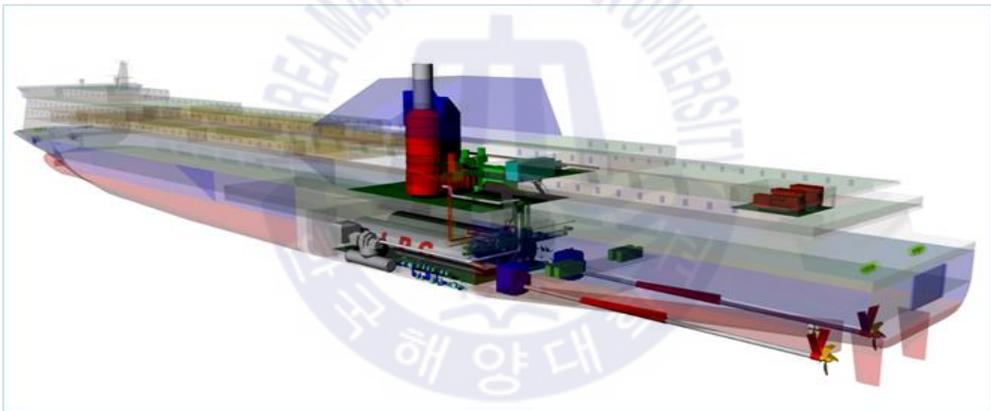
◆ 2행정 엔진 카뷰레터는 공회전 속도에서 주행하는 엔진에 비해 최고 속도로 주행하는 엔진의 배출량이 50%나 적음에도 불구하고 여전히 오염도가 매우 높다.

2행정 엔진에 비해 4행정 엔진은 고속 주행 시 연소율이 높고 배기 가스 배출량이 적다(2행정 엔진 대비 91%). 그럼에도 불구하고, 그들은 여전히 LPG 연료 엔진보다 훨씬 더 많이 오염시킨다. EFI 전자사출 시스템은 성능을 향상시키고 2행정 엔진과 4행정 엔진 제품군 모두에 대해 위험한 배출량을 줄였다. 최대 속도로 작동하는 EFI 4행정 LPG 엔진은 가장 낮은 배출량을 보장한다(2행정 연료 분사 엔진 대비 -95/94%, 4행정 가솔린 엔진 대비 -48/36%).

## 제2절 LPG 추진선박 개발 모델

### 1. ROPAX LPG 추진선박 개발 모델

2018년 국내에서 국내연안 해운선사와 LPG 수입정유사, GE 공동으로 인천~제주도 구간을 운항하는 컨셉으로 카페리선 모델을 개발하였다. 해당 모델은 LPG 연료를 사용하여 대기오염 물질을 효과적으로 줄이며, GE-COGES 시스템을 적용하여 약 30%의 엔진효율을 개선한 친환경 선박이다. 모델 개발을 완성하고 LPG 연료사용에 대한 HAZID까지 시행하였으나, 선박건조로 발전되지 못하고 모델개발까지만 완료된 상태인 것으로 알려져 있다. 다음 그림은 세계최초로 국내에서 개발된 LPG 추진선박 ROPAX 모델이다.



LOA	160.0 M
LBP	150.0 M
BREADTH	28.0 M
DEPTH(MAIN DECK)	10.1 M
DEPTH(UPPER DECK)	15.3 M
DRAFT	5.5 M
DWT	4,600 TON
GROSS TON	21,300 TON
SPEED	24.0 KT

<그림 3-3> LPG 추진선박 ROPAX 모델 및 건조사양

## 2. VLGC (ME-LGI) 탑재 LPG 수송선박 개발 모델

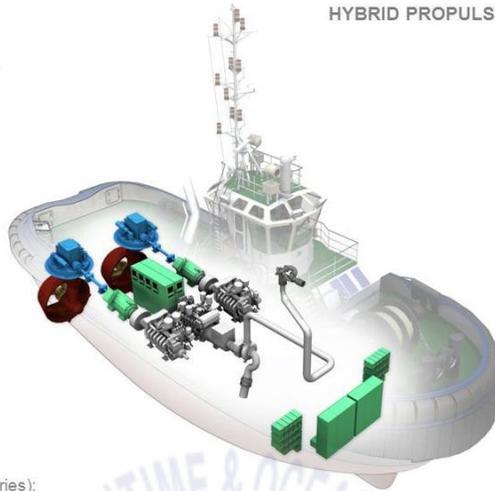
M이 메탄올을 나타내는 새로운 ME-LGIM 엔진, 현재 ME-LGIM 엔진은 일련의 7 개의 50,000 dwt 메탄올 운반체에 주문되었으며 2016 년 7 월 현재 7 개의 엔진이 공급되었다. 이 선박 중 첫 번째 선박은 이미 운항 중이며 연료로서 메탄올을 사용하며 저 인화점 액체 연료를 위해 원래 설계된 ME-LGI 개념은 이제 엔진부호 ME-LGIP 하에서 LPG 작동을 위해 개발되고 있으며, 여기서 P는 프로판올을 나타낸다. ME-LGI 개념은 모든 MAN B & W 2 행정 저속 엔진 유형에 적용 할 수 있다 (원래 유닛 또는etrofit 솔루션으로 주문). ME-LGI 개념으로 MAN Diesel & Turbo는 이중 연료 포트폴리오를 더욱 확장하여 에탄올, 디메틸에테르(DME) 및 가솔린과 같은 다른 저 인화점 연료를 이용할 수 있게 하였다. 새로운 엔진 잇점은 입증된 전자제어와 가스 연료 작동을 위한 이중연료 ME-GI 엔진을 위해 개발된 안전개념에서 비롯되었다.

## 3. 소형선 개발 모델 (선체 길이 24m 미만)

LPG 추진선박 중에서 소형선은 엔진에 따라 크게 선내기와 선외기로 구분된다. 선내기는 선박내부에 엔진과 추진축을 고정으로 탑재한 형태이며, 선외기는 고속내연기관을 선박 후미에 엔진을 탈착할 수 있도록 개발되어 있다. 선내기의 대표적인 모델로 터그보트를 생각할 수 있으며, 터그보트는 선박크기 대비 엔진출력이 높아 친환경 LPG 추진선박의 잇점을 극대화 할 수 있는 모델로 확인된다. 선외기는 대부분의 레저모터 보트를 대표적인 모델로 생각할 수 있으며, 고속가솔린 엔진이 다양하게 개발되어 있는 엔진을 LPG 연료 엔진으로 개조하여 사용할 수 있는 기술을 다양하게 적용되고 있다.

## TUGS

## HYBRID PROPULSION SYSTEM



Free sailing mode (batteries):  
Diesel electric propulsion up to 4 knots and no diesel engines running.  
(One battery pack feeds the propulsion switchboard, one battery pack feeds the hotel switchboard.)



<그림 3-4> LPG연료 추진 소형선 모델

### 제3절 LPG 추진선 개발의 문제점

#### 1. 안전성

LNG연료에 대한 IGF의 상세 요건은 전통적인 액체연료(HFO, MDO 등) 와 LNG의 특성 및 위험성을 비교하고 LNG가 가지는 추가적인 위험성을 제거하거나 감소하는 방법으로 요건을 개발하였다. 이와 유사하게 LPG연료에 대한 요건도 LPG연료를 LNG 연료와 비교하여 다른 특성 및 추가적인 위험성을 식별하여 LPG를 선박의 연료로 사용할 때 발생할 수 있는 위험성을 제거하거나 위험도 수준을 최소화 하는 방법을 개발하고 선박에 적용 방안을 마련하여야 한다.

#### 2. 제도적 문제점

<표 3-2> LPG연료 추진선박 개발의 제도적 문제점

관련법령	주관 부서	현황 및 개선방안
선박안전법 - 가스연료추진 선박건조기준(안) - 선급규칙	해양수산부 (장관고시) + 한국선급규칙	LNG 선박 위한 2014년 기준 수립에 LPG는 반영되지 못 함 -> 가스연료추진선박건조기준(안) 2018. 12월 개정 하였으나 현재 발효되지 못하고 있음 (24m 이상 선박) ※ 24m 이하 선박도 별도 기준 수립이 필요함
항만운송사업법 해양환경관리법	해수부 산자부	선박용연료유 공급하는 사업 -> 선박연료공급업 (연료의정의에가스연료추가)
액화석유가스 사업법 액화석유가스안전 관리법	산자부 한국가스안전 공사	항만(선박) 가스연료 공급사업 및 안전관리규정이 선박에 가스를 연료로 공급할 수 있는 근거가 없음. 해당 선박의 안전검사를 선급과 가스안전공사가 같이 할 경우 검사 분야 중복. 단일화 필요

## 제4장 LPG 추진선박 개발의 경제적 효과분석

### 제1절 소형선 경제성 분석을 위한 주요 전제 및 추정

현재 우리나라 연안에서 운항하고 있는 소형선의 경제성을 분석하고자 한다. 연안 소형선의 경우, 영세어민 또는 영세낙시영업 선주들의 개인소유로 운영하고 있어 집계된 수치의 연구가 거의 전무한 실정이다. 따라서 우리나라 연근해 소형선을 운영하는 대부분의 1인 영세선박들의 연료 변경에 따른 경제성을 분석하여 효율적 이익 창출을 방안을 모색하고자 한다. 면세연료를 사용할 수 있는 어선과 과세연료를 사용해야만 하는 레저 낙시선박이 LPG연료를 이용하였을 경우를 가정하여 건조비용, 선박의 건조 후 운항기간, 운항 및 유지보수 비용 등을 바탕으로 비용-편익 분석(Cost-Benefit Analysis) 기법을 사용하여 경제성 분석을 실시하고자 한다.

#### 1. 경제성 분석의 주요 전제

- ① 할인율(discount rate)은 미래의 가치를 현재가치로 변환하는 시간선호율을 의미하며, 공공투자사업의 경제성 분석에서는 사회적 할인율을 사용한다. 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완」과 「항만부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제3판)」에서 제시한 5.5%를 적용한다.
- ② 분석기간은 비용이 발생하는 선박 건조시점과 선박의 운항으로 인한 편익의 발생기간을 고려하여 설정하였다. 분석기간은 우리나라 연안 소형선의 운항기간 20년을 적용하고, 20년 이후에는 선박의 잔존가치는 없는 것으로 가정한다.

③ 분석 대상의 선박을 선정하기 위하여 우리나라 연안에서 가장 활발하게 활동하는 선형으로 검토하였고, 해당 선박의 명세는 다음과 같이 정하기로 한다.

	선박유형 : 낚시배
	톤수 : 5톤
	주요제원 : LOA 1550 x LBP 300
	조선소 : 우리나라 연안조선소
	엔진 : 230마력 2대
	속력 : 23노트

<그림 4-1 연안 소형선박 그림 및 제원>

- ④ 연안 소형선박 사업에 공공부문 사업의 경제성을 판정할 때 일반적으로 사용하는 기법인 공공투자의 의사결정 기준의 전통적인 방법을 적용하기엔 다소 무리가 있을 수 있겠으나, 연안 소형선박 전체의 사업을 전제로 하여 공공투자사업의 분석기법을 적용한다.
- ⑤ 비용과 편익의 현재가치는 2020년을 기준으로 산정한다.
- ⑥ 잔존가치 및 재투자비용은 우리나라 연안 소형선박의 일반적인 사용년한 20년을 기준으로 하고 20년 이후에는 잔존가치를 0 으로 전제한다.
- ⑦ 매년 발생하는 시설의 유지보수 및 정비는 유지관리비로 처리한다.
- ⑧ 세금은 비용 산정에 있어서 반영하지 않았다.
- ⑨ 연안 소형선박의 운항 기준은 다음의 조건으로 가정하여 분석한다.
  - 1일 평균 운항거리 : 20km
  - 1일 평균 소모연료 : 100리터
  - 연간 운항일 : 250일 (주5일 x 50주, 불가동일 164일)

## 2. 비용의 추정

### ① 건조비용의 추정

선박 건조 비용은 표 4-1에서 구분한 바와 같이 디젤유 사용 선박은 2.2억원, LPG 사용 선박은 2억으로 가정하였다. 디젤엔진은 실제 A제조 엔진회사에 견적의뢰 하였으며, LPG연료 엔진은 자동차 LPi엔진을 선박용으로 개발하는 B조선소에 문의 하여 추산하였다. B회사는 자동차 LPi엔진이 선박용 디젤엔진보다 약 10% 저렴하여 선박용으로 변경할 경우 엔진 1기당 약 1천만원의 엔진가격이 낮아질 것이라고 주장하였다. 건조비용 산출방법은 “Fishing Boat Construction” Richard O.N. Riley Hainford, Norwich, Norfolk United Kingdom에서<sup>21)</sup> 제시한 기준에 의하여 추정하였다. 실제 우리나라에서 건조되는 소형선 건조 가격을 참조하기 위하여 부산 녹산 소재의 B조선소에 견적을 산출하였고, 제시된 선박건조 가격은 한국선박 중개소에 매물로 나온 선박(2016 ~ 2018년 건조선박)의 중고선가를 확인하여 검증하였다.

<표 4-1> 소형선 건조 가격 세부별 구분

항목	디젤선박(천원)	LPG선박(천원)
1. Hull construction	25,256	25,256
2. Engine c/w hydraulic gear box, PTO, SW inlet, outlet, exhaust, controls, etc.	52,580	32,580
3. Stern gear c/w 3 blade RH Kaplan prop.	8,140	8,140
4. Ducted nozzle	4,004	4,004
5. Rudder gear and steering controls	4,312	4,312
6. Bilge and deck wash system	2,970	2,970
7. Engineering & Electrical miscellaneous	4,972	4,972
8. Deck, bulkheads, soles, bearers, BS, forepeak, wheelhouse, galley, etc	33,418	33,418
9. Fishing equipment	28,028	28,028
10. General deck equipment	14,784	14,784
11. Winch c/w layshaft and control	8,140	8,140
12. Complete painting	8,118	8,118
13. Launching, trials and final work	7,634	7,634
14. Optional equipment	17,644	17,644
총 선박 건조 가격	220,000	200,000

21) “Fishing Boat Construction” Richard O.N. Riley Hainford, Norwich, Norfolk United Kingdom

② 선박 유지관리 비용의 추정

선박 유지관리 비용의 추정은 “Economic analysis of fishing crafts in fishing village” - Fisheries College and Research Institute, Tamil Nadu Fisheries University에서 제시한 기준에 의하여 추정하였다.

