



## 해상부유식 LNG 벙커링 터미널 시범사업을 위한 울산항 LNG 벙커링 수요전망에 관한 연구

†김기동 · 최경식 · 오영삼 · 조상훈\* · 김성훈\*\*  
 신동근\*\*\* · 정동호\*\*\*\* · 김학은\*\*\*\*\* · 신동현\*\*\*\*\*

한국가스공사 가스기술연구원, \*엔케이 기술연구소, \*\*대창솔루션 기술연구소  
 \*\*\*유니시스코젠 기술연구소, \*\*\*\*선박해양플랜트연구소  
 \*\*\*\*\*한국가스기술공사, \*\*\*\*\*한국천연가스차량협회  
 (2016년 6월 29일 접수, 2017년 2월 20일 수정, 2017년 2월 21일 채택)

## A Study of LNG Bunkering Demands on Ulsan Port for Demonstration of Floating LNG Bunkering Terminal

†Ki-Dong Kim · Kyoung-Shik Choi · Yong-sam Oh · Sang-Hoon Cho\*  
 Sung-Hun Kim\*\* · Dong-Geun Shin\*\*\* · Dong-ho Jung\*\*\*\*  
 Hack-Eun Kim\*\*\*\*\* · Dong-hyun Shin\*\*\*\*\*

*Gas Technology Institute, KOGAS, Ansan, Korea*  
 \*NK Co., Ltd.. R&D Center, Busan, Korea  
 \*\*Daechang Solution Co., Ltd.. R&D Center, Busan, Korea  
 \*\*\*Unisyskogen Co., Ltd.. R&D Center, Seoul, Korea  
 \*\*\*\*Korea Research Institute of Ships & Ocean engineering, Daejeon, Korea  
 \*\*\*\*\*KOGAS Tech., Daejeon, Korea  
 \*\*\*\*\*KANGV(Korean Association for Natural Gas Vehicle), Seoul, Korea  
 (Received June 29, 2016; Revised February 20, 2017; Accepted February 21, 2017)

### 요약

LNG는 최근 해양 환경 규제 강화로 인해 친환경 선박 연료로 각광받고 있다. 본 연구에는, 해상 부유식 LNG 벙커링 터미널의 상업화 가능성을 분석하기 위해 울산항 LNG 벙커링 수요 전망을 조사하였다. LNG 벙커링 환경 분석과 전 세계 경쟁항만의 LNG 벙커링 동향을 통하여 울산항의 LNG 벙커링 전망을 도출하였다. 연구결과, 정기운항을 하는 울산항의 자동차 운반선과 원유운반선은 LNG 연료 선박으로 전환될 가능성이 높고 울산항의 LNG 벙커링 수요는 2030년 650,000톤에서 900,000톤 규모로 예상되므로 울산항은 향후 국내 FLBT 시범사업에 적합한 항구가 될 것이라 예상된다.

**Abstract** - LNG is being spotlighted as a clean marine fuel because of recent trend in reinforcement of marine environmental regulation. In this paper, demand prospect of LNG bunkering for Ulsan port is carried out to analyze the possibility of commercialization of floating LNG bunkering terminal. Environmental analysis for LNG bunkering and LNG bunkering trends of competitive ports in the world are considered to draw out the prospect of LNG bunkering demand in Ulsan. As a result, car carrier and oil carrier were expected to have more possibility in switching to LNG fuelled ship. The LNG bunkering demand in Ulsan.

†Corresponding author: kidong@kogas.or.kr  
 Copyright © 2017 by The Korean Institute of Gas

As a result, car carrier and oil carrier were expected to have more possibility in switching to LNG fuelled ship. The LNG bunkering demand in Ulsan port was expected to be about from 650,000 ton to 900,000 ton in 2030 and Ulsan port is prospected to be a good port for FLBT business in th future.

