

해상부유식 LNG 병커링 시스템 R&D사업의 경제성 분석

서선애* · 조성우**

A Study on Floating Offshore LNG Bunkering System and its Economic Analysis

Sunye Seo · Sungwoo Cho

Abstract : The business performance of port industry is steadily getting worse due to international environmental regulation. The port industry should be prepared according to ambient condition change. IMO(International Maritime Organization) is tightening up environmental regulation of vessel and maritime industry field. ECA(Emission Control Area), starting with the Baltic, has initialized and has been expanded. Korea must strengthen the control of vessel in accordance with IMO's restriction, if Korea is designated as emission control area. These situations cause the expansion of LNG-fuelled ships. Add to the larger trend of ships, Korean government should be done a preemptive action against LNG bunkering industry. This study proposes the concept of floating offshore LNG bunkering system and is conducted its economic feasibility evaluation based on empirical analysis.

We examine the theoretical foundation and basic information via "A Planning Study on the Engineering Development of Floating Offshore LNG Bunkering Terminal" in 2013 and we evaluate the business potential by using the report above mentioned. The results of this study are as follows. The values of B/C analysis are between 0.679 and 2.516 depending on market share and R&D contributiveness. In case of 10.9%(market share), if market share are 50% and 60%, the value of B/C analysis are 0.697 and 0.837 respectively. Except in two cases, all remaining values are over 1.0. Moreover, the research is conducted sensitivity analysis to remove the project uncertainty. In order to maintain economical validity, a project manager have to establish business strategies which are not to cause increase of expense and sustain market share and R&D contributiveness in the scenario with normal levels.

Key Words : LNG Bunkering, Floating Type, Economic Analysis, Natural Gas(LNG) Industry

▷ 논문접수 : 2014. 10. 31. ▷ 심사완료 : 2014. 11. 21. ▷ 게재확정 : 2014. 12. 01.

* 군산대학교 무역학과 조교수, alldaysunny@kunsan.ac.kr, 063)469-4503, 주저자

** 군산대학교 물류학과 조교수, swcho@kunsan.ac.kr, 063)469-4804, 교신저자

I. 서론

환경의 중요성은 해가 거듭될수록 강조되고 있는 가운데 국제 유가의 지속적 상승, 발리우엔 기후협약 등 기후변화에 대한 국제 환경규제의 강화 등으로 항만의 경영수지가 지속적으로 악화되고 있으며, 이에 대비한 항만분야의 대응이 중요시되고 있다(Cho et al., 2011). 해운산업의 경우 항공산업보다 약 2배 이상의 이산화탄소를 더 배출하고 있어 환경오염에 주요 요인으로 꼽히고 있다. 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)는 선박 및 해양분야의 환경규제를 강화하고 있다. 특히 선박의 연료의 황함유량을 현재 최대 4.5% 수준에서 2020년까지 0.5%까지 줄이는 등 지속적으로 규제를 강화할 계획이다(Kantel, 2008). 세계 각국은 해운·항만물류 분야에서 2050년까지 CO₂ 배출량 50% 감축을 목표로 설정하였으며 국내에서는 30% 저감 목표를 설정하여 탄소배출 저감을 위한 녹색산업 체제를 강화하고 있다(최상희, 2012).

2010년 IMO는 발틱해를 시작으로 배출통제지역(ECA, Emission Control Area)을 설정하고 선박에서 발생하는 NO_x(질소산화물), SO_x(황산화물) 그리고 P.M(Particulate Matter:미립자)을 획기적으로 줄이도록 사전 공지와 함께 입법 활동을 추진하였다. 현재까지 IMO에 통보된 배출통제지역(ECA)은 발틱해, 북해해역, 북미지역 연안 해역이다. ECA 지역은 점차 확대되고 있으며, ECA내 배출가스 규제강도가 지속적으로 높아지고 있다(Chin, 2010). 머지않아 한국 연안 해역이 ECA 지역으로 지정된다면 우리나라는 IMO의 선박배출가스 규제에 따라 선박의 규제를 강화해야 할 것이다. 2016년부터 ECA가 발효됨으로써 신규 도입 선박은 IMO 규제를 만족해야 한다. 이 문제를 해결하기 위한 방안은 기존의 병커C유 엔진 선박으로는 불가능하다는 것이 전문가들의 대체적 의견이다. 따라서 LNG연료 추진선박의 도입은 선택이 아닌 필수이다. 그리고 천연가스 가격은 안정적인데 반해 기존 선박 연료(병커C유, MDO)의 가격은 지속적으로 상승하고 있어 LNG에 대한 관심은 높아지고 있는 실정이다. 아울러 미국과 무역을 하지 않는 나라가 없다는 점을 감안한다면 배기가스 규정에 맞는 LNG연료 추진선박의 운항은 확대될 것으로 예상된다.