<표 4-2> 소형선 유지관리 비용의 추정

No	항목	금액(천원)
1	선체관리비	1,120
2	기관정비비용	2,854
3	어구 교체 및 수리비	1,311
4	안전장비 및 기타 비용	862
5	선박숙구 및 기타	1,466
6	일반관리비	16,137
총유지관리비		23,750

③ 연료 비용의 추정

- 1일 연료소모량 가정 : 100리터(디젤유기준)

- 연간 운항일 250일 (주5일 x 50주 = 250일, 휴일 및 불가동 일수 164일)

연료비용의 추정은 본 논문 <표 2-4>에서 대한석유협회의 자료에서 유종별 공급 가격 추이의 선행연구 자료를 기준으로 하였다. 디젤유와 LPG의 연비 비율은 1:1.5로 본 논문 <표 2-6>에서 연비를 비교한 선행연구 자료를 기준으로 하였다.

<표 4-3> 공급가격 최저년도(2016) 기준

구분	면세		과세	
	디젤유	LPG	디젤유	LPG
유류사용량 (liter)	25,000	37,500	25,000	37,500
유류비 단가 (liter/원)	443.91	260.57	1,070.44	297.02
총유류비(원)	11,097,750	9,771,375	26,761,000	11,138,250
차액(원) (디젤유-LPG)	1,326,375		15,622,750	

<표 4-4> 공급가격 10년 평균 기준

구분	면세		과세	
	디젤유	LPG	디젤유	LPG
유류사용량 (liter)	25,000	37,500	25,000	37,500
유류비 단가 (liter/원)	723.77	434.48	1,374.73	488.66
총유류비(원)	18,094,250	16,293,000	34,368,250	18,324,750
차액(원) (디젤유-LPG)	1,801,250		16,043,500	

<표 4-5> 공급가격 최고년도(2012) 기준

구분	면세유		과세유	
	디젤유	LPG	디젤유	LPG
유류사용량 (liter)	25,000	37,500	25,000	37,500
유류비 단가 (liter/원)	1,001.23	574.53	1,683.50	644.63
총유류비(원)	25,030,750	21,544,875	42,087,500	24,173,625
차액(원) (디젤유-LPG)	3,485,875		17,913,875	

④ 세율 및 감가상각비의 추정

우리나라 어가 소득에 대한 비과세 2019년까지 3,000만원이고 2020년부터는 8,000만원까지 확대될 예정이다. 어가 소득의 영세성, 비과세 제도를 감안하여 세율 및 감가상각비 값을 적용하지 않는 기준으로 하였다.

⑤ 매출 및 편익의 추정

선박 매출액의 추정은 해양수산부의 통계자료를 인용하고자 한다. 해양수산부의 2016년도 낚시어선업 운영현황 통계자료에 의하면 낚시어선 이용객 수는 약 343만 명으로 15.9%인 47만 명이 증가했고, 산업 전체 매출은 2,242억 원으로 18.9%인 357억원, 1척당 매출액은 연평균 5천만원으로 2015년에 비해 13.6%가 각각 증가한 것으로 나타났다.



<그림 4-2> 2016년 낚시어선업 매출현황<sup>22)</sup>

상기 낚시어선 이용객 매출액 5천만원에 추가하여 어선 고유의 어업행위로 발생하는 연간 매출액을 3천만원으로 가정하여 총 매출액을 8천만원으로 추정하였고 그 근거는 아래의 어가 소득 평균값을 참조하였다.

22) 출처 : 해양수산부 2016 낚시어선업 운영현황 통계자료

<표 4-6> 2018년도 어가유형 및 형태별 소득 통계<sup>23)</sup>

어가유형 어업형태	2018년				
	어가소득 (천원)	경상소득 (천원)	순소득 (천원)	어업소득 (천원)	어업총수입 (천원)
전국평균	51,836	49,386	39,193	25,670	72,625



23) 출처 : KOSIS(국가통계포털)의 2018년도 어가소득 통계

## 제2절 연료공급가격 최저년도 기준 경제성 분석

### 1. 면세 디젤유 사용 선박의 경제성 분석

#### ① 총 비용의 추정

총 비용의 추정은 선박건조 비용의 추정, 유지관리 비용의 추정, 연료비의 추정을 합한 비용으로 가정하였다.

<표 4-7> 최저년도 면세 디젤유 사용 선박의 총비용의 추정

년도	총비용 (단위 : 천원)			
	선박건조비	유지관리비용	연료비	합계
합계	220,000	475,000	221,960	916,960
2020	220,000	23,750	11,098	254,848
2021	0	23,750	11,098	34,848
2022	0	23,750	11,098	34,848
2023	0	23,750	11,098	34,848
2024	0	23,750	11,098	34,848
2025	0	23,750	11,098	34,848
2026	0	23,750	11,098	34,848
2027	0	23,750	11,098	34,848
2028	0	23,750	11,098	34,848
2029	0	23,750	11,098	34,848
2030	0	23,750	11,098	34,848
2031	0	23,750	11,098	34,848
2032	0	23,750	11,098	34,848
2033	0	23,750	11,098	34,848
2034	0	23,750	11,098	34,848
2035	0	23,750	11,098	34,848
2036	0	23,750	11,098	34,848
2037	0	23,750	11,098	34,848
2038	0	23,750	11,098	34,848
2039	0	23,750	11,098	34,848

② 비용과 편익의 현금흐름 분석 및 경제성 평가의 결과

면세 디젤유 사용 선박에 대해서 20년 운영을 적용한 현금흐름을 분석한 결과, 불변가치 683,040천원의 순편익, 현재가치 317,639천원의 순편익이 추정된다.

<표 4-8> 면세 디젤유 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정

년도	불변가치(천원)			할인을 5.5% 할인지수	현재가치(천원)		
	비용	편익	편익-비용		편익	비용	편익-비용
합계	916,960	1,600,000	683,040	5.5%	931,146	613,507	317,639
2020	254,848	80,000	-174,848	0.945	75,600	240,831	-165,231
2021	34,848	80,000	45,152	0.893	71,442	31,120	40,322
2022	34,848	80,000	45,152	0.844	67,513	29,409	38,104
2023	34,848	80,000	45,152	0.797	63,799	27,791	36,008
2024	34,848	80,000	45,152	0.754	60,291	26,263	34,028
2025	34,848	80,000	45,152	0.712	56,975	24,818	32,156
2026	34,848	80,000	45,152	0.673	53,841	23,453	30,388
2027	34,848	80,000	45,152	0.636	50,880	22,163	28,716
2028	34,848	80,000	45,152	0.601	48,081	20,944	27,137
2029	34,848	80,000	45,152	0.568	45,437	19,792	25,645
2030	34,848	80,000	45,152	0.537	42,938	18,704	24,234
2031	34,848	80,000	45,152	0.507	40,576	17,675	22,901
2032	34,848	80,000	45,152	0.479	38,345	16,703	21,642
2033	34,848	80,000	45,152	0.453	36,236	15,784	20,451
2034	34,848	80,000	45,152	0.428	34,243	14,916	19,327
2035	34,848	80,000	45,152	0.404	32,359	14,096	18,264
2036	34,848	80,000	45,152	0.382	30,580	13,320	17,259
2037	34,848	80,000	45,152	0.361	28,898	12,588	16,310
2038	34,848	80,000	45,152	0.341	27,308	11,895	15,413
2039	34,848	80,000	45,152	0.323	25,806	11,241	14,565

### ③ 경제성 분석의 결과

2014년도 예비타당성조사 연구보고서 「항만부문 사업의 예비타당성조사 표준 지침 연구(제3판)」을 기초로 하여 전제조건을 설정하여 순현재가치와 내부수익률, 비용편익비율을 분석하였다. 연간 운항일수는 250일, 연간 매출액은 80,000천원, 사회적 할인율은 5.5%, 사업기간은 20년, 물가상승률은 감안하지 않았을 때, 비용편익비율(B/C Ratio)은 1.52로 경제적 타당성 기준인 '1' 을 충족하고 비용의 현재가치는 613,507천원, 편익의 현재 가치는 931,146천원으로 이를 합한 순 현재가치(NPV)는 317,639천원이다. 내부수익률은 18.58%로 결과가 도출 되었다.

<표 4-9> 면세 디젤유 사용 선박의 경제성 평가 결과

구분	결과값	기준
편익의 현재가치(A)	931,146 천원	
비용의 현재가치(B)	613,507 천원	
NPV(A-B)	317,639 천원	NPV>1원
IRR	18.58%	
B/C (A/B)	1.52	B/C≥1

## 2. 면세 LPG 사용 선박의 경제성 분석

### ① 총 비용의 추정

총 비용의 추정은 선박건조 비용의 추정, 유지관리 비용의 추정, 연료비의 추정으로 하여 모두 합한 비용을 총 비용의 추정으로 가정하였다.

<표 4-10> 최저년도 면세 LPG 사용 선박의 총비용의 추정

년도	총비용 (단위 : 천원)			
	선박건조비	유지관리비용	연료비	합계
합계	200,000	475,000	195,420	870,420
2020	200,000	23,750	9,771	233,521
2021	0	23,750	9,771	33,521
2022	0	23,750	9,771	33,521
2023	0	23,750	9,771	33,521
2024	0	23,750	9,771	33,521
2025	0	23,750	9,771	33,521
2026	0	23,750	9,771	33,521
2027	0	23,750	9,771	33,521
2028	0	23,750	9,771	33,521
2029	0	23,750	9,771	33,521
2030	0	23,750	9,771	33,521
2031	0	23,750	9,771	33,521
2032	0	23,750	9,771	33,521
2033	0	23,750	9,771	33,521
2034	0	23,750	9,771	33,521
2035	0	23,750	9,771	33,521
2036	0	23,750	9,771	33,521
2037	0	23,750	9,771	33,521
2038	0	23,750	9,771	33,521
2039	0	23,750	9,771	33,521

② 비용과 편익의 현금흐름 분석 및 경제성 평가의 결과

면세 LPG연료 사용 소형선에 대해서 20년 운영을 적용한 현금흐름을 분석한 결과, 불변가치 729,580천원의 순편익, 현재가치 351,984천원의 순편익이 추정된다.

<표 4-11> 최저년도 면세 LPG 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정

년도	불변가치(천원)			할인율 5.5% 할인지수	현재가치(천원)		
	비용	편익	편익-비용		편익	비용	편익-비용
합계	870,420	1,600,000	729,580	5.5%	931,146	579,162	351,984
2020	233,521	80,000	-153,521	0.945	75,600	220,677	-145,077
2021	33,521	80,000	46,479	0.893	71,442	29,935	41,507
2022	33,521	80,000	46,479	0.844	67,513	28,289	39,224
2023	33,521	80,000	46,479	0.797	63,799	26,733	37,067
2024	33,521	80,000	46,479	0.754	60,291	25,262	35,028
2025	33,521	80,000	46,479	0.712	56,975	23,873	33,101
2026	33,521	80,000	46,479	0.673	53,841	22,560	31,281
2027	33,521	80,000	46,479	0.636	50,880	21,319	29,560
2028	33,521	80,000	46,479	0.601	48,081	20,147	27,935
2029	33,521	80,000	46,479	0.568	45,437	19,039	26,398
2030	33,521	80,000	46,479	0.537	42,938	17,991	24,946
2031	33,521	80,000	46,479	0.507	40,576	17,002	23,574
2032	33,521	80,000	46,479	0.479	38,345	16,067	22,278
2033	33,521	80,000	46,479	0.453	36,236	15,183	21,052
2034	33,521	80,000	46,479	0.428	34,243	14,348	19,895
2035	33,521	80,000	46,479	0.404	32,359	13,559	18,800
2036	33,521	80,000	46,479	0.382	30,580	12,813	17,766
2037	33,521	80,000	46,479	0.361	28,898	12,108	16,789
2038	33,521	80,000	46,479	0.341	27,308	11,443	15,866
2039	33,521	80,000	46,479	0.323	25,806	10,813	14,993

### ③ 경제성 분석의 결과

2014년도 예비타당성조사 연구보고서 「항만부문 사업의 예비타당성조사 표준 지침 연구(제3판)」을 기초로 하여 전제조건을 설정하여 순현재가치와 내부수익율, 비용편익비율을 분석하였다. 연간 운항일수는 250일, 연간 매출액은 80,000천원, 사회적 할인율은 5.5%, 사업기간은 20년, 물가상승률은 감안하지 않았을 때, 비용 편익비율(B/C Ratio)은 1.61으로 경제적 타당성 기준인 '1' 을 충족하고 비용의 현재가치는 579,162천원, 편익의 현재 가치는 931,146천원으로 이를 합한 순 현재 가치(NPV)는 351,984천원이다. 내부수익률은 22.92%로 결과가 도출 되었다.

<표 4-12> 최저년도 면세 LPG 사용 선박의 경제성 평가 결과

구분	결과값	기준
편익의 현재가치(A)	931,146 천원	
비용의 현재가치(B)	579,162 천원	
NPV(A-B)	351,984 천원	NPV>1원
IRR	22.92%	
B/C (A/B)	1.61	B/C≥1

### 3. 과세 디젤유 사용 선박의 경제성 분석

#### ① 총 비용의 추정

총 비용의 추정은 선박건조 비용의 추정, 유지관리 비용의 추정, 연료비의 추정으로 하여 모두 합한 비용을 총 비용의 추정으로 가정하였다.

<표 4-13> 최저년도 과세 디젤유 사용 선박의 총비용의 추정

년도	총비용 (단위 : 천원)			
	선박건조비	유지관리비용	연료비	합계
합계	220,000	475,000	535,220	1,230,220
2020	220,000	23,750	26,761	270,511
2021	0	23,750	26,761	50,511
2022	0	23,750	26,761	50,511
2023	0	23,750	26,761	50,511
2024	0	23,750	26,761	50,511
2025	0	23,750	26,761	50,511
2026	0	23,750	26,761	50,511
2027	0	23,750	26,761	50,511
2028	0	23,750	26,761	50,511
2029	0	23,750	26,761	50,511
2030	0	23,750	26,761	50,511
2031	0	23,750	26,761	50,511
2032	0	23,750	26,761	50,511
2033	0	23,750	26,761	50,511
2034	0	23,750	26,761	50,511
2035	0	23,750	26,761	50,511
2036	0	23,750	26,761	50,511
2037	0	23,750	26,761	50,511
2038	0	23,750	26,761	50,511
2039	0	23,750	26,761	50,511

② 비용과 편익의 현금흐름 분석 및 경제성 평가의 결과

과세 디젤유 사용 선박에 대해서 20년 운영을 적용한 현금흐름을 분석한 결과, 불변가치 369,780천원의 순편익, 현재가치 135,332천원의 순편익이 추정된다.