**Key words** : LNG Bunkering, Floating LNG Bunkering Terminal, Ulsan Port, Commercialization, Feasibility Study, LNG Fuelled Ship, Demand

## I. 서 론

선박에서 배출되는 가스는 2007년 기준 전 세계 CO<sub>2</sub> 배출량의 3.3%를 차지하고 있다. 이를 산업별로 나누면 해운업은 2.7%, 어선 등 기타 선박이 0.6%의 CO<sub>2</sub> 배출에 기여하고 있는 것으로 보고되고 있다. 또한 유럽해역인 북해에서는 선박 배출량의 90%가 해안의 90km이내에서 배출되고 있으며, 이는 미세먼지(Tiny airborne particles, PM)가 폐와 심장질환을 야기하여 연 5만 여명의 조기사망 원인으로 추정된다고 보고되고 있다. 문헌에 따르면 2050년에는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 배출량이 2007년 배출량의 3배에 달할 것으로 예상하였으며, 선박 및 해운부문에서의 온실가스 감축이 향후에는 중요한 이슈가 될 것으로 보고 있다(양중서, 2012). 이에 따라, 국제해사기구(IMO), EU, 미국, 캐나다 등 선진 국가들에서는 대기환경과 온실가스 감축을 위하여 육상에서 실시하는 자동차 배출가스 규제 강화에 이어서 선박 배출가스 규제를 점진적으로 강화하고 있다.

국제해사기구는 각국 정부의 요청으로 선박배출가스 통제 지정해역(ECA, Emission Control Area)을 설정하여 연료 내 황 함유량과 배출가스의 질소산화물을 규제하는 중이다. 이러한 선박연료 및 배출가스 기준 강화로 황산화물, 매연, 블랙카본 등을 줄여서 대기오염을 대폭 감소하고자 하는 것이다.

선박배출가스 규제강화에 대한 대응으로 조선 및 해운업계에서는 친환경연료인 LNG를 연료로 사용하는 LNG연료추진선박 보급을 적극 고려하는 중이다(산업통상자원부, 2016). LNG연료추진선박 개발 및 보급에 있어서 여러 가지 과제 중 하나가 LNG를 공급하는 LNG병커링 인프라 구축을 새롭게 해야 한다는 것이다. 기존 항만 시설에서 LNG병커링 인프라를 육상에 구축하기는 부지제한, 지역주민 민원 발생 등의 다양한 이해당사자 충돌이 있을 수 있다. 이러한 문제점을 개선하고, 항만에서 멀리 떨어져 있지 않으면서 상시적으로 LNG병커링을 진행할 수 있는 기술이 해상 부유식 LNG병커링 터미널(Floating LNG Bunkering Terminal, 이하 FLBT라고 함)이다. FLBT에는 LNG화물창, BOG처리기술, 설계 등의 기술 중심 연구

와 함께 연구결과를 사업화하기 위한 다양한 연구가 요구된다. 본 연구에서는 우리나라 액체화물 처리량이 가장 많으며 자동차 생산이 많고 조선산업이 발달한 울산항을 대상으로 FLBT사업화를 위하여 울산항에 대한 환경분석, 전 세계 경쟁항만 동향, 울산항 중심 LNG병커링 수요전망 등에 대한 LNG병커링 사전 타당성연구에 대한 결과를 제시하였다.

## II. 선박배출가스 규제 현황 및 대응방향

### 2.1. 연료유 황 함유량 규제

국제해사기구에서는 선박배출가스 규제 지정해역인 ECA 지역과 비ECA 지역을 구분하여 선박연료 연소로 인해 발생하는 황산화물 배출을 줄이기 위해 선박연료유 황 함유량을 규제하고 있으며, '20년 이후 전 세계 모든 해양에서 선박연료 황 함유량을 0.5% 이하로 제한하는 규제 추진 중이다(Table 1)(국제해사기구, 2016).

이러한 선박연료유의 황 함유량 규제는 신조선, 중고선 모두에 적용될 예정이며, 선박 및 해운업계에서는 크게 3가지 대응방식을 준비하고 있다.