이러한 추세에 맞물려 전 세계적으로 LNG연료 추진선박과 LNG 병커링 선박에 대한 관심이 급증하고 있다. LNG 병커링과 LNG연료 추진선박 분야는 초기 단계로 우리가 선제적으로 대응한다면 친환경 해운·항만물류 분야에서 우위를 점할 수 있을 것이다. 해운·항만물류 분야의 강국을 지향하는 우리나라는 향후 허브 항만의 지위를 점하고 지속적인 성장을 위해 국가 미래전략사업의 한 영역으로 LNG 병커링 사업을 추진해야 할 필요가 있다. 그리고 LNG 병커링은 효율성, 활용도, 항만의 환경, 지역민원 등을 고려한다면 부유식(floating type)이 가장 적절할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 해상부유식 LNG 병커링과 관련된 주제인 LNG시스템, LNG선박, LNG

벙커링 내용을 선행연구를 바탕으로 LNG산업과 해상부유식 LNG 벙커링 시스템의 개념에 대해서 정리하려 한다. 그리고 해상부유식 LNG 벙커링 시스템에 대한 경제성 분석과 관련된 문헌을 정리하여 경제성 분석을 위한 기초자료로 활용할 것이다. 제4장에서는 정리된 자료를 바탕으로 해상부유식 LNG 벙커링 시스템이 경제적 타당성이 있는지 분석을 통해 확인할 것이다. 본 연구에 목적은 해상부유식 LNG 벙커링 시스템과 관련된 주제의 선행연구를 검토하고 개념을 정립함과 동시에 시스템의 경제적 타당성을 다각도로 검증하는 것이다.

II. 선행연구 고찰

LNG연료 추진선박에 관한 국내연구는 2004년 무렵부터 시작되었다. 하지만 LNG 벙커링 시스템에 관한 연구는 아직 초보 단계의 미진한 수준이라고 생각된다. 대부분의 연구가 기본개념 정립 및 설계 정도의 수준에 한정되어 있어 보다 광범위하고 깊이 있는 연구가 필요한 상황이다. 특히 LNG 벙커링 시스템의 경제성 분석에 관한 연구는 전무한 실정으로 이에 대한 기초연구가 반드시 이루어져야 할 것으로 판단된다.

국토해양부(2010)는 LNG가 미래의 세계 에너지 시장에서 석유에 버금갈 것으로 전망하고 “Hybrid Concrete LNG 해상터미널 기술개발 기획연구”를 통해 LNG 해상터미널에 관한 기술동향을 파악하고 국가간의 경쟁력을 확보하기 위해 연구개발과제를 수행하였다. 본 논문에서 다루고 있는 기본개념 및 경제성 분석은 2010년 국토해양부 기획연구를 통해 상당히 구체화 되었다.

장갑만 외(2011)는 LNG연료 추진선박의 운행현황과 벙커링 타당성에 대해서 연구하였다. 운행현황은 2009년 기준 LNG연료 적용 건조 선박 13척을 건조연도를 기준으로 정리하였으며, 최초의 LNG연료 추진선박인 “Glutra” 호와 2009년 기준 최신 선박인 노르웨이 LNG연료 추진선박인 “Tidekongen” 호에 대해서 자세히 분석하였다. 그리고 선박건조 관련 법규를 검토하여 국내 LNG연료 추진선박 벙커링 법규 타당성을 살펴보았다. 마지막으로 LNG연료 추진선박에 LNG를 충전하기 위한 방법 3가지(LNG 충전소에 의한 방법, 바지 또는 선박 이용, 이동식 탱크로리를 이용하는 방법)를 소개하고 각 방법의 특징 그리고 장·단점에 대해서 간략하게 정리하였다. 해당 연구는 LNG연료 충전방안에 대해서 비교하여 정리한 것에 의미가 있다고 할 수 있다.