<표 4-14> 최저년도 과세 디젤유 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정

년도	불변가치(천원)			할인율 5.5% 할인지수	현재가치(천원)		
	비용	편익	편익-비용		편익	비용	편익-비용
합계	1,230,220	1,600,000	369,780	5.5%	931,146	795,814	135,332
2020	270,511	80,000	-190,511	0.945	75,600	255,633	-180,033
2021	50,511	80,000	29,489	0.893	71,442	45,108	26,334
2022	50,511	80,000	29,489	0.844	67,513	42,627	24,886
2023	50,511	80,000	29,489	0.797	63,799	40,282	23,517
2024	50,511	80,000	29,489	0.754	60,291	38,067	22,224
2025	50,511	80,000	29,489	0.712	56,975	35,973	21,002
2026	50,511	80,000	29,489	0.673	53,841	33,994	19,846
2027	50,511	80,000	29,489	0.636	50,880	32,125	18,755
2028	50,511	80,000	29,489	0.601	48,081	30,358	17,723
2029	50,511	80,000	29,489	0.568	45,437	28,688	16,749
2030	50,511	80,000	29,489	0.537	42,938	27,110	15,827
2031	50,511	80,000	29,489	0.507	40,576	25,619	14,957
2032	50,511	80,000	29,489	0.479	38,345	24,210	14,134
2033	50,511	80,000	29,489	0.453	36,236	22,879	13,357
2034	50,511	80,000	29,489	0.428	34,243	21,620	12,622
2035	50,511	80,000	29,489	0.404	32,359	20,431	11,928
2036	50,511	80,000	29,489	0.382	30,580	19,308	11,272
2037	50,511	80,000	29,489	0.361	28,898	18,246	10,652
2038	50,511	80,000	29,489	0.341	27,308	17,242	10,066
2039	50,511	80,000	29,489	0.323	25,806	16,294	9,513

### ③ 경제성 분석의 결과

2014년도 예비타당성조사 연구보고서 「항만부문 사업의 예비타당성조사 표준 지침 연구(제3판)」을 기초로 하여 전제조건을 설정하여 순현재가치와 내부수익률, 비용편익비율을 분석하였다. 연간 운항일수는 250일, 연간 매출액은 80,000천원, 사회적 할인율은 5.5%, 사업기간은 20년, 물가상승률은 감안하지 않았을 때, 비용편익비율(B/C Ratio)은 1.17로 경제적 타당성 기준인 '1' 을 충족하지 못하며 비용의 현재가치는 795,814천원, 편익의 현재 가치는 931,146천원으로 이를 합한 순현재가치(NPV)는 135,332천원이다. 내부수익률은 7.96%로 결과가 도출 되었다.

<표 4-15> 최저년도 과제 디젤유 사용 선박의 경제성 평가 결과

구분	결과값		기준
편익의 현재가치(A)	931,146	천원	
비용의 현재가치(B)	795,814	천원	
NPV(A-B)	135,332	천원	NPV>1원
IRR	7.96%		
B/C (A/B)	1.17		B/C≥1

#### 4. 과세 LPG 사용 선박의 경제성 분석

##### ① 총 비용의 추정

총 비용의 추정은 선박건조 비용의 추정, 유지관리 비용의 추정, 유류비의 추정으로 하여 모두 합한 비용을 총 비용의 추정으로 가정하였다.

<표 4-16> 최저년도 과세 LPG 사용 선박의 총비용의 추정

년도	총비용 (단위 : 천원)			
	선박건조비	유지관리비용	연료비	합계
합계	200,000	475,000	222,760	897,760
2020	200,000	23,750	11,138	234,888
2021	0	23,750	11,138	34,888
2022	0	23,750	11,138	34,888
2023	0	23,750	11,138	34,888
2024	0	23,750	11,138	34,888
2025	0	23,750	11,138	34,888
2026	0	23,750	11,138	34,888
2027	0	23,750	11,138	34,888
2028	0	23,750	11,138	34,888
2029	0	23,750	11,138	34,888
2030	0	23,750	11,138	34,888
2031	0	23,750	11,138	34,888
2032	0	23,750	11,138	34,888
2033	0	23,750	11,138	34,888
2034	0	23,750	11,138	34,888
2035	0	23,750	11,138	34,888
2036	0	23,750	11,138	34,888
2037	0	23,750	11,138	34,888
2038	0	23,750	11,138	34,888
2039	0	23,750	11,138	34,888

② 비용과 편익의 현금흐름 분석 및 경제성 평가의 결과

과세 LPG 사용 선박에 대해서 20년 운영을 적용한 현금흐름을 분석한 결과, 불변가치 702,240천원의 순편익, 현재가치 336,073천원의 순편익이 추정된다.

<표 4-17> 최저년도 과세 LPG 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정

년도	불변가치(천원)			할인율 5.5% 할인지수	현재가치(천원)		
	비용	편익	편익-비용		편익	비용	편익-비용
합계	897,760	1,600,000	702,240	5.5%	931,146	595,073	336,073
2020	234,888	80,000	-154,888	0.945	75,600	221,969	-146,369
2021	34,888	80,000	45,112	0.893	71,442	31,156	40,286
2022	34,888	80,000	45,112	0.844	67,513	29,442	38,070
2023	34,888	80,000	45,112	0.797	63,799	27,823	35,977
2024	34,888	80,000	45,112	0.754	60,291	26,293	33,998
2025	34,888	80,000	45,112	0.712	56,975	24,847	32,128
2026	34,888	80,000	45,112	0.673	53,841	23,480	30,361
2027	34,888	80,000	45,112	0.636	50,880	22,189	28,691
2028	34,888	80,000	45,112	0.601	48,081	20,968	27,113
2029	34,888	80,000	45,112	0.568	45,437	19,815	25,622
2030	34,888	80,000	45,112	0.537	42,938	18,725	24,213
2031	34,888	80,000	45,112	0.507	40,576	17,695	22,881
2032	34,888	80,000	45,112	0.479	38,345	16,722	21,622
2033	34,888	80,000	45,112	0.453	36,236	15,802	20,433
2034	34,888	80,000	45,112	0.428	34,243	14,933	19,309
2035	34,888	80,000	45,112	0.404	32,359	14,112	18,247
2036	34,888	80,000	45,112	0.382	30,580	13,336	17,244
2037	34,888	80,000	45,112	0.361	28,898	12,602	16,295
2038	34,888	80,000	45,112	0.341	27,308	11,909	15,399
2039	34,888	80,000	45,112	0.323	25,806	11,254	14,552

### ③ 경제성 분석의 결과

2014년도 예비타당성조사 연구보고서 「항만부문 사업의 예비타당성조사 표준 지침 연구(제3판)」을 기초로 하여 전제조건을 설정하여 순현재가치와 내부수익율, 비용편익비율을 분석하였다. 연간 운항일수는 250일, 연간 매출액은 80,000천원, 사회적 할인율은 5.5%, 사업기간은 20년, 물가상승률은 감안하지 않았을 때, 비용편익비율(B/C Ratio)은 1.56로 경제적 타당성 기준인 '1' 을 충족하고 비용의 현재가치는 595,073천원, 편익의 현재 가치는 931,146천원으로 이를 합한 순 현재가치(NPV)는 336,073천원이다. 내부수익률은 21.80%로 결과가 도출 되었다.

<표 4-18> 최저년도 과세 LPG 사용 선박의 경제성 평가 결과

구분	결과값		기준
편익의 현재가치(A)	931,146	천원	
비용의 현재가치(B)	595,073	천원	
NPV(A-B)	336,073	천원	NPV>1원
IRR	21.80%		
B/C (A/B)	1.56		B/C≥1

### 제3절 연료공급가격 10년 평균 기준 경제성 분석

#### 1. 면세 디젤유 사용 선박의 경제성 분석

##### ① 총 비용의 추정

총 비용의 추정은 선박건조 비용의 추정, 유지관리 비용의 추정, 연료비의 추정을 합한 비용으로 가정하였다.

<표 4-19> 10년평균 면세 디젤유 사용 선박의 총비용의 추정

년도	총비용 (단위 : 천원)			
	선박건조비	유지관리비용	연료비	합계
합계	220,000	475,000	361,880	1,056,880
2020	220,000	23,750	18,094	261,844
2021	0	23,750	18,094	41,844
2022	0	23,750	18,094	41,844
2023	0	23,750	18,094	41,844
2024	0	23,750	18,094	41,844
2025	0	23,750	18,094	41,844
2026	0	23,750	18,094	41,844
2027	0	23,750	18,094	41,844
2028	0	23,750	18,094	41,844
2029	0	23,750	18,094	41,844
2030	0	23,750	18,094	41,844
2031	0	23,750	18,094	41,844
2032	0	23,750	18,094	41,844
2033	0	23,750	18,094	41,844
2034	0	23,750	18,094	41,844
2035	0	23,750	18,094	41,844
2036	0	23,750	18,094	41,844
2037	0	23,750	18,094	41,844
2038	0	23,750	18,094	41,844
2039	0	23,750	18,094	41,844

② 비용과 편익의 현금흐름 분석 및 경제성 평가의 결과

면세 디젤유 사용 선박에 대해서 20년 운영을 적용한 현금흐름을 분석한 결과, 불변가치 543,120천원의 순편익, 현재가치 236,210천원의 순편익이 추정된다.

<표 4-20> 10년평균 면세 디젤유 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정

년도	불변가치(천원)			할인율 5.5% 할인지수	현재가치(천원)		
	비용	편익	편익-비용		편익	비용	편익-비용
합계	1,056,880	1,600,000	543,120	5.5%	931,146	694,936	236,210
2020	261,844	80,000	-181,844	0.945	75,600	247,443	-171,843
2021	41,844	80,000	38,156	0.893	71,442	37,368	34,074
2022	41,844	80,000	38,156	0.844	67,513	35,313	32,200
2023	41,844	80,000	38,156	0.797	63,799	33,370	30,429
2024	41,844	80,000	38,156	0.754	60,291	31,535	28,756
2025	41,844	80,000	38,156	0.712	56,975	29,801	27,174
2026	41,844	80,000	38,156	0.673	53,841	28,162	25,679
2027	41,844	80,000	38,156	0.636	50,880	26,613	24,267
2028	41,844	80,000	38,156	0.601	48,081	25,149	22,932
2029	41,844	80,000	38,156	0.568	45,437	23,766	21,671
2030	41,844	80,000	38,156	0.537	42,938	22,459	20,479
2031	41,844	80,000	38,156	0.507	40,576	21,223	19,353
2032	41,844	80,000	38,156	0.479	38,345	20,056	18,288
2033	41,844	80,000	38,156	0.453	36,236	18,953	17,283
2034	41,844	80,000	38,156	0.428	34,243	17,911	16,332
2035	41,844	80,000	38,156	0.404	32,359	16,926	15,434
2036	41,844	80,000	38,156	0.382	30,580	15,995	14,585
2037	41,844	80,000	38,156	0.361	28,898	15,115	13,783
2038	41,844	80,000	38,156	0.341	27,308	14,284	13,025
2039	41,844	80,000	38,156	0.323	25,806	13,498	12,308

### ③ 경제성 분석의 결과

2014년도 예비타당성조사 연구보고서 「항만부문 사업의 예비타당성조사 표준 지침 연구(제3판)」을 기초로 하여 전제조건을 설정하여 순현재가치와 내부수익률, 비용편익비율을 분석하였다. 연간 운항일수는 250일, 연간 매출액은 80,000천원, 사회적 할인율은 5.5%, 사업기간은 20년, 물가상승률은 감안하지 않았을 때, 비용편익비율(B/C Ratio)은 1.34로 경제적 타당성 기준인 '1' 을 충족하고 비용의 현재가치는 694,936천원, 편익의 현재 가치는 931,146천원으로 이를 합한 순 현재가치(NPV)는 236,210천원이다. 내부수익률은 13.74%로 결과가 도출 되었다.

<표 4-21> 10년평균 먼세 디젤유 사용 선박의 경제성 평가 결과

구분	결과값		기준
편익의 현재가치(A)	931,146	천원	
비용의 현재가치(B)	694,936	천원	
NPV(A-B)	236,210	천원	NPV>1원
IRR	13.74%		
B/C (A/B)	1.34		B/C≥1

## 2. 면세 LPG 사용 선박의 경제성 분석

### ① 총 비용의 추정

총 비용의 추정은 선박건조 비용의 추정, 유지관리 비용의 추정, 연료비의 추정 등으로 하여 모두 합한 비용을 총 비용의 추정으로 가정하였다.

<표 4-22> 10년평균 면세 LPG 사용 선박의 총비용의 추정

년도	총비용 (단위 : 천원)			
	선박건조비	유지관리비용	연료비	합계
합계	200,000	475,000	325,860	1,000,860
2020	200,000	23,750	16,293	240,043
2021	0	23,750	16,293	40,043
2022	0	23,750	16,293	40,043
2023	0	23,750	16,293	40,043
2024	0	23,750	16,293	40,043
2025	0	23,750	16,293	40,043
2026	0	23,750	16,293	40,043
2027	0	23,750	16,293	40,043
2028	0	23,750	16,293	40,043
2029	0	23,750	16,293	40,043
2030	0	23,750	16,293	40,043
2031	0	23,750	16,293	40,043
2032	0	23,750	16,293	40,043
2033	0	23,750	16,293	40,043
2034	0	23,750	16,293	40,043
2035	0	23,750	16,293	40,043
2036	0	23,750	16,293	40,043
2037	0	23,750	16,293	40,043
2038	0	23,750	16,293	40,043
2039	0	23,750	16,293	40,043

② 비용과 편익의 현금흐름 분석 및 경제성 평가의 결과

면세 LPG연료 사용 소형선에 대해서 20년 운영을 적용한 현금흐름을 분석한 결과, 불변가치 599,140천원의 순편익, 현재가치 276,072천원의 순편익이 추정된다.