#### (1) HFO연료와 후처리시스템 적용

현재 사용하는 3.5%이하의 황 함유량을 가진 HFO(Heavy Fuel Oil) 연료를 그대로 사용하면서 선박배출가스 후단에 탈황 등의 성능을 가지고 있는 후처리시스템을 장착하여 황 산화물을 처리하는 방식이다. 장점은 현재 저렴한 선박연료유를 사용할 수 있다는 점이며, 단점은 기존 선박에 크기가 크고 유지비가 높은 scrubber 같은 후처리 시스템을 장착하는 것이다.

**Table 1.** IMO's sulfur contents of fuel regulation

Item	ECA			Global		
	'05.1.1	'10.7.1	'15.1.1	'05.1.1	'12.1.1	'20.1.1
Sulphur limit	≤1.5%	≤1.0%	≤0.1%	≤4.5%	≤3.5%	≤0.5%

(2) 저유황 선박연료유 적용

선박 연료유로 황 함유량이 0.5%미만인 저유황 MGO(Marine Gas Oil)을 선박유로 사용하고, 후처리 시스템을 장착하지 않는 시스템을 말한다.1) 신조 선박에는 MGO를 사용하기 위한 엔진, 연료탱크, 연료유 공급 장치를 장착할 수 있으나, 현존 선박의 경우 HFO에서 MGO로 전환하기 위해서는 기존 선박 일부를 개조하여야 한다. 또한 일반적으로 MGO가격이 HFO보다 US\$200/톤만큼 비싸서 해운사에서 지속적으로 연료로 사용하기가 어려운 상황이다. 그리고 2020년에 IMO의 황 함유량 규제 강화시 정유사에서 탈황하는 설비가 부족하여 선박유 시장을 공급할 수 있는 능력이 현재는 부족해 향후 가격상승이 전망되고 있다.

(3) 가스연료 적용

선박연료로 LNG(Liquefied Natural Gas), LPG(Liquefied Petroleum Gas), DME(Dimethyl ether)의 가스연료를 사용하고 후처리시스템과 연계하는 것이다. 가스연료 적용시 매연, 황산화물 발생은 거의 없으며, 이산화탄소 등의 온실가스도 20% 이상 감축하는 장점이 있으나, LNG연료 저장탱크, 이중연료엔진 등의 고가의 기자재 적용으로 기존 선박대비 10~20% 선박가격이 높아진다.

2.2 질소산화물 배출 규제

IMO MARPOL Annex VI, Regulation 13에 근거하여 질소산화물 배출가스를 규제하고 있다(Table 2). 북

Table 2. IMO's nitrogen oxides(NOx) regulation 13

Tier	Ship construction date on or after	Total weighted cycle emission limit(g/kWh) n=engine's rated speed (rpm)		
		n<130	n=130 - 1999	n≥2000
I	1 January 2000	17.0	$45 \cdot n^{(-0.2)}$ e.g., 720 rpm - 12.1	9.8
II	1 January 2011	14.4	$44 \cdot n^{(-0.23)}$ e.g., 720 rpm - 9.7	7.7
III	1 January 2016*	3.4	$9 \cdot n^{(-0.2)}$ e.g., 720 rpm - 2.4	2.0

\* Engine output > 130kW

1) 국제해사기구(IMO) 산하 해양환경보호위원회에서 선박연료로 MGO 적용시 후처리장치를 사용하지 않아도 된다고 규정함

아메리카 ECA해역안에 운영하는 선박은 2016년 1월 1일 건조(Keel Laying) 기준으로 NO<sub>x</sub> Tier III 규제가 발효되었다. NO<sub>x</sub> 규제 대응 방안으로 SCR(촉매), EGR(배기가스 재순환)등의 후처리 장치를 장착하거나 가스연료인 LNG연료추진선으로 신조하여 현재는 대응하고 있다.

2.3 한국의 선박 배출가스 규제현황

한국해역에서 국적선박에 대한 배출가스 허용기준은 환경부 대기환경보전법에 의해 질소산화물 배출허용기준을, 해수부의 해양환경관리법에 의해 연료유의 황 함유량 기준을 설정·운영하고 있다. 한국은 IMO의 질소산화물 규제, Tier III와 동등 수준 적용하고 있으며, 연료유 황 함유량 제한은 아래와 같다.