강호근 외(2012)는 LNG 벙커링 산업은 신흥시장(emerging market)으로 주도적 역할을 하는 국가 혹은 기업이 없으며 우리나라가 체계적으로 준비하고 연구한다면 시장지배가 가능하다고 강조하였다. 현재의 운영되는 탱크로리에 의한 충전방식은 그 양이 제한적(약 15톤)이어서 궁극적으로는 ship-to-ship벙커링 시스템이 구축되어야 한다고 주장하였다. 저자들은 ship-to-ship벙커링을 위한 기술개발 시 우선적으로 고려해야 할 사항 9

가지를 정리하여 제시하였다.

윤성태 외(2013)는 해상 LNG 병커링 터미널에 대한 개념설계 연구를 진행하였다. 대형선박에 적용될 수 있는 LNG연료 공급시설에 대해서 정리하였으며, 설계요구사항을 세 가지 관점 즉, (1) 안전성 (2) 경제성 (3) 주요기능으로 구분하여 정리하고 설명하였다. 다음으로 세 가지 설계요구사항에서 제기된 몇 가지 이슈를 바탕으로 개념설계를 제안하였다. 개념설계는 LNG보관과 처리시스템(cargo storage and handling system) 그리고 선체구조(hull structure) 두 영역으로 나누어 진행하였다. 이 연구에서 제안한 개념설계가 본 연구에서 진행하는 해상부유식 LNG 병커링 시스템의 개념의 기초가 되었으며 가장 잘 설명된 연구라고 할 수 있다.

노윤화(2014)는 LNG는 누출 시 극저온 상태이므로 바다의 환경뿐만 아니라 온실가스 효과의 문제도 발생 가능하다고 밝히면서 LNG 병커링 기술은 각 공정에 대한 안전기술이 중요하다고 주장하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 LNG 병커링 시 누출에 의한 해양오염재난을 방지하거나 결과의 심각성을 완화시키는 방법 중 하나인 안전무결도(SIL, Safety Integrity Level) 개념을 적용하여 분석하였다.

최우정(2014)은 선행연구검토를 통해 LNG연료를 사용하는 선박개발에 따른 국제적인 규제와 동향 및 천연가스의 특징을 살펴보고, 친환경적인 선박 개발관련 기술현황과 기술에 대한 평가를 하였다. 본 논문의 특징은 경제성 분석을 위해 실제 철광석 운송에 투입되는 83K급 벌크선 기준으로 기존의 병커C유 연료 추진기에서 LNG연료 추진기로 변경했을 경우 연료비 절감을 통한 추가 고정비 회수에 대해서 비교 분석한 것이다. LNG 병커링과 관련하여 환경규제, LNG의 특징, LNG연료 추진선박의 건조 현황 및 기술현황, LNG연료 추진선박의 경제성 평가 등 주제와 관련된 다양한 정보를 깊이 있게 다루고 있는 것 또한 특징이다.

배정훈 외(2014)는 LNG 병커링 작업은 누출로 인한 사고 위험이 높아 안전설계가 필요하다라는 것을 인지하고 부산 신항의 일정 지역을 선정하여 ship-to-ship 병커링 위험도를 계산하고 분석하였다. 저자들은 정성적 위험도 평가를 위해 위험도 행렬(risk matrix) 형태로 도출하였으며 정량적 위험도를 분석하기 위해 LNG 병커링 작업 시 발생할 수 있는 사고 중 대표적인 것을 시나리오로 설정하고 확률을 기반으로 산정된 사고에 대한 심각성을 측정하는 방식으로 진행하였다.