<표 4-23> 10년평균 면세 LPG 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정

년도	불변가치(천원)			할인율 5.5% 할인지수	현재가치(천원)		
	비용	편익	편익-비용		편익	비용	편익-비용
합계	1,000,860	1,600,000	599,140	5.5%	931,146	655,073	276,072
2020	240,043	80,000	-160,043	0.945	75,600	226,841	-151,241
2021	40,043	80,000	39,957	0.893	71,442	35,759	35,683
2022	40,043	80,000	39,957	0.844	67,513	33,793	33,720
2023	40,043	80,000	39,957	0.797	63,799	31,934	31,865
2024	40,043	80,000	39,957	0.754	60,291	30,178	30,113
2025	40,043	80,000	39,957	0.712	56,975	28,518	28,457
2026	40,043	80,000	39,957	0.673	53,841	26,949	26,892
2027	40,043	80,000	39,957	0.636	50,880	25,467	25,412
2028	40,043	80,000	39,957	0.601	48,081	24,066	24,015
2029	40,043	80,000	39,957	0.568	45,437	22,743	22,694
2030	40,043	80,000	39,957	0.537	42,938	21,492	21,446
2031	40,043	80,000	39,957	0.507	40,576	20,310	20,266
2032	40,043	80,000	39,957	0.479	38,345	19,193	19,152
2033	40,043	80,000	39,957	0.453	36,236	18,137	18,098
2034	40,043	80,000	39,957	0.428	34,243	17,140	17,103
2035	40,043	80,000	39,957	0.404	32,359	16,197	16,162
2036	40,043	80,000	39,957	0.382	30,580	15,306	15,273
2037	40,043	80,000	39,957	0.361	28,898	14,464	14,433
2038	40,043	80,000	39,957	0.341	27,308	13,669	13,639
2039	40,043	80,000	39,957	0.323	25,806	12,917	12,889

### ③ 경제성 분석의 결과

2014년도 예비타당성조사 연구보고서 「항만부문 사업의 예비타당성조사 표준 지침 연구(제3판)」을 기초로 하여 전제조건을 설정하여 순현재가치와 내부수익율, 비용편익비율을 분석하였다. 연간 운항일수는 250일, 연간 매출액은 80,000천원, 사회적 할인율은 5.5%, 사업기간은 20년, 물가상승률은 감안하지 않았을 때, 비용편익비율(B/C Ratio)은 1.42으로 경제적 타당성 기준인 '1' 을 충족하고 비용의 현재가치는 655,073천원, 편익의 현재 가치는 931,146천원으로 이를 합한 순 현재 가치(NPV)는 276,072천원이다. 내부수익률은 17.73%로 결과가 도출 되었다.

<표 4-24> 10년평균 면세 LPG 사용 선박의 경제성 평가 결과

구분	결과값	기준
편익의 현재가치(A)	931,146 천원	
비용의 현재가치(B)	655,073 천원	
NPV(A-B)	276,072 천원	NPV>1원
IRR	17.73%	
B/C (A/B)	1.42	B/C≥1

### 3. 과세 디젤유 사용 선박의 경제성 분석

#### ① 총 비용의 추정

총 비용의 추정은 선박건조 비용의 추정, 유지관리 비용의 추정, 연료비의 추정, 금융비의 추정으로 하여 모두 합한 비용을 총 비용의 추정으로 가정하였다.

<표 4-25> 10년평균 디젤유 사용 선박의 총비용의 추정

년도	총비용 (단위 : 천원)			
	선박건조비	유지관리비용	연료비	합계
합계	220,000	475,000	687,360	1,382,360
2020	220,000	23,750	34,368	278,118
2021	0	23,750	34,368	58,118
2022	0	23,750	34,368	58,118
2023	0	23,750	34,368	58,118
2024	0	23,750	34,368	58,118
2025	0	23,750	34,368	58,118
2026	0	23,750	34,368	58,118
2027	0	23,750	34,368	58,118
2028	0	23,750	34,368	58,118
2029	0	23,750	34,368	58,118
2030	0	23,750	34,368	58,118
2031	0	23,750	34,368	58,118
2032	0	23,750	34,368	58,118
2033	0	23,750	34,368	58,118
2034	0	23,750	34,368	58,118
2035	0	23,750	34,368	58,118
2036	0	23,750	34,368	58,118
2037	0	23,750	34,368	58,118
2038	0	23,750	34,368	58,118
2039	0	23,750	34,368	58,118

② 비용과 편익의 현금흐름 분석 및 경제성 평가의 결과

과세 디젤유 사용 선박에 대해서 20년 운영을 적용한 현금흐름을 분석한 결과, 불변가치 217,640천원의 순편익, 현재가치 46,792천원의 순편익이 추정된다.

<표 4-26> 10년평균 과세 디젤유 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정

년도	불변가치(천원)			할인율 5.5% 할인지수	현재가치(천원)		
	비용	편익	편익-비용		편익	비용	편익-비용
합계	1,382,360	1,600,000	217,640	5.5%	931,146	884,354	46,792
2020	278,118	80,000	-198,118	0.945	75,600	262,822	-187,222
2021	58,118	80,000	21,882	0.893	71,442	51,901	19,541
2022	58,118	80,000	21,882	0.844	67,513	49,046	18,466
2023	58,118	80,000	21,882	0.797	63,799	46,349	17,451
2024	58,118	80,000	21,882	0.754	60,291	43,800	16,491
2025	58,118	80,000	21,882	0.712	56,975	41,391	15,584
2026	58,118	80,000	21,882	0.673	53,841	39,114	14,727
2027	58,118	80,000	21,882	0.636	50,880	36,963	13,917
2028	58,118	80,000	21,882	0.601	48,081	34,930	13,151
2029	58,118	80,000	21,882	0.568	45,437	33,009	12,428
2030	58,118	80,000	21,882	0.537	42,938	31,193	11,745
2031	58,118	80,000	21,882	0.507	40,576	29,478	11,099
2032	58,118	80,000	21,882	0.479	38,345	27,856	10,488
2033	58,118	80,000	21,882	0.453	36,236	26,324	9,911
2034	58,118	80,000	21,882	0.428	34,243	24,876	9,366
2035	58,118	80,000	21,882	0.404	32,359	23,508	8,851
2036	58,118	80,000	21,882	0.382	30,580	22,215	8,364
2037	58,118	80,000	21,882	0.361	28,898	20,993	7,904
2038	58,118	80,000	21,882	0.341	27,308	19,839	7,469
2039	58,118	80,000	21,882	0.323	25,806	18,748	7,059

### ③ 경제성 분석의 결과

2014년도 예비타당성조사 연구보고서 「항만부문 사업의 예비타당성조사 표준 지침 연구(제3판)」을 기초로 하여 전제조건을 설정하여 순현재가치와 내부수익률, 비용편익비율을 분석하였다. 연간 운항일수는 250일, 연간 매출액은 80,000천원, 사회적 할인율은 5.5%, 사업기간은 20년, 물가상승률은 감안하지 않았을 때, 비용편익비율(B/C Ratio)은 1.05로 경제적 타당성 기준인 '1' 을 충족하지 못하며 비용의 현재가치는 884,354천원, 편익의 현재 가치는 931,146천원으로 이를 합한 순현재가치(NPV)는 46,792천원이다. 내부수익률은 2.85%로 결과가 도출 되었다.

<표 4-27> 10년평균 과세 디젤유 사용 선박의 경제성 평가 결과

구분	결과값		기준
편익의 현재가치(A)	931,146	천원	
비용의 현재가치(B)	884,354	천원	
NPV(A-B)	46,792	천원	NPV>1원
IRR	2.85%		
B/C (A/B)	1.05		B/C≥1

#### 4. 과세 LPG 사용 선박의 경제성 분석

##### ① 총 비용의 추정

총 비용의 추정은 선박건조 비용의 추정, 유지관리 비용의 추정, 유류비의 추정 등으로 하여 모두 합한 비용을 총 비용의 추정으로 가정하였다.

<표 4-28> 10년평균 과세 LPG 사용 선박의 총비용의 추정

년도	총비용 (단위 : 천원)			
	선박건조비	유지관리비용	연료비	합계
합계	200,000	475,000	366,500	1,041,500
2020	200,000	23,750	18,325	242,075
2021	0	23,750	18,325	42,075
2022	0	23,750	18,325	42,075
2023	0	23,750	18,325	42,075
2024	0	23,750	18,325	42,075
2025	0	23,750	18,325	42,075
2026	0	23,750	18,325	42,075
2027	0	23,750	18,325	42,075
2028	0	23,750	18,325	42,075
2029	0	23,750	18,325	42,075
2030	0	23,750	18,325	42,075
2031	0	23,750	18,325	42,075
2032	0	23,750	18,325	42,075
2033	0	23,750	18,325	42,075
2034	0	23,750	18,325	42,075
2035	0	23,750	18,325	42,075
2036	0	23,750	18,325	42,075
2037	0	23,750	18,325	42,075
2038	0	23,750	18,325	42,075
2039	0	23,750	18,325	42,075

② 비용과 편익의 현금흐름 분석 및 경제성 평가의 결과

과세 LPG 사용 선박에 대해서 20년 운영을 적용한 현금흐름을 분석한 결과, 불변가치 558,500천원의 순편익, 현재가치 252,421천원의 순편익이 추정된다.

<표 4-29> 10년평균 과세 LPG 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정

년도	불변가치(천원)			할인율 5.5% 할인지수	현재가치(천원)		
	비용	편익	편익-비용		편익	비용	편익-비용
합계	1,041,500	1,600,000	558,500	5.5%	931,146	678,725	252,421
2020	242,075	80,000	-162,075	0.945	75,600	228,761	-153,161
2021	42,075	80,000	37,925	0.893	71,442	37,574	33,868
2022	42,075	80,000	37,925	0.844	67,513	35,507	32,005
2023	42,075	80,000	37,925	0.797	63,799	33,555	30,245
2024	42,075	80,000	37,925	0.754	60,291	31,709	28,581
2025	42,075	80,000	37,925	0.712	56,975	29,965	27,009
2026	42,075	80,000	37,925	0.673	53,841	28,317	25,524
2027	42,075	80,000	37,925	0.636	50,880	26,760	24,120
2028	42,075	80,000	37,925	0.601	48,081	25,288	22,794
2029	42,075	80,000	37,925	0.568	45,437	23,897	21,540
2030	42,075	80,000	37,925	0.537	42,938	22,583	20,355
2031	42,075	80,000	37,925	0.507	40,576	21,341	19,236
2032	42,075	80,000	37,925	0.479	38,345	20,167	18,178
2033	42,075	80,000	37,925	0.453	36,236	19,058	17,178
2034	42,075	80,000	37,925	0.428	34,243	18,009	16,233
2035	42,075	80,000	37,925	0.404	32,359	17,019	15,340
2036	42,075	80,000	37,925	0.382	30,580	16,083	14,497
2037	42,075	80,000	37,925	0.361	28,898	15,198	13,699
2038	42,075	80,000	37,925	0.341	27,308	14,362	12,946
2039	42,075	80,000	37,925	0.323	25,806	13,573	12,234

### ③ 경제성 분석의 결과

2014년도 예비타당성조사 연구보고서 「항만부문 사업의 예비타당성조사 표준 지침 연구(제3판)」을 기초로 하여 전제조건을 설정하여 순현재가치와 내부수익율, 비용편익비율을 분석하였다. 연간 운항일수는 250일, 연간 매출액은 80,000천원, 사회적 할인율은 5.5%, 사업기간은 20년, 물가상승률은 감안하지 않았을 때, 비용편익비율(B/C Ratio)은 1.37로 경제적 타당성 기준인 '1' 을 충족하고 비용의 현재가치는 678,725천원, 편익의 현재 가치는 931,146천원으로 이를 합한 순 현재가치(NPV)는 252,421천원이다. 내부수익률은 16.18%로 결과가 도출 되었다.

<표 4-30> 10년평균 과세 LPG 사용 선박의 경제성 평가 결과

구분	결과값		기준
편익의 현재가치(A)	931,146	천원	
비용의 현재가치(B)	678,725	천원	
NPV(A-B)	252,421	천원	NPV>1원
IRR	16.18%		
B/C (A/B)	1.37		B/C≥1

## 제4절 연료공급가격 최고년도 기준 경제성 분석

### 1. 면세 디젤유 사용 선박의 경제성 분석

#### ① 총 비용의 추정

총 비용의 추정은 선박건조 비용의 추정, 유지관리 비용의 추정, 연료비의 추정을 합한 비용으로 가정하였다.

<표 4-31> 최고년도 면세 디젤유 사용 선박의 총비용의 추정

년도	총비용 (단위 : 천원)			
	선박건조비	유지관리비용	연료비	합계
합계	220,000	475,000	500,620	1,195,620
2020	220,000	23,750	25,031	268,781
2021	0	23,750	25,031	48,781
2022	0	23,750	25,031	48,781
2023	0	23,750	25,031	48,781
2024	0	23,750	25,031	48,781
2025	0	23,750	25,031	48,781
2026	0	23,750	25,031	48,781
2027	0	23,750	25,031	48,781
2028	0	23,750	25,031	48,781
2029	0	23,750	25,031	48,781
2030	0	23,750	25,031	48,781
2031	0	23,750	25,031	48,781
2032	0	23,750	25,031	48,781
2033	0	23,750	25,031	48,781
2034	0	23,750	25,031	48,781
2035	0	23,750	25,031	48,781
2036	0	23,750	25,031	48,781
2037	0	23,750	25,031	48,781
2038	0	23,750	25,031	48,781
2039	0	23,750	25,031	48,781

② 비용과 편익의 현금흐름 분석 및 경제성 평가의 결과

면세 디젤유 사용 선박에 대해서 20년 운영을 적용한 현금흐름을 분석한 결과, 불변가치 404,380천원의 순편익, 현재가치 155,468천원의 순편익이 추정된다.