\* 경유: 황 함유량 ≤ 1.0%(무게)

황 함유량 ≤ 0.05%(무게)

[영해안에서만 운항시]

\* 중유: Bunker-A ≤ 2.0%(무게)

Bunker-B ≤ 3.0%(무게)

Bunker-C ≤ 3.5%(무게)

III. 울산항 현황 및 선박입출항 분석

울산항은 본항, 신항, 온산항, 미포항의 4개항만으로 구성되어 있다. 울산항은 액체화물(원유, 석유화학제품 등) 처리 기준으로 국내 1등인 매우 중요한 항만이며, 현대자동차 울산공장에서 생산된 자동차를 수출하는 수출항만 역할도 하고 있다(Table 3). 울산항에서 처리되는 화물은 원유를 수입하는 화물과, 원유에서 생산된 석유화학제품, 자동차 등의 수출화물도 많은 편이고 환적화물은 상대적으로 적은 항만이다(울산항만공사, 2014).

울산항은 다른 항만에 비하여 수심이 깊고 파랑이

Table 3. Ranking on liquid cargo handling in Korea

#	Port	Liquid Cargo	Share(%)
1	Ulsan port	154,149 kTon	34.4%
2	Kwangyang port	113,358 kTon	25.3%
3	Daesan port	54,208 kTon	12.1%
4	Incheon port	52,897 kTon	11.8%
5	Pyeongtaek port	36,491 kTon	8.1%

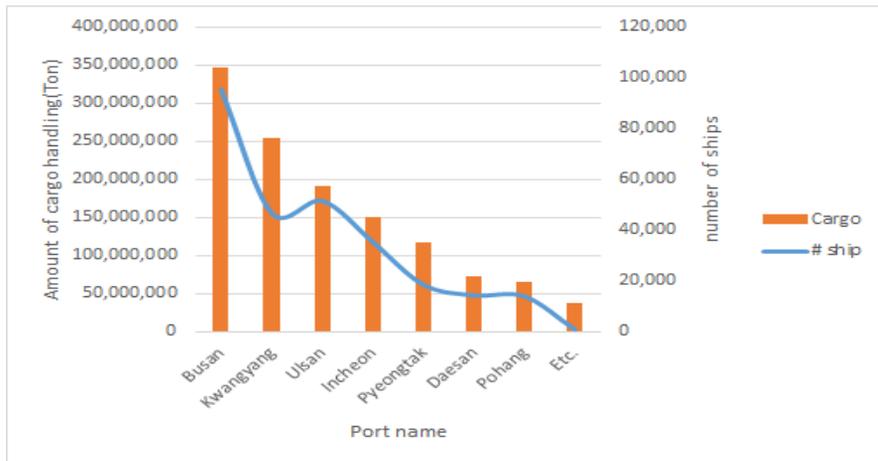


Fig. 1. Amount of cargo handling and number of ships by ports.

Table 4. The characteristics of Ulsan port on ships

Port	Total # of ships	Car Carrier	Hot coil Carrier	Crude Carrier	Tanker	Chemical Carrier	LPG/LNG tanker
Total #	384,448	11,041	618	4,687	82,275	26,217	9,365
Busan	94,760	906	39	1,156	19,382	2,358	304
Ulsan	51,441	1,380	112	1,243	20,062	10,287	2,360
Ulsan/Busan	54.3%	152.3%	287.2%	107.5%	103.5%	436.3%	776.3%

있는 항만으로 본항은 수심이 7~27m이고, 신항은 12~14m, 온산항은 7~16m, 미포항 수심은 12m이다. 정부에서는 울산항을 세계적인 오일 허브항으로 육성하기 위하여 항만기본계획에 오일허브 물동량을 반영하여 항만설비를 확충하고 있다. 한편, 울산항은 유럽으로 가는 북극항로에 위치에 있어 북극항로 개척시 화물처리량 증가가 예상되는 항만이다.

국내 전체 화물처리를 위한 선박입출항 기준으로 울산항은 부산항에 이어 2번째 항만이며, 화물처리량 기준으로는 부산항, 광양항에 이어 3번째 항만으로 Fig. 1에 나타내었다.