Harperscheidt(2011)는 미래의 환경규제에 대응하기 위해서는 소형 LNG연료 추진선박의 운항은 필수적이며 LNG를 사용하는데 있어 가장 큰 이슈가 될 저장문제, 액화가스의 처리문제 그리고 병커링 기반시설, 절차, 설비문제에 대해서 분석·정리하였다.

Sewell(2012)은 근해를 운항하는 소형 LNG 선박이 아닌 원양해운이 가능한 대형선박의 LNG 병커링 인프라 구축 활용가능성 및 필요성에 대해 분석하였다. LNG 병커링 수요자 측면

에서 분석하기 위해 선주를 대상으로 조사를 실시하였으며 공급자 측면에서 분석하기 위해 항만에 종사자를 대상으로 조사를 수행하였다. 그리고 새로운 시설에 대한 수요를 세 가지 시나리오로 나누어 각각을 분석하였다.

Douglas-Westwood(2012)는 보고서를 통해 2012년부터 2016년까지 세계 LNG 시장을 분석하였다. 분석과정에서 LNG 산업에 대해서 심도있게 분석하였으며 LNG 수요와 공급관계 그리고 수요와 공급 데이터를 바탕으로 LNG 가격에 대한 전망치를 제시하였다. 그리고 세계 LNG 시장의 전망을 분석하기에 앞서 해상부유식 LNG 벙커링 터미널에 대한 개념과 재기화 시스템에 대해서 소개하였다.

〈표 1〉 LNG 벙커링 관련 주요 선행연구

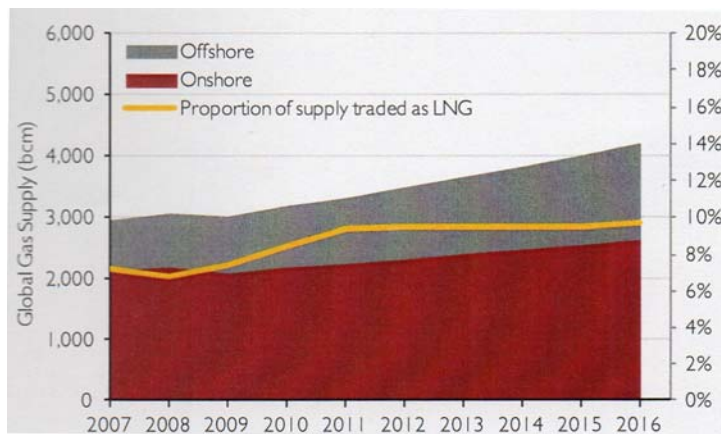
구분	논문제목	연구방법	연구내용
국토해양부 (2010)	Hybrid Concrete LNG 해상터미널 기술개발 기획연구	문헌연구 계량분석	LNG 시장에 대한 분석과 동시에 LNG 해상터미널 기술에 대한 분석 이에 대한 경제성 분석을 수행함
장갑만 외 (2011)	LNG연료선박 운행현황 및 벙커링 타당성 연구	문헌연구	2009년까지 건조된 LNG연료 추진선박의 운행현황과 벙커링 타당성과 함께 LNG 충전 방법을 3가지를 정리함
강호근 외 (2011)	LNG 벙커링 선박 개발 및 제도 기반 구축을 위한 제언	문헌연구	탱크로리에 의한 충전방식의 한계를 지적하고 ship-to-ship 벙커링 기술개발 시 고려해야 할 사항을 정리·제시함
윤성태 외 (2013)	Conceptual design of an offshore LNG bunkering terminal	문헌연구	LNG보관과 처리시스템 그리고 선체구조와 같이 두 영역으로 나누어 개념설계를 진행함
노윤화 (2014)	LNG 벙커링 시스템에 대한 안전무결도(SIL) 적용에 대한 연구	문헌연구 사례연구	LNG 벙커링 시 누출로 인해 발생할 수 있는 위험을 완화시키는 방법인 안전무결도(SIL) 개념을 적용하여 분석함
최우정 (2014)	액화천연가스(LNG)를 연료로 하는 친환경 선박 개발에 따른 기술평가 및 경제성 분석	문헌연구 사례분석 계량분석	83K급 벌크선 기준으로 기존의 방식에서 LNG 연료 추진기로 변경했을 때 연료비 절감을 통한 추가 고정비 회수에 대해서 비교분석을 실시하였음
배정훈 외 (2014)	부산신항에서의 Ship-to-Ship LNG bunkering 위험도 평가	문헌연구 사례연구 계량분석	Ship-to-ship 벙커링의 위험도를 계산하고 분석하기 위해 정성적인 방법과 정량적인 방법으로 나누어 평가를 실시함
Harperscheidt (2011)	Bunkering, infrastructure, storage, and processing of LNG	문헌연구	LNG사용에 중요한 사항인 저장문제, 벙커링 기반시설, 절차 그리고 설비문제를 분석하고 정리함
Sewell (2012)	LNG-fuelled deep sea shipping	문헌연구 계량분석	대형선박의 LNG 벙커링 인프라 구축 가능성을 확인하기 위해 시설에 대한 수요를 세 가지 시나리오로 나누어 분석함
Douglas-Westwood (2012)	The World LNG Market Forecast	문헌연구 사례분석	LNG산업 및 전반적인 내용에 대해서 심도있게 정리·분석하였으며 해상부유식 LNG 벙커링 터미널에 대한 개념을 확립함