<표 4-32> 최고년도 면세 디젤유 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정

년도	불변가치(천원)			할인율 5.5% 할인지수	현재가치(천원)		
	비용	편익	편익-비용		편익	비용	편익-비용
합계	1,195,620	1,600,000	404,380	5.5%	931,146	775,678	155,468
2020	268,781	80,000	-188,781	0.945	75,600	253,998	-178,398
2021	48,781	80,000	31,219	0.893	71,442	43,563	27,879
2022	48,781	80,000	31,219	0.844	67,513	41,167	26,346
2023	48,781	80,000	31,219	0.797	63,799	38,903	24,897
2024	48,781	80,000	31,219	0.754	60,291	36,763	23,528
2025	48,781	80,000	31,219	0.712	56,975	34,741	22,234
2026	48,781	80,000	31,219	0.673	53,841	32,830	21,011
2027	48,781	80,000	31,219	0.636	50,880	31,025	19,855
2028	48,781	80,000	31,219	0.601	48,081	29,318	18,763
2029	48,781	80,000	31,219	0.568	45,437	27,706	17,731
2030	48,781	80,000	31,219	0.537	42,938	26,182	16,756
2031	48,781	80,000	31,219	0.507	40,576	24,742	15,834
2032	48,781	80,000	31,219	0.479	38,345	23,381	14,963
2033	48,781	80,000	31,219	0.453	36,236	22,095	14,140
2034	48,781	80,000	31,219	0.428	34,243	20,880	13,363
2035	48,781	80,000	31,219	0.404	32,359	19,731	12,628
2036	48,781	80,000	31,219	0.382	30,580	18,646	11,933
2037	48,781	80,000	31,219	0.361	28,898	17,621	11,277
2038	48,781	80,000	31,219	0.341	27,308	16,652	10,657
2039	48,781	80,000	31,219	0.323	25,806	15,736	10,071

### ③ 경제성 분석의 결과

2014년도 예비타당성조사 연구보고서 「항만부문 사업의 예비타당성조사 표준 지침 연구(제3판)」을 기초로 하여 전제조건을 설정하여 순현재가치와 내부수익률, 비용편익비율을 분석하였다. 연간 운항일수는 250일, 연간 매출액은 80,000천원, 사회적 할인율은 5.5%, 사업기간은 20년, 물가상승률은 감안하지 않았을 때, 비용편익비율(B/C Ratio)은 1.20으로 경제적 타당성 기준인 '1'을 충족하고 비용의 현재가치는 775,678천원, 편익의 현재 가치는 931,146천원으로 이를 합한 순 현재 가치(NPV)는 155,468천원이다. 내부수익률은 9.11%로 결과가 도출 되었다.

<표 4-33> 최고년도 먼세 디젤유 사용 선박의 경제성 평가 결과

구분	결과값	기준
편익의 현재가치(A)	931,146 천원	
비용의 현재가치(B)	775,678 천원	
NPV(A-B)	155,468 천원	NPV>1원
IRR	9.11%	
B/C (A/B)	1.20	B/C≥1

## 2. 면세 LPG 사용 선박의 경제성 분석

### ① 총 비용의 추정

총 비용의 추정은 선박건조 비용의 추정, 유지관리 비용의 추정, 연료비의 추정으로 하여 모두 합한 비용을 총 비용의 추정으로 가정하였다.

<표 4-34> 최고년도 면세 LPG 사용 선박의 총비용의 추정

년도	총비용 (단위 : 천원)			
	선박건조비	유지관리비용	연료비	합계
합계	200,000	475,000	430,900	1,105,900
2020	200,000	23,750	21,545	245,295
2021	0	23,750	21,545	45,295
2022	0	23,750	21,545	45,295
2023	0	23,750	21,545	45,295
2024	0	23,750	21,545	45,295
2025	0	23,750	21,545	45,295
2026	0	23,750	21,545	45,295
2027	0	23,750	21,545	45,295
2028	0	23,750	21,545	45,295
2029	0	23,750	21,545	45,295
2030	0	23,750	21,545	45,295
2031	0	23,750	21,545	45,295
2032	0	23,750	21,545	45,295
2033	0	23,750	21,545	45,295
2034	0	23,750	21,545	45,295
2035	0	23,750	21,545	45,295
2036	0	23,750	21,545	45,295
2037	0	23,750	21,545	45,295
2038	0	23,750	21,545	45,295
2039	0	23,750	21,545	45,295

② 비용과 편익의 현금흐름 분석 및 경제성 평가의 결과

면세 LPG연료 사용 소형선에 대해서 20년 운영을 적용한 현금흐름을 분석한 결과, 불변가치 494,100천원의 순편익, 현재가치 214,943천원의 순편익이 추정된다.

<표 4-35> 최고년도 면세 LPG 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정

년도	불변가치(천원)			할인율 5.5% 할인지수	현재가치(천원)		
	비용	편익	편익-비용		편익	비용	편익-비용
합계	1,105,900	1,600,000	494,100	5.5%	931,146	716,203	214,943
2020	245,295	80,000	-165,295	0.945	75,600	231,804	-156,204
2021	45,295	80,000	34,705	0.893	71,442	40,450	30,992
2022	45,295	80,000	34,705	0.844	67,513	38,225	29,288
2023	45,295	80,000	34,705	0.797	63,799	36,122	27,677
2024	45,295	80,000	34,705	0.754	60,291	34,136	26,155
2025	45,295	80,000	34,705	0.712	56,975	32,258	24,716
2026	45,295	80,000	34,705	0.673	53,841	30,484	23,357
2027	45,295	80,000	34,705	0.636	50,880	28,807	22,072
2028	45,295	80,000	34,705	0.601	48,081	27,223	20,858
2029	45,295	80,000	34,705	0.568	45,437	25,726	19,711
2030	45,295	80,000	34,705	0.537	42,938	24,311	18,627
2031	45,295	80,000	34,705	0.507	40,576	22,974	17,602
2032	45,295	80,000	34,705	0.479	38,345	21,710	16,634
2033	45,295	80,000	34,705	0.453	36,236	20,516	15,719
2034	45,295	80,000	34,705	0.428	34,243	19,388	14,855
2035	45,295	80,000	34,705	0.404	32,359	18,321	14,038
2036	45,295	80,000	34,705	0.382	30,580	17,314	13,266
2037	45,295	80,000	34,705	0.361	28,898	16,361	12,536
2038	45,295	80,000	34,705	0.341	27,308	15,462	11,847
2039	45,295	80,000	34,705	0.323	25,806	14,611	11,195

### ③ 경제성 분석의 결과

2014년도 예비타당성조사 연구보고서 「항만부문 사업의 예비타당성조사 표준 지침 연구(제3판)」을 기초로 하여 전제조건을 설정하여 순현재가치와 내부수익율, 비용편익비율을 분석하였다. 연간 운항일수는 250일, 연간 매출액은 80,000천원, 사회적 할인율은 5.5%, 사업기간은 20년, 물가상승률은 감안하지 않았을 때, 비용편익비율(B/C Ratio)은 1.30으로 경제적 타당성 기준인 '1' 을 충족하고 비용의 현재가치는 716,203천원, 편익의 현재 가치는 931,146천원으로 이를 합한 순 현재 가치(NPV)는 214,943천원이다. 내부수익률은 13.76%로 결과가 도출 되었다.

<표 4-36> 최고년도 면세 LPG 사용 선박의 경제성 평가 결과

구분	결과값		기준
편익의 현재가치(A)	931,146	천원	
비용의 현재가치(B)	716,203	천원	
NPV(A-B)	214,943	천원	NPV>1원
IRR	13.76%		
B/C (A/B)	1.30		B/C≥1

### 3. 과세 디젤유 사용 선박의 경제성 분석

#### ① 총 비용의 추정

총 비용의 추정은 선박건조 비용의 추정, 유지관리 비용의 추정, 연료비의 추정으로 하여 모두 합한 비용을 총 비용의 추정으로 가정하였다.

<표 4-37> 최고년도 과세 디젤유 사용 선박의 총비용의 추정

년도	총비용 (단위 : 천원)			
	선박건조비	유지관리비용	연료비	합계
합계	220,000	475,000	841,760	1,536,760
2020	220,000	23,750	42,088	285,838
2021	0	23,750	42,088	65,838
2022	0	23,750	42,088	65,838
2023	0	23,750	42,088	65,838
2024	0	23,750	42,088	65,838
2025	0	23,750	42,088	65,838
2026	0	23,750	42,088	65,838
2027	0	23,750	42,088	65,838
2028	0	23,750	42,088	65,838
2029	0	23,750	42,088	65,838
2030	0	23,750	42,088	65,838
2031	0	23,750	42,088	65,838
2032	0	23,750	42,088	65,838
2033	0	23,750	42,088	65,838
2034	0	23,750	42,088	65,838
2035	0	23,750	42,088	65,838
2036	0	23,750	42,088	65,838
2037	0	23,750	42,088	65,838
2038	0	23,750	42,088	65,838
2039	0	23,750	42,088	65,838

② 비용과 편익의 현금흐름 분석 및 경제성 평가의 결과

과세 디젤유 사용 선택에 대해서 20년 운영을 적용한 현금흐름을 분석한 결과, 불변가치 63,240천원의 순편익, 현재가치 -43,064천원의 순편익이 추정된다.

<표 4-38> 최고년도 과세 디젤유 사용 선택의 편익-비용 현금흐름 추정

년도	불변가치(천원)			할인율 5.5% 할인지수	현재가치(천원)		
	비용	편익	편익-비용		편익	비용	편익-비용
합계	1,536,760	1,600,000	63,240	5.5%	931,146	974,210	-43,064
2020	285,838	80,000	-205,838	0.945	75,600	270,117	-194,517
2021	65,838	80,000	14,162	0.893	71,442	58,795	12,647
2022	65,838	80,000	14,162	0.844	67,513	55,561	11,951
2023	65,838	80,000	14,162	0.797	63,799	52,505	11,294
2024	65,838	80,000	14,162	0.754	60,291	49,618	10,673
2025	65,838	80,000	14,162	0.712	56,975	46,889	10,086
2026	65,838	80,000	14,162	0.673	53,841	44,310	9,531
2027	65,838	80,000	14,162	0.636	50,880	41,873	9,007
2028	65,838	80,000	14,162	0.601	48,081	39,570	8,512
2029	65,838	80,000	14,162	0.568	45,437	37,393	8,043
2030	65,838	80,000	14,162	0.537	42,938	35,337	7,601
2031	65,838	80,000	14,162	0.507	40,576	33,393	7,183
2032	65,838	80,000	14,162	0.479	38,345	31,557	6,788
2033	65,838	80,000	14,162	0.453	36,236	29,821	6,415
2034	65,838	80,000	14,162	0.428	34,243	28,181	6,062
2035	65,838	80,000	14,162	0.404	32,359	26,631	5,728
2036	65,838	80,000	14,162	0.382	30,580	25,166	5,413
2037	65,838	80,000	14,162	0.361	28,898	23,782	5,116
2038	65,838	80,000	14,162	0.341	27,308	22,474	4,834
2039	65,838	80,000	14,162	0.323	25,806	21,238	4,568

### ③ 경제성 분석의 결과

2014년도 예비타당성조사 연구보고서 「항만부문 사업의 예비타당성조사 표준 지침 연구(제3판)」을 기초로 하여 전제조건을 설정하여 순현재가치와 내부수익률, 비용편익비율을 분석하였다. 연간 운항일수는 250일, 연간 매출액은 80,000천원, 사회적 할인율은 5.5%, 사업기간은 20년, 물가상승률은 감안하지 않았을 때, 비용편익비율(B/C Ratio)은 0.96로 경제적 타당성 기준인 '1' 을 충족하지 못하며 비용의 현재가치는 974,210천원, 편익의 현재 가치는 931,146천원으로 이를 합한 순현재가치(NPV)는 -43,064천원이다. 내부수익률은 -2.82%로 결과가 도출 되었다.

<표 4-39> 최고년도 과제 디젤유 사용 선박의 경제성 평가 결과

구분	결과값		기준
편익의 현재가치(A)	931,146	천원	
비용의 현재가치(B)	974,210	천원	
NPV(A-B)	- 43,064	천원	NPV>1원
IRR	-2.82%		
B/C (A/B)	0.96		B/C≥1

#### 4. 과세 LPG 사용 선박의 경제성 분석

##### ① 총 비용의 추정

총 비용의 추정은 선박건조 비용의 추정, 유지관리 비용의 추정, 유류비의 추정으로 하여 모두 합한 비용을 총 비용의 추정으로 가정하였다.

<표 4-40> 최고년도 과세 LPG 사용 선박의 총비용의 추정

년도	총비용 (단위 : 천원)			
	선박건조비	유지관리비용	연료비	합계
합계	200,000	475,000	483,480	1,158,480
2020	200,000	23,750	24,174	247,924
2021	0	23,750	24,174	47,924
2022	0	23,750	24,174	47,924
2023	0	23,750	24,174	47,924
2024	0	23,750	24,174	47,924
2025	0	23,750	24,174	47,924
2026	0	23,750	24,174	47,924
2027	0	23,750	24,174	47,924
2028	0	23,750	24,174	47,924
2029	0	23,750	24,174	47,924
2030	0	23,750	24,174	47,924
2031	0	23,750	24,174	47,924
2032	0	23,750	24,174	47,924
2033	0	23,750	24,174	47,924
2034	0	23,750	24,174	47,924
2035	0	23,750	24,174	47,924
2036	0	23,750	24,174	47,924
2037	0	23,750	24,174	47,924
2038	0	23,750	24,174	47,924
2039	0	23,750	24,174	47,924

② 비용과 편익의 현금흐름 분석 및 경제성 평가의 결과

과세 LPG 사용 선박에 대해서 20년 운영을 적용한 현금흐름을 분석한 결과, 불변가치 441,520천원의 순편익, 현재가치 184,343천원의 순편익이 추정된다.