국내항들의 입출항통계는 여객선 등 14개 선종으로 구분되며, 울산항의 특징은 액체화물선, 자동차운반선, 핫코일선, 원유운반선, 석유제품운반선, 케미컬운반선, LPG/LNG 운반선의 6개 선종의 입출항이 타 국내항의 입출항보다 많아 우선적으로 LNG연료추진선으로 전환(개조 또는 신조)할 수 있을 것으로 전망되며, 이에 따라 LNG병커링 인프라가 필요하다.

#### IV. 울산항과 연계된 유럽 및 중국항만의 LNG병커링 활동 분석

항만은 전 세계 네트워크가 되어 있어 울산항 LNG 연료추진선박용 FLBT 인프라 구축과 함께 다른 항만에서의 LNG병커링 구축도 필요하다. 울산항에서 화물을 하역하거나 선적한 선박은 아시아지역, 중국 그리고 유럽 등으로 운항하며, 유럽은 발틱해, 영국해 등의 ECA해역이 있고, 유럽연합에서 2020년에 선박 연료유 황함유량을 0.5%로 기준으로 강화하였기에 유럽항만의 LNG병커링 추진현황 분석을 수행하였다.

유럽은 현재 운항 중인 전 세계 LNG연료추진선의 92%를 차지하고 있으며, 유럽연합의 지원으로 TEN-T (Trans-European Transport Networks) 프로그램을 통해 LNG인프라 확충이 추진됨에 따라 북유럽에 전 세계에서 가장 많은 LNG병커링 충전시설을 보유하고 있다.

유럽에서 LNG병커링을 선도적으로 이끄는 항만은

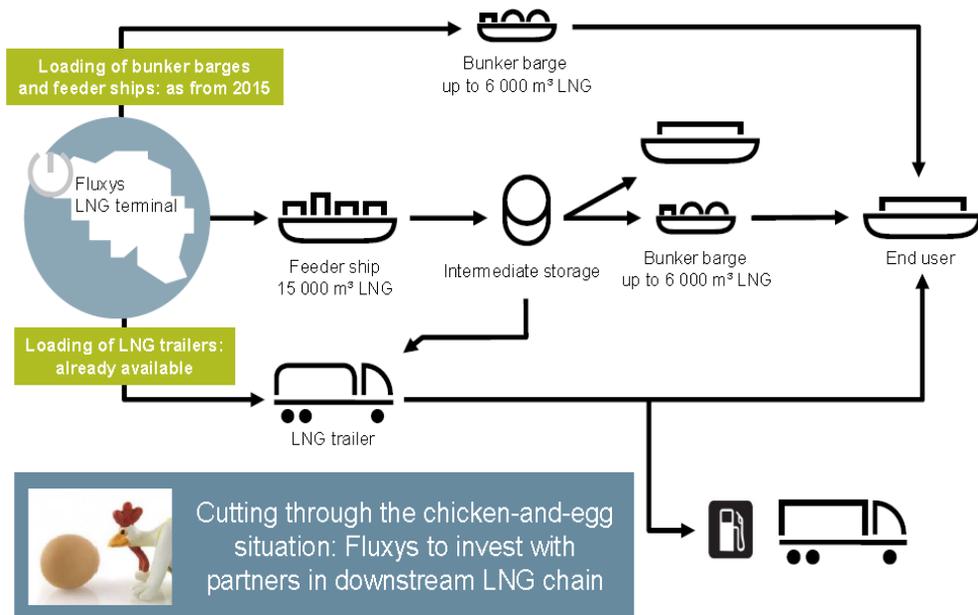


Fig. 2. Fluxys's LNG bunkering business model using Zeebrugge LNG terminal.