Ⅲ. 천연가스(LNG) 산업 및 LNG 병커링 시스템의 개념

1. 천연가스(LNG) 산업

LNG(Liquefied Natural Gas)는 유전(油田) 혹은 가스전에서 채취한 천연가스를 약 -161°C 상태에서 약 600배로 압축해서 액화시킨 것이다. LNG의 주성분은 메탄이고 일부의 질소, 에탄, 프로판 그리고 부탄으로 구성되어 있다. 연소 시 화석연료보다 친환경적인 탄화수소 유기 화합 연료이다. 가스는 석탄, 원유와 같은 화석연료보다 이산화탄소 배출량이 약 1/3에 불과하다. 전 세계적으로 가스 수요는 2000년에서 2010년 사이에 31%나 증가했으며 2010년에만 2.4 tcm에서 3.2 tcm으로 대폭 상승했다. 원유 가격의 지속적 상승으로 인해 가스에 대한 수요는 증가할 것이며, 가스 생산은 2012년에서 2016년까지 약 20%가 증가할 것으로 기대된다. 이러한 증가량은 동기간 총 생산이 3.5 tcm에서 4.2 tcm으로 성장하는 것을 의미한다.

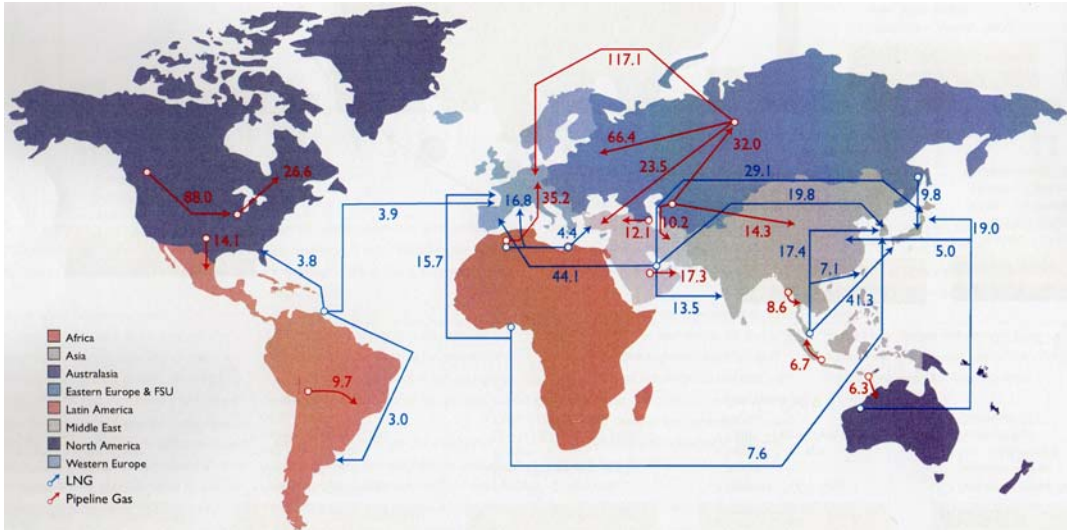
〈그림 1〉 전 세계 가스 생산 추이 및 전망



자료 : Douglas-Westwood(2012), The World LNG Market Forecast, p. 18