<표 4-41> 최고년도 과세 LPG 사용 선박의 편익-비용 현금흐름 추정

년도	불변가치(천원)			할인율 5.5% 할인지수	현재가치(천원)		
	비용	편익	편익-비용		편익	비용	편익-비용
합계	1,158,480	1,600,000	441,520	5.5%	931,146	746,803	184,343
2020	247,924	80,000	-167,924	0.945	75,600	234,288	-158,688
2021	47,924	80,000	32,076	0.893	71,442	42,797	28,645
2022	47,924	80,000	32,076	0.844	67,513	40,443	27,069
2023	47,924	80,000	32,076	0.797	63,799	38,219	25,580
2024	47,924	80,000	32,076	0.754	60,291	36,117	24,173
2025	47,924	80,000	32,076	0.712	56,975	34,131	22,844
2026	47,924	80,000	32,076	0.673	53,841	32,253	21,588
2027	47,924	80,000	32,076	0.636	50,880	30,479	20,400
2028	47,924	80,000	32,076	0.601	48,081	28,803	19,278
2029	47,924	80,000	32,076	0.568	45,437	27,219	18,218
2030	47,924	80,000	32,076	0.537	42,938	25,722	17,216
2031	47,924	80,000	32,076	0.507	40,576	24,307	16,269
2032	47,924	80,000	32,076	0.479	38,345	22,970	15,374
2033	47,924	80,000	32,076	0.453	36,236	21,707	14,529
2034	47,924	80,000	32,076	0.428	34,243	20,513	13,730
2035	47,924	80,000	32,076	0.404	32,359	19,385	12,974
2036	47,924	80,000	32,076	0.382	30,580	18,319	12,261
2037	47,924	80,000	32,076	0.361	28,898	17,311	11,587
2038	47,924	80,000	32,076	0.341	27,308	16,359	10,949
2039	47,924	80,000	32,076	0.323	25,806	15,459	10,347

### ③ 경제성 분석의 결과

2014년도 예비타당성조사 연구보고서 「항만부문 사업의 예비타당성조사 표준 지침 연구(제3판)」을 기초로 하여 전제조건을 설정하여 순현재가치와 내부수익율, 비용편익비율을 분석하였다. 연간 운항일수는 250일, 연간 매출액은 80,000천원, 사회적 할인율은 5.5%, 사업기간은 20년, 물가상승률은 감안하지 않았을 때, 비용편익비율(B/C Ratio)은 1.25로 경제적 타당성 기준인 '1' 을 충족하고 비용의 현재가치는 746,803천원, 편익의 현재 가치는 931,146천원으로 이를 합한 순 현재가치(NPV)는 184,343천원이다. 내부수익률은 11.81%로 결과가 도출 되었다.

<표 4-42> 최고년도 과세 LPG 사용 선박의 경제성 평가 결과

구분	결과값		기준
편익의 현재가치(A)	931,146	천원	
비용의 현재가치(B)	746,803	천원	
NPV(A-B)	184,343	천원	NPV>1원
IRR	11.81%		
B/C (A/B)	1.25		B/C≥1

## 제5절 LPG 추진선박의 경제성 평가

### 1. 연료의 공급가격별 경제성 비교

디젤유와 LPG의 공급가격으로 경제성을 분석하기 위하여, 과거 10년(2009 ~ 2018) 동안 디젤유와 LPG의 가격추이를 분석한 결과, 2016년에 가장 낮은 가격으로 공급되었으며 2012년에 가장 높은 공급된 것을 알 수 있었다. <표 2-4 참조> 10년 연료공급 가격에 의한 3가지 경우의 공급가격 (최저-2016년, 10년평균, 최고-2012년)으로 면세 및 과세의 값을 각각 적용하여 경제성을 비교 분석하였다.

<표 4-43> 연료공급가격 최저/평균/최고값 기준

공급가격 최저 년도 기준 (2016년)	공급가격 10년 평균 기준	공급가격 최고 년도 기준 (2012년)
㉠ 면세 디젤유	㉠ 면세 디젤유	㉠ 면세 디젤유
㉡ 면세 LPG	㉡ 면세 LPG	㉡ 면세 LPG
㉢ 과세 디젤유	㉢ 과세 디젤유	㉢ 과세 디젤유
㉣ 과세 LPG	㉣ 과세 LPG	㉣ 과세 LPG

① 공급가격 최저년도 기준 (2016년도)

공급가격 최저년도 기준, 디젤유 사용 선박 대비 LPG 추진 선박의 경제성을 확인하기 위하여 동일한 변수값을 투입하여 분석하였다. 면세 적용을 받는 디젤유와 LPG, 과세 적용을 받는 디젤유와 LPG에 대하여 연간 운항일수는 250일, 연간 매출액은 80,000천원, 사회적 할인율은 5.5%, 사업기간은 20년, 물가상승률은 감안하지 않았을 때, 각각의 연료를 사용하였을 때 경제성을 비교하면 <표 4-44>와 같다.

<표 4-44> 공급가격 최저년도 기준 경제성 분석 결과 비교

구분	㉔ 면세디젤유	㉕ 면세LPG	㉖ 과세디젤유	㉗ 과세LPG
편익의 현재가치(A)	931,146 천원	931,146 천원	931,146 천원	931,146 천원
비용의 현재가치(B)	613,507 천원	579,162 천원	795,814 천원	595,073 천원
NPV(A-B)	317,639 천원	351,984 천원	135,332 천원	336,073 천원
IRR	18.58%	22.92%	7.96%	21.80%
B/C (A/B)	1.52	1.61	1.17	1.56

면세 기준 선박이 LPG 연료를 사용한다면 면세 디젤유 선박보다 더 경제적으로 운항할 수 있음을 알 수 있다. 그리고 과세 기준에서도 선박이 LPG를 연료로 사용한다면 더 경제적으로 운항할 수 있음을 알 수 있다. 면세 및 과세 모두 LPG를 사용할 경우 NPV(순현재가치) 및 IRR(내부수익율), B/C Ratio(비용편익율)이 모두 높게 산출됨을 알 수 있다. 그리고 면세연료 보다는 과세연료의 경제성 차이가 더 크게 산출됨을 알 수 있으며 이는 유종별 세금차이가 선박운항의 경제성에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

② 공급가격 10년 평균 기준

공급가격 10년 평균 기준, 디젤유 사용 선박 대비 LPG 추진 선박의 경제성을 확인하기 위하여 동일한 변수값을 투입하여 분석하였다. 면세 적용을 받는 디젤유와 LPG, 과세 적용을 받는 디젤유와 LPG에 대하여 연간 운항일수는 250일, 연간 매출액은 80,000천원, 사회적 할인율은 5.5%, 사업기간은 20년, 물가상승률은 감안하지 않았을 때, 각각의 연료를 사용하였을 때 경제성을 비교하면 <표 4-45>와 같다.

<표 4-45> 공급가격 10년 평균 기준 경제성 분석 결과 비교

구분	㉠ 면세디젤유	㉡ 면세LPG	㉢ 과세디젤유	㉣ 과세LPG
편익의 현재가치(A)	931,146 천원	931,146 천원	931,146 천원	931,146 천원
비용의 현재가치(B)	694,936 천원	655,073 천원	884,354 천원	678,725 천원
NPV(A-B)	236,210 천원	276,072 천원	46,792 천원	252,421 천원
IRR	13.74%	17.73%	2.85%	16.18%
B/C (A/B)	1.34	1.42	1.05	1.37

면세 기준 선박이 LPG 연료를 사용한다면 면세 디젤유 선박보다 더 경제적으로 운항할 수 있음을 알 수 있다. 그리고 과세 기준에서도 선박이 LPG를 연료로 사용한다면 더 경제적으로 운항할 수 있음을 알 수 있다. 면세 및 과세 모두 LPG를 사용할 경우 NPV(순현재가치) 및 IRR(내부수익율), B/C Ratio(비용편익율)이 모두 높게 산출됨을 알 수 있다. 그리고 경제성은 공급가격 최저년도와 비교하여 NPV(순현재가치) 및 IRR(내부수익율), B/C Ratio(비용편익율)이 모두 낮아지는 것을 알 수 있다.

③ 공급가격 최고년도 기준 (2012년도)

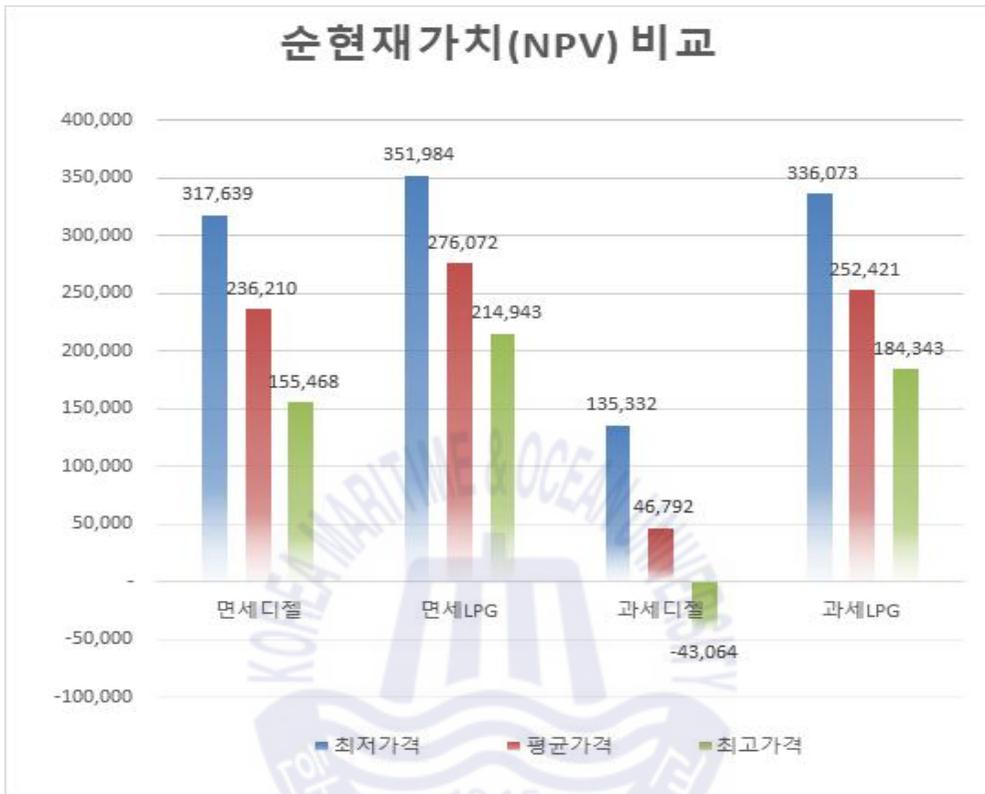
공급가격 최고년도 기준, 디젤유 사용 선박 대비 LPG 추진 선박의 경제성을 확인하기 위하여 동일한 변수값을 투입하여 분석하였다. 면세 적용을 받는 디젤유와 LPG, 과세 적용을 받는 디젤유와 LPG에 대하여 연간 운항일수는 250일, 연간 매출액은 80,000천원, 사회적 할인율은 5.5%, 사업기간은 20년, 물가상승률은 감안하지 않았을 때, 각각의 연료를 사용하였을 때 경제성을 비교하면 <표 4-46>와 같다.

<표 4-46> 공급가격 최고년도 기준 경제성 분석 결과 비교

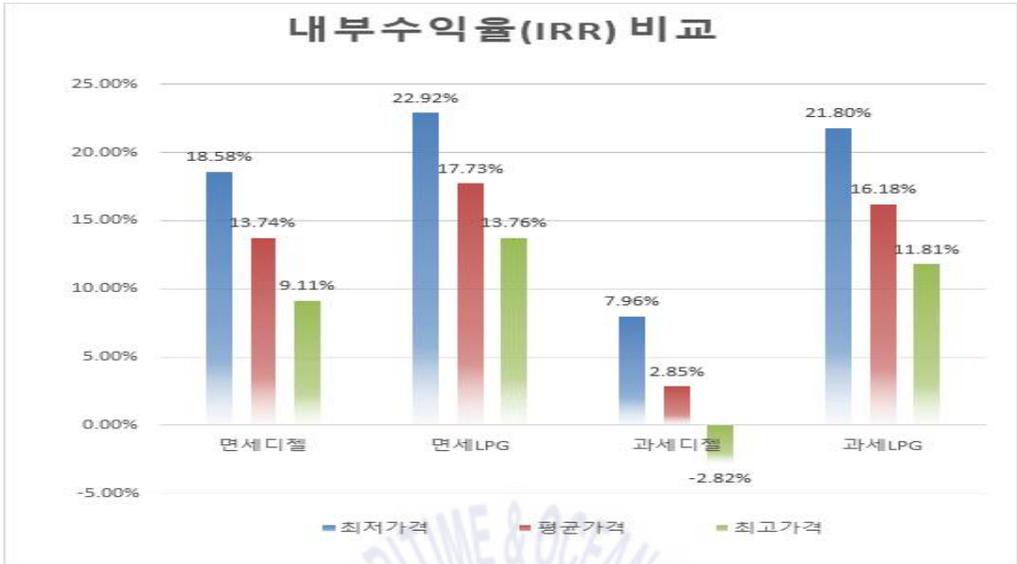
구분	㉔ 면세디젤유	㉕ 면세LPG	㉖ 과세디젤유	㉗ 과세LPG
편익의 현재가치(A)	931,146 천원	931,146 천원	931,146 천원	931,146 천원
비용의 현재가치(B)	775,678 천원	716,203 천원	974,210 천원	746,803 천원
NPV(A-B)	155,468 천원	214,943 천원	- 43,064 천원	184,343 천원
IRR	9.11%	13.76%	-2.82%	11.81%
B/C (A/B)	1.20	1.30	0.96	1.25

면세 기준 선박이 LPG 연료를 사용한다면 면세 디젤유 선박보다 더 경제적으로 운항할 수 있음을 알 수 있다. 그리고 과세 기준에서도 선박이 LPG를 연료로 사용한다면 더 경제적으로 운항할 수 있음을 알 수 있다. 면세 및 과세 모두 LPG를 사용할 경우 NPV(순현재가치) 및 IRR(내부수익율), B/C Ration(비용편익율)이 모두 높게 산출됨을 알 수 있다. 특히 과세디젤유의 경우 공급가격이 높으면 NPV(순현재가치)가 (-)값으로 떨어지고 IRR(내부수익율), B/C Ration(비용편익율)이 모두 경제성이 없는 것으로 산출됨을 주목할 필요가 있다.