벨기에 Zeebrugge(지브루게)항, 네덜란드 로테르담항 등 주요 항만이다. 지브루게항은 벨기에 국영가스회사인 Fluxys사가 육상LNG터미널(3.4백만톤/년 처리 및 LNG저장탱크 380,000m³, 접안시설 1기)을 구축하였고, LNG벙커링과 소규모LNG사업을 위하여 소규모 접안시설 1기를 증설하고 있다. 2번째 접안시설은 2,000m²에서 Q Flex급 LNG선박까지 접안이 가능하고, 다목적 fender설치, 로딩암은 4개가 설치되었다. LNG벙커링 용도의 전용 로딩암은 8인치 배관으로 LNG라인과 BOG라인이 포함되었고, LNG유량계를 설치하여 정확한 계량이 되도록 하였다. Fluxys사는 유럽에서 LNG벙커링 수요를 40백만톤/년(2030년)으로 밝게 전망하여 지브루게 LNG벙커링 사업을 위해 ENGIE, 미쯔비씨상사, NYK회사의 LNG벙커링 선박 프로젝트에 지분투자를 실시하였고, 비즈니스 모델은 Fig. 2와 같다(Fluxys, 2015).

중국에서의 LNG벙커링은 선박 배출가스기준 강화와 함께 LNG연료추진선박과 LNG벙커링에 대한 파일럿 프로그램, 데모프로그램 등의 실증연구 위주의 보급 연구를 수행하고 있다. 중국선급협회 및 중국수로운수연구원(China Waterborne Transport Research Institute)의 발표에 의하면 2015년 12월 기준으로, 1,600척의 LNG연료추진선이 운항, 건조 및 발주된 것으로 보고되고 있다. 운항 중인 LNG연료추진선박은 99척이며, 건조 중인 LNG연료추진선박은 400척,

그리고 발주된 선박은 1,100척으로 나타나고 있다. 중국에서 LNG벙커링은 크게 3가지 유형,(Poontoon형, 육상LNG벙커링, LNG벙커링 선박)이 총16개소가 운영 중으로 보고되고 있다(Luo, 2016).

한편, 세계1위 유류 벙커링 도시국가인 싱가포르에서도 LNG벙커링 허브 구축을 위해 노력 중이다. 싱가포르 정부는 LNG벙커링 면허허가를 Kepple/Shell사와 Pavillion가스의 2개사에 발급하였고, LNG벙커링 표준화를 국가 주도로 진행 중에 있다.

## V. 울산항 LNG벙커링 수요전망

울산항에 입출항 하는 선박 중에서 선박배출가스 규제강화, 경쟁력 있는 LNG가격 등으로 LNG연료추진선박으로 전환하고 그에 따르는 LNG벙커링 수요전망을 통해 FLBT사업화를 확인해 보았다. 울산항 입출항 선박 중에서 LNG연료추진선박은 자동차선, 컨테이너선, 액체화물선을 위주로 입출항지의 평균거리와 선종별 속도, 연료사용량을 고려하여 LNG 수요량을 추정하였다. 해운선사들로 부터 항해거리, 평균 항속, 연료소모량 등을 파악하고 항해에 필요한 연료의 소모량을 계산하였다.

일부 지역의 해상거리는 해양수산부 국립해양조사원의 해상거리표를 활용하였다.

$$t = d/v \tag{1}$$

$$f_c = f_a \times t \tag{2}$$

$$f_t = n \times f_c \tag{3}$$

여기서  $t$ 는 운항소요시간,  $d$ 는 운항거리,  $v$ 는 평균 항속,  $f_c$ 는 운항에 따른 연료소모량,  $f_a$ 는 선종별 평균 연료소모율,  $f_t$ 는 총 연료소모량,  $n$ 은 입출항 선박수.

입출항 선박수와 연료소모량을 곱하여, 전체 선박 연료량을 산출하였다. 식(3)에서 얻은 연료량이 전부 LNG를 연료로 사용하였을 경우로 가정하여 총 LNG 사용량을 예측하였으며(2), 연도별 선박들의 예상 입출항수, 선박발전전망, LNG 추진선의 증가 등의 변수를 긍정적인 경우와 부정적인 경우로 나눠 고려하였다. 타 지역으로 입출항하는 선박도 지역별 평균거리를 해상거리표와 선사의 협조를 받아 계산하였다. 액체 화물운반선들의 주요 입출항지는 일본, 중국, 아시아 지역 등이며 위와 같은 방법으로 선종별 LNG 병커링 수요량을 구하였으며, '울산항 LNG병커링 수요'를 Table 5에 예측하였다. 2030년 LNG병커링 수요가 최대 900천톤으로 연구사업단에서 고려하고 있는 FLBT 건조에 충분한 LNG수요를 보여주고 있다. 2015년 한국가스공사의 가스판매량이 약 31,456천톤인 것을 감안하면, '15년 전체 가스판매량 대비 약 3% 달하는 물량임을 알 수 있다. 이는, FLBT사업을 추진할 수 있는 수요로 판단된다.

울산항 LNG병커링 수요전망 결과로 추진할 수 있는 LNG병커링 인프라는 2020년까지는 Truck to Ship 방식의 LNG병커링의 소규모 병커링으로 시작하고, 2025년에는 통영 혹은 삼척 LNG터미널을 기반으로 하는 LNG병커링 선박이나 LNG병커마지를 이용하여야 하며, 최종적으로 FLBT는 340천톤 이상의 수요

**Table 5.** LNG bunkering demand forecast for Ulsan port Unit : k ton

Year	Min.	Max.
2020	100	320
2025	340	700
2030	650	900
2035	1,000	1,200

2) LNG사용량은 열량기준으로 산정하였음

가 발생하는 2025년 이후 경제성을 고려하여 추진이 필요하다.

## VI. 결론

본 논문에서는 해상 부유식 LNG병커링 터미널 (FLBT)사업화를 위하여 국내 항만 중에서 울산항을 대상으로 LNG병커링 수요전망 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 국제해사기구(IMO), 유럽연합, 북아메리카 해역에서는 선박배출가스 규제를 강화하였고, 선박 연료유 중에서 황 함유량 기준을 2020년에 3.5%에서 0.5%로 대폭 강화되는 것으로 확정되었다.

(2) 한국에서의 선박배출가스 규제는 국제해사기구의 기준을 따라 적용되고 있으며, 환경부, 해양수산부 등의 관련 법령 정비가 필요하다.

(3) 울산항은 국내 항만 중에서 액체화물 처리 1위, 선박입출항 수 2위, 화물처리기준 3위의 항만이면서 국책사업인 오일허브 사업을 추진하고 있으며, 선박 중에서는 자동차운반선, 원유운반선 등의 탱커 선박 등이 LNG연료추진선박으로 전환이 될 수 있을 것으로 전망된다.

(4) 유럽항만 중에서 벨기에 지브루게항은 육상 LNG터미널에 새로운 접안시설, 로딩암 그리고 유량계와 Fender를 설치하여 LNG병커링 사업을 준비하고 있었고, LNG병커링 시장은 40백만톤(2030년)의 거대시장으로 전망하였다.

(5) 울산항 입출항 선박수, 선종별 연료소모량 등을 근거로 LNG연료추진선박에 소요되는 LNG병커링 수요는 2030년에 최소 650천톤에서 최대 900천톤으로 전망되어 FLBT사업을 추진할 수 있을 것으로 판단되었다.

## 감사의 글

본 연구는 해양수산부에서 지원하는 “해상부유식 LNG병커링 시스템 기술개발” 연구과제 결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## REFERENCES

[1] Yang, J-S, "Green Ship : Shipbuilding industry challenges and opportunities", The Export-Import Bank of Korea, Seoul, (2012)  
 [2] SP-IDC, Shipping and Port Integrated Data Center, Ministry of Oceans and Fisheries, Korea,

해상부유식 LNG 벙커링 터미널 시범사업을 위한 울산항 LNG 벙커링 수요전망에 관한 연구

- (2016)
- [3] IMO, "IMO MARPOL Annex VI", Regulation 14, (2016)
- [4] UPA, "Ulsan Port Statistical yearbook", Ulsan Port Authority, Ulsan, (2014)
- [5] Fluxys, "Introduction of LNG Terminal", Fluxys, Belgium, (2015)
- [6] Luo Xiaofeng, "Waterborne LNG Applications in China : Challenges & Suggestions", International LNG Bunkering Industry Forum, China, (2016)