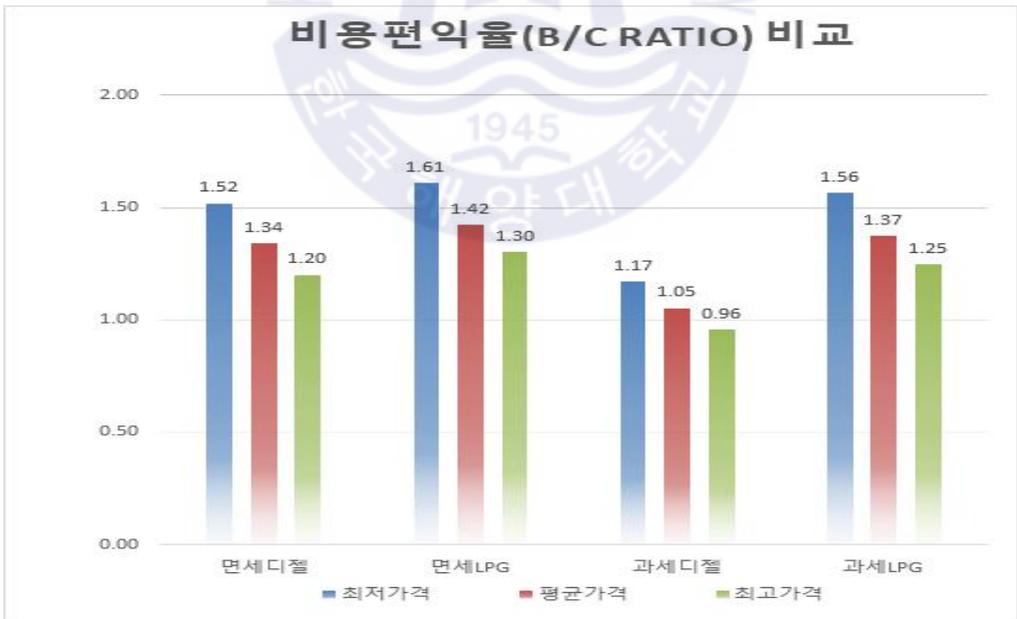
④ 경제성 비교 그래프



<그림 4-3> 순현재가치(NPV) 비교



<그림 4-4> 내부수익율(IRR) 비교



<그림 4-5> 비용편익율(B/C Ratio) 비교

## 2. LPG 추진선박의 경제성 평가

### ① 면세LPG 사용선박의 경제성 평가

면세디젤유를 사용하는 선박이 면세LPG를 연료로 사용하면 연료의 최저가격, 평균가격, 최고가격 모든 경우에 경제성이 있음을 알 수 있다.

<표 4-47> 면세LPG 사용선박의 경제성 평가

구분		면세디젤유		면세LPG		경제성 차이	
순현재가치	최저가격	317,639	천원	351,984	천원	34,345	천원
	평균가격	236,210	천원	276,072	천원	39,862	천원
	최고가격	155,468	천원	214,943	천원	59,475	천원
내부수익율	최저가격	18.58%		22.92%		4.34%	
	평균가격	13.74%		17.73%		3.99%	
	최고가격	9.11%		13.76%		4.65%	
비용편익율	최저가격	1.52		1.61		0.09	
	평균가격	1.34		1.42		0.08	
	최고가격	1.20		1.30		0.10	

경제적 효과는 순현재가치 기준으로 최고가격 > 평균가격 > 최저가격 순서이며, 유가상승으로 연료비의 부담이 높을수록 LPG연료를 선박에 적용할 경우 경제적 효과는 더욱 높아지는 것으로 파악된다.

② 과세LPG 사용선택의 경제성 평가

과세디젤유를 사용하는 선택이 면세LPG를 연료로 사용하면 연료의 최저가격, 평균가격, 최고가격 모든 경우에 경제성이 있음을 알 수 있다.

<표 4-48> 과세LPG 사용선택의 경제성 평가

구분		과세디젤유		과세LPG		경제성 차이	
순 현 재 가 치	최저가격	135,332	천원	336,073	천원	200,741	천원
	평균가격	46,792	천원	252,421	천원	205,630	천원
	최고가격	- 43,064	천원	184,343	천원	227,407	천원
내 부 수 익 율	최저가격	7.96%		21.80%		13.84%	
	평균가격	2.85%		16.18%		13.33%	
	최고가격	-2.82%		11.81%		14.63%	
비 용 편 익 율	최저가격	1.17		1.56		0.39	
	평균가격	1.05		1.37		0.32	
	최고가격	0.96		1.25		0.29	

경제적 효과는 순현재가치 기준으로 최고가격 > 평균가격 > 최저가격 순서이며, 유가상승으로 연료비의 부담이 높을수록 LPG연료를 선택에 적용할 경우 경제적 효과는 더욱 높아지는 것으로 파악된다.

③ 면세와 과세의 경제성 평가

면세선택 보다는 과세선택이 연료를 LPG로 바꿀 경우, 경제적 효과는 순현재가치 기준으로 면세는 34,345천원 ~ 59,475천원이며, 과세는 200,741천원 ~ 227,407천원으로 과세선택이 경제적 효과가 더 큰 것으로 확인되었다.

④ 국내 소형 어선 확대적용에 대한 경제적 효과 추정

해양수산부의 통계자료에 따르면, 2018년 기준 국내 50톤 미만 어선은 63,826척으로 집계되어 있다.

<표 4-49> 국내 소형선박 척수 (출처 : 해양수산부)

구분	디젤기관	가솔린기관	기타기관	계
0 ~ 3톤 미만	4,841	30,202	7,393	42,436
3 ~ 10톤 미만	12,363	3,342	3,248	18,953
10 ~ 50톤 미만	2,315	5	117	2,437
소계	19,519	33,549	10,758	63,826

10년 평균 연료공급 기준을 국내 어선에 적용한다는 가정에 의한 경제적 효과를 산출하면 다음과 같다. 전체 어선이 면세 연료를 사용한다는 가정에서 어선에 10% 적용하면 약 115억, 30% 적용하면 약 230억, 50% 적용하면 약 575억의 경제적 효과가 발생하는 것으로 추정할 수 있다. 만약 과세 연료를 사용한다는 가정에서 어선에 10% 적용하면 약 1,023억, 30% 적용하면 2,048억, 50% 적용하면 5,120억의 경제적 효과가 발생하는 것으로 추정할 수 있다. 여기에 부가하여 친환경적 연료 사용에 대한 환경적 효과도 얻을 수 있다.

<표 4-50> LPG 선박 국내어선 적용 시 경제적 효과

구분		척수	경제성차이	경제적효과
면세	10%	6,383	1,801 천원	11,495,063 천원
	30%	12,765	1,801 천원	22,990,125 천원
	50%	31,913	1,801 천원	57,475,313 천원
과세	10%	6,383	16,043 천원	102,396,052 천원
	30%	12,765	16,043 천원	204,792,104 천원
	50%	31,913	16,043 천원	511,980,259 천원

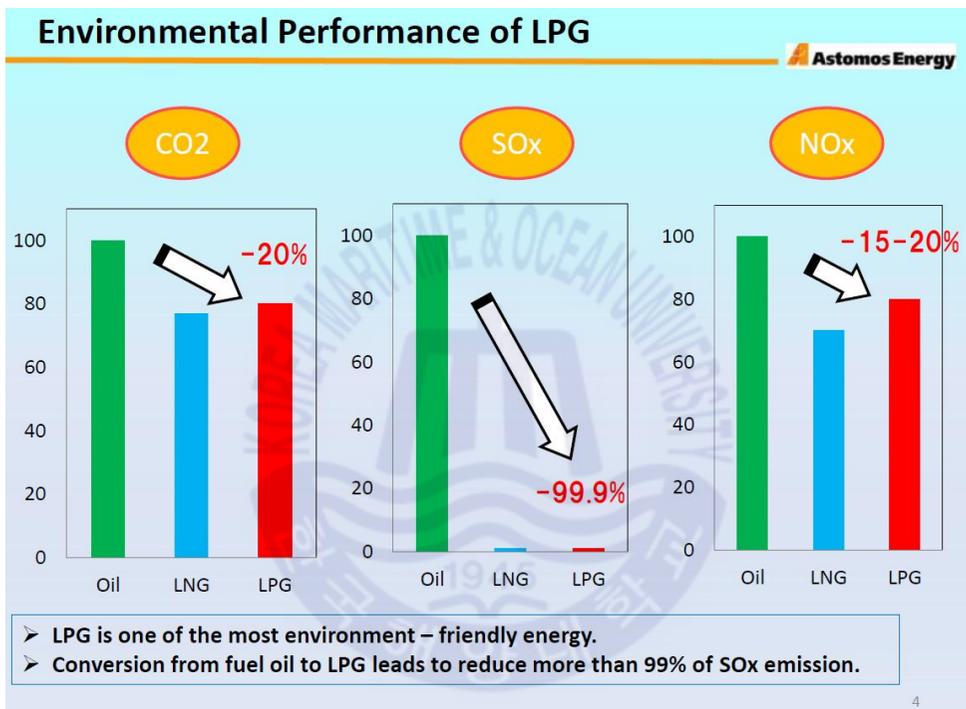
주 1) 척수 : 총 어선 63,826척에 대해 10%, 30%, 50% LPG 적용사용 척수

주 2) 경제성차이 : 10년 평균 연료공급가 기준 LPG의 경제성 차이

표 4-45 참조 (90페이지)

### 3. 환경적 효과 평가

선박연료로 LPG를 사용한다면, 환경적 효과는 매우 높다. 특히 배출되는 Sox는 일반 액체연료 대비 99%가 저감되며, Co2 20%, Nox 15 ~ 20% 절감되는 효과가 있다.



<그림 4-6> Environmental Performance of LPG / 출처 : 일본아스토모스에너지

## 제5장 결 론

### 제1절 연구결과의 요약

국제해사기구(IMO)의 선박배출에 관련한 각종 기준 강화와 세계 주요국가의 배출규제해역(ECA : Emission Control Area) 확대에 따라 해운선사들은 규제 만족과 경제성을 위하여 친환경 선박 및 관련 장비 개발을 요구하고 있다. 조선소와 조선기자재 산업은 이러한 선사의 요구를 만족하기 위해 연구개발에 박차를 가하고 있다. LSF0 또는 MGO 가격 인상에 대한 우려 및 선박운항 경제성과 효율을 위해 대형 LPG 수송선박에 ME-LGI 엔진을 장착하여 화물인 LPG를 연료로 사용하는 선박이 조선소에 발주되었다. 또 다른 시도로 LPG를 주 연료로 사용하는 가스터빈엔진 개발이 완료되어 고출력이 요구되는 대형선, 고속선, 여객선에 적용할 수 있게 되었으며, LPG 연료를 사용하는 발전기를 통한 전기추진 방식의 선박뿐만 아니라, LPG 연료를 직접 분사하는 방식의 선박 개발이 꾸준히 진행되고 있어 우리나라에서도 조만간 상용화될 것으로 생각된다. LPG를 선박연료로 사용함으로써 생기는 환경적, 경제적 이점은 LNG 연료 못지않게 해운업계, 조선업계, 지자체 정부, 해양수산부 등 다양한 이해 관계자들에게 많은 관심을 불러일으키고 있다. 이것은 전통적인 해양선박연료인 유류에너지에 대한 대안으로 친환경 선박연료로서의 LPG에 대한 관심이 커지고 있고, LPG가 자동차뿐만 아니라 선박연료로 확대될 기회와 가능성이 조성되어 가고 있는 과정이라고 생각된다.

이 연구는 친환경 선박의 개념과 발전과정을 고찰하여 선박운항 효율개선, 엔진효율 개선, 추진효율 개선, 선체저항 개선의 각 부분별 기술적 진보와 발전과정을 정리하였고, 스크리버와 대체연료 등으로 진행되는 친환경 선박의 발전과정을 검토하였고, 이러한 선박과 비교하여 LPG 추진선이 환경성과 경제성을 가질 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다. 선행연구를 위해 LPG 차량을 위해 오랫동안 연구되어 온 많은 연구 자료를 중심으로 선박연료로서의 가능성을 살펴보았다. 우리나라 수송용 에너지로서 LPG 차량 감소에 따른 수요의 감소, 수입의존도를 분석하였고

LPG의 가격 경쟁력을 제시하였다. LPG의 가격 경쟁력은 우리나라 에너지에 부과되는 유류세(교통세, 소비세, 교육세, 주행세, 판매부과금, 부과세)에 대한 유종별 차이를 분석하여 LPG 연료가 선박 연료로서의 경쟁력이 있음을 알 수 있었다. 그리고 LPG 추진선의 개발 사례를 우리나라 연안 카페리선, VLGC(대형LPG수송선), 소형선(레저선, 관광선, 어선) 파트에서 각각 사례를 파악하였다. 특히, 세계 최초로 우리나라 연안을 운항하는 카페리선을 개발한 사례를 보면 해당 카페리선은 GE항공마린 가스터빈 사업부와 한국연안 해운회사, 설계회사, LPG TANK 및 FGSS 개발회사가 공동 합작하여 2년 동안 LPG추진 카페리선을 개발한 사례를 고찰하였고 우리나라에 적용할 수 있는 가능성을 확인하였다. GE항공의 항공 및 군수산업에 적용된 고급 기술을 LPG 추진선에 적용하여 안전성 및 경제성을 높인 개발 사례는 매우 인상 깊었다. 소형선으로는 현재 개발되고 있는 선외기 및 선내기 모델이 활발하게 개발되고 있음을 확인할 수 있었다.

LPG 추진선 개발의 경제적 효과는 우리나라 연안을 운항하는 소형선 중에 일반적으로 접할 수 있는 낚시형 어선을 모델로 하여 분석하였다. 낚시형 어선은 어선, 일반 다목적선, 레저선으로 다양하게 사용되며 면세유와 과세유, 디젤유와 LPG 모두를 적용하여 비교할 수 있으므로 이 모델을 기준으로 경제성을 비교하였다.

면세유와 과세유 가격 기준을 각각 적용할 경우, 최저가격, 평균가격, 최고가격 모두 LPG연료 가격을 적용하면 디젤유 대비 경제적 효과가 발생하는 것으로 확인된다. 10년 평균 연료공급 가격을 기준으로 전체 어선이 면세 연료를 사용한다고 가정하고, 이 중 10% 어선이 LPG 추진선을 도입할 경우 약 115억원, 30%가 도입할 경우 약 230억원, 50%가 도입할 경우 약 575억원의 경제적 효과가 발생하는 것으로 추정되었다. 과세 연료를 사용한다고 가정하면, 그 경제적 효과는 10% 도입시 약 1,023억원, 30% 도입시 2,048억원, 50% 도입시 5,120억원으로 추정되었다.

이는 연료비의 비중이 높을수록 LPG 연료의 경제적 효과가 큰 것으로 결과를 도출할 수 있다. 면세연료 보다는 과세연료의 경우 LPG연료의 경제적 효과가 높고, 연료의 공급가격이 낮은 년도 보다는 높은 년도일 경우 LPG 연료의 경제적 효과가 더 높은 것으로 산출되었다. 특히 유가상승으로 공급연료의 가격이 높아지는 경우의 LPG연료 사용은 경제적 효과가 가장 큰 것으로 산출되었다.

우리나라 연안선박의 LPG 연료 사용에 따른 경제성은 연료의 세금정책과 유종 선택에 따라 달라진다. 높은 세금이 부과된 과세연료를 사용할 경우의 LPG 추진선 도입의 경제성을 시뮬레이션 한 결과, 전체 어선의 50%가 LPG 과세 연료를 사용하게 되면 5,000억원 이상의 경제적 효과가 나타나는 것으로 추정되었다.

면세유 사용 자격과 절차가 까다로운 상황에서 연안선박이 면세연료를 자유롭게 사용하기는 어려우며, 연비와 안전성이 검증된 대체연료의 도입도 기술적 측면이나 경제적 측면에서 현실성이 높지 않다. 환경규제 영향으로 연료 가격인상이 우려되는 상황에서, LPG를 선박연료로 사용하는 시도는 연안해운 산업계에 새로운 가능성을 제시하는 혁신적 방안이라 할 수 있다. 우리나라는 세계에서 가장 우수한 LPG 인프라가 전 해안지역에 구축되어 있으며, 자동차에서 개발된 다양한 장비와 기술은 연안선박에 바로 적용할 수 있는 강점을 가지고 있다. 기술적 우월성과 산업 경제적 기반은 LPG 추진선의 개발 및 도입, 운영을 용이하게 할 수 있으며, 그 경제적 효과를 제고시킬 수 있다.

이 논문은 이와 같이 LPG 추진선의 도입 필요성이 제시되고 있는 상황에서 LPG 추진선의 개발 방안과 운영 경제성을 실제 자료를 활용하여 분석하였다는 측면에서 연구의 시사성이 매우 높다고 할 수 있다. 또한 유가 상승과 친환경 규제가 강화되고 있는 환경적 영향에 대응하여 친환경성과 경제성을 모두 갖춘 LPG 추진선박의 개발 방안을 대안으로 제시함으로써, 연안해운의 발전에 크게 기여할 수 있을 것으로 생각된다. 그리고 LPG 추진 선박 도입 및 운영에 따른 경제적 효과를 분석하여 제시함으로써 우리나라 연안선박들의 친환경 LPG 연료의 사용 및 확산을 용이하게 하며, 선박 운용의 경제적 효율성을 제고시키는 매우 의미 있는 연구로 평가된다.

## 제2절 연구의 한계 및 향후 연구방향

선박 가스연료로서 LPG는 중요한 위치에 있는 것이 분명하지만 전 세계 선박의 가스연료 대부분은 LNG 연료에만 치중되어 온 것이 현재의 상황이다. 대형 LNG 수

송선의 경우 증발가스(BOG)로 인한 손실을 줄이기 위하여, 증발가스를 선박연료로 사용하는 개발과 연구가 활발하였던 것이다. 그럼에도 불구하고 에너지 연료로 오랫동안 중요한 역할을 차지해 온 LPG의 선박연료 적용을 위한 연구와 개발이 상대적으로 미약했고, 선박에 적용할 수 있는 엔진, 연료공급시스템, 연료탱크 등에 대한 자료가 많지 않음을 알 수 있었다. LNG 대비 상대적으로 높은 산지 가격으로 인해 대형LPG수송선 이외에 기타 선박에 적용하는 연구가 부족하였고, IGF 코드에 선박 가스연료로 LPG가 등재되지 않아 LPG 연료추진 선박을 건조할 경우 Alternative Fuel에 의한 개발만 진행될 수 있는 한계가 있었다. 우리나라 선박안전법에 LPG 추진 선박에 대한 건조 기준 및 선급의 건조규칙도 발효되지 않아 LPG 추진선에 대한 연구가 실증 모델로 연결될 수 없는 한계가 있음을 알 수 있었다.

미국 셰일가스로 인해 LPG 가격이 지속 하락하여 다른 연료대비 경쟁력이 높아지고, 연료공급 및 연료이송, 연료 유지관리 비용이 경제적인 LPG의 장점이 점점 더 많이 부각될 것이다. 우리나라의 수송에너지에 부과되는 세금정책의 특수성을 보더라도 LPG에 부과되는 세금은 타 유종대비 절대적으로 유리하므로 해운조선 분야에서 선주 및 운항선사들이 다양한 형태의 LPG 연료 추진선박을 요구할 것이며 앞으로 선박연료로서 중요성이 갈수록 높아질 것임으로 이에 대한 연구와 개발이 이루어져야 할 것이다. LNG 대비 유지관리 비용과 편의성이 유리한 LPG의 장점을 살릴 수 있는 선박과 선종에 대한 연구가 더 활성화 되어야 하며 LPG가 선박연료로서 경쟁력을 높이기 위한 수급의 안정, 에너지안보 측면에서의 LNG와 LPG가 일정을 비율을 유지하는 방안에 대한 연구도 함께 진행되어야 할 것이다. 선박연료별 우리나라 세금정책, LPG가 선박연료로서 병커링, 가스관리, 이송에 대한 장점과 경제성, 셰일가스로 인한 LPG 공급량 증가와 LPG 산지 가격의 하락, LPG 연료 추진 선박으로 인한 조선 산업계의 시너지 효과도 연구하고자 한다. 또한 향후에는 실제 LPG연료추진 선박이 건조되고 운항되었을 경우에, 안전성 및 병커링 방안 등 실제 선박 운항에 적용할 수 있는 비즈니스 모델에 대한 연구를 하도록 하겠다. 그리고 전통적인 유류에너지 대비 LPG를 선박연료로 사용함으로써 기대할 수 있는 환경적 측면의 이익을 산출해서 증명할 수 있는 연구도 필요하다고 생각한다.

## 참고 문헌

### <국내 문헌>

강광규, 추장민, 이우평, 2011, *LPG 자동차 보급성과 및 추진전략 연구*, 한국환경정책 평가연구원

강미주, 2018, *현대글로벌서비스, 스크러버 18척 등 '친환경 선박 개조'사업 본격화 : 상반기 1억2천만불 47척 수주, 현대상선, KSS해운, 한진중, 도리안 LPG 등 MOU 체결*, 한국해사문제연구소

곽용신, 2017, *고유가와 환경규제, 선박의 심장을 바꾸다*, 한국해운신문  
국토해양부, 2011, *최종보고서 미래 녹색선박산업 추진 전략*, 한국해양수산개발원

김철환, 2017, *선박엔진의 분류와 특징*, MAN Diesel & Turbo Korea

김태일, 2018, *친환경선박 전환 정책 동향과 향후 과제*, 한국해양수산개발원

노현정, 강관구, 배재일, 2018, *ME-LGI 선박엔진용 연료분사밸브 테스트 개발을 위한 시스템 엔지니어링 기반 개념 설계*, 한국해양과학기술원, vol.19 no.5 pp.681-688

류지호, 2017, *선박엔진 추진시스템의 변화*, MAN Diesel & Turbo Korea

목진용, 2016, *해양수산부 발전사 발간 연구*, 한국해양수산개발원

박용성, 2009, *LPG 개조자동차 연비 및 CO2배출현황*, 교통안전공단

박재현, 2016, *중소조선산업 활성화를 위한 친환경선박 개조산업 정책연구*, 한국조선해양기자재연구원

박태욱, 2018, *가스운반선 및 가스추진선의 현황*, 한국해양대학교

박한선, 2014, *선박온실가스 배출규제를 위한 국가책임과 이행 방안에 관한 연구*, 한국해양수산개발원

박한선, 이호준, 이해진, 김보람, 2016, *우리나라 선박의 친환경기술 적용 확대방안*, 한국해양수산개발원, pp.1-210

법제처, 2018, *환경친화적 선박의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률 (약칭: 친환경선박법)* [시행 2020. 1. 1.] [법률 제16167호, 2018. 12. 31., 제정]

서영호, 이진우, 최용준, 강은정, 2012, *택시용 자동차의 연비, 배출가스 및 CO<sub>2</sub> 배출량 특성 평가·연구*, 자동차부품연구원

서정규, 2017, *최근 세계 LPG 시장 동향과 시사점*, 가스정책연구실

윤준호 외 16명, 2016, *환경친화적 수소 선박의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률안*

이성규, 2019, *친환경선박으로 온실가스 줄인다*, 사이언스타임즈

이승현, 김세용, 이경배, 김선경, 2014, *항만부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 연구(제3판)*, 한국개발연구원

이운호, 2002, *터빈 및 연료전지와 신형 추진 시스템의 최근 기술동향*, 한국선급

이종현, 2018, *LPG 선박에서의 재액화 시스템에 대한 최적화 및 액서지 분석*, 동아대학교 대학원

이지현, 2018, *연료유 품질관리 및 황 함유량 검증기술*, (재) 한국화학융합시험연구원

이창우, 2018, *우리나라 해양시추설비 통합시운전 사업 모델의 개발 및 평가에 관한 연구*. 한국해양대학교 대학원

이희웅, 박재현, 김정환(2017), *중소 조선산업 대안시장으로써의 친환경 선박*

개조산업, 한국조선해양기자재연구원

전영훈, 박재현, 김정환, 2017, *기존선의 LNG 연료 적용을 위한 Retrofit 기술 개발 현황*, 대한조선학회

정옥형, 2018, *‘친환경 LPG 선박’ 해상 연료 공급시스템 갖춰진다 : 대한LPG 협회, GE 등과 협약 체결*, ENERGY KOREA

정준환, 김기중, 이은명, 서정규, 김형진, 2011, *LPG-LNG 간 적정 역할분담 방안*, 에너지경제연구원

천장우, 2019, *ECO-SMART SHIP의 현재, 미래, 그리고 한국의 과제 - 국제 환경규제 대응+ 조선신기술 개발*, 한국선급

최우석, 2018, *LPG 추진선박 도입 타당성 및 안전성에 대한 연구*, 한국선급, pp.1-143

최우정, 2014, *액화천연가스(LNG)를 연료로 하는 친환경 선박 개발에 따른 기술평가 및 경제성 분석*, 한국해양대학교

최진석, 이태형, 권혁구, 허진수, 2008, *LNG 화물자동차 도입 방안 연구*, 한국교통연구원

한국선급, 2018, *국제해운 황산화물 배출규제 동향 (IMO 규제, 지역규제, 대응 기술개요)*, 한국선급 기술자료

해양수산부, 2018, *IMO 선박 국제규제 선도 기술개발사업 신규과제 선정계획*, 해양수산부

홍희주, 유건, 2018, *국내 LPG 업계 : 차별화된 성장전략, 업체별 신용도에 영향을 미치는 변수가 달라지고 있다*, 한국신용평가원

<외국 문헌>

Alistair McIlgorm, 2014, *An economic survey of the Recreational fishing Charter boat industry in NSW*, A report to the NSW DPI By Dominion Consulting Pty Ltd.

Anmarkrud. T., 2009, *Fishing boat construction : 4 Building an fibreglass reinforced plastic boat*, FAO Consultant, Hagovik, Norway

Bernardo Herzer, 2018, *The Marine Alternative Fuel Commercial, Passenger, Offshore Boats/Ships, Recreational Crafts and Other Boats*, chair of the WLPGA Marine Group. LPG for Marine Engines

Bernardo Herzer, 2018, *Guide to LPG Use in Waterborne Vessels*, chair of the WLPGA Marine Group. LPG for Marine Engines

Byeong-yeol Baek, 2018, *Introduction of Gas Turbine-Powered, LPG Fueled Ship*, Advanced Lead Engineer, GE' s Marine Solutions

Class NK report, 2018, *Alternative Fuels and Energy Efficiency for the Shipping Industry : An overview of LNG, LPG and Methanol Fuelled ship*, NK

Class DNV-GL, 2018, *Maritime Assessment of SELECTED ALTERNATIVE FUELS and TECHNOLOGIES*, DNV-GL Report

Esther Phua, 2016, *LPG International Price Trends- An Overview Gold Coast*, WLPGA

Hendrik W. Brinks, 2017, *LPG as a Marine Fuel*, Class DNV-GL report

Ned Coackley, Y. Bryn, Glan Conwy, 2005, *Fishing boat construction : 2 Building a fibreglass fishing boat*, FAO of UN

Sveinbjorn Kjartansson, 2011, *A Feasibility Study on LPG as Marine Fuel*, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Sweden

<웹사이트>

<http://www.petroleum.or.kr/> (대한석유협회)

<http://www.klpg.or.kr/> (대한LPG협회)

<https://www.wlpga.org/> (세계LPG협회)

<http://www.opinet.co.kr/> (오피넷)

<http://www.krs.co.kr/> (한국선급)

<http://www.mof.go.kr/> (해양수산부)



## 感謝의 글

길다고 생각 되었지만 뒤돌아보면 짧았던 대학원 2년의 생활이었습니다. 잦은 출장과 업무로 인하여 학업에 부담을 느낄 때 격려해 주시고 아낌없는 가르침으로 다시 한 번 학업에 열중할 수 있도록 용기를 주시고 도와주신 신용준교수님께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다. 논문을 쓰면서 정말 끝이 날 것 같지 않던 모든 과정이 끝이 나고 논문심사를 마치고 나니 책으로 나올 저의 논문이 기대되기도 합니다.

바쁘신 중에도 논문심사를 위해 꼼꼼히 첨삭해 주시고 조언을 아끼지 않으신 김종수교수님, 배후석교수님께도 감사드립니다. 낯설었던 대학원 생활을 물심양면으로 지원 해 주시고 왕성한 열정으로 수업을 진행해 주신 해운항만물류학과 대학원 교수님들께도 감사의 말씀 드리며, 무사히 졸업까지 할 수 있도록 도와주신 해운항만물류 미래창조인력양성사업단의 단장님, 부단장님, 학과장님께도 깊은 감사의 마음을 전합니다. 그리고 늘 즐겁게 수업하고 함께 연구하고 고민했던 26기 동기여러분들의 앞날에 행운이 함께하기를 기원합니다.

끝으로 회사 일을 마치고 늦은 저녁까지 수업하고 공부하느라 힘들다고 짜증낼 때도 웃으며 참아주고 격려해준 나의 아내에게 진심을 담아 감사의 마음을 전합니다.