〈그림 2〉는 파이프라인 혹은 액화 상태의 천연가스의 거래 흐름을 보여준다. 상당한 양의 천연가스가 아시아로 유입되는 것을 그림을 통해 알 수 있다. 오스트레일리아·뉴질랜드·뉴기니를 포함한 남태평양 제도에서 생산되는 천연가스는 대부분이 일본과 중국으로 수출되는 것을 확인할 수 있다.

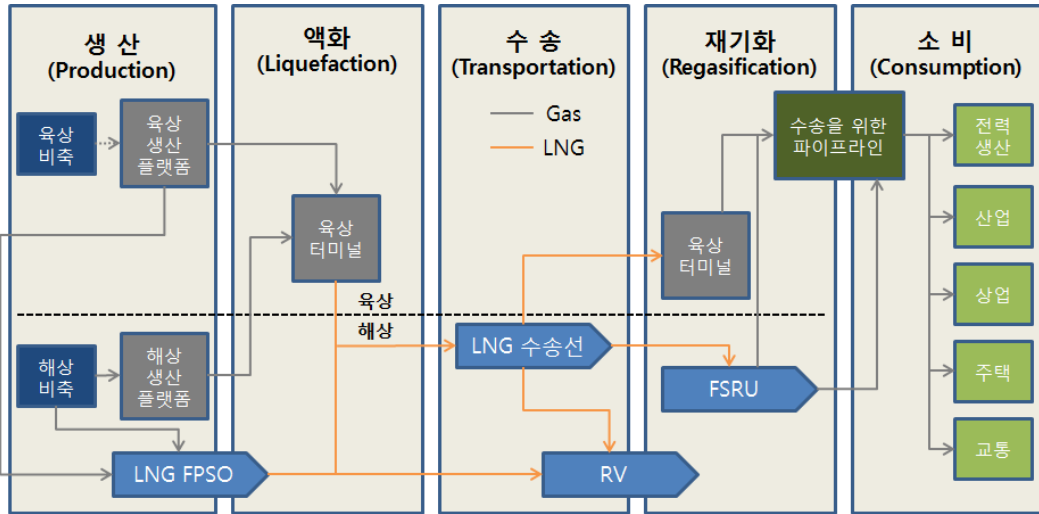
〈그림 2〉 천연가스 주요거래 동향(2012)



자료 : Douglas-Westwood(2012), The World LNG Market Forecast, p. 19

LNG 공급과정은 크게 (1) 가스 생산과 액화설비가 있는 터미널로의 운송 (2) 액화공정 (3) 운송(해상운송) (4) 재기화 공정 (5) 소비 다섯 단계로 나눌 수 있다. 천연가스는 다양한 기준에 따라 분류할 수 있는데 저류층(reservoir)에 압력에 따라 유용성 가스(solution gas)와 원유에 용해되지 않고 상부를 덮은 채 있는 ‘캡 가스(cap gas)’로 나뉘어진다. 수반가스(associated gas)는 원유와 혼합되어 있는 가스를 의미한다. 액화설비가 있는 터미널로의 운송은 육지 혹은 연안 생산설비에서 파이프라인을 통해 이루어진다. 액화(liquefaction)공정은 해외로 수송하기 원활하게 하기 위해 1기압에서 약 1/600로 부피를 줄이는 과정이다. 낮은 온도로 운송되는 LNG는 표준 격납용기로는 누수의 위험으로 사용하지 못한다. 따라서 운송을 위해 니켈이 9% 함유된 합금강을 사용한 재질의 선박 혹은 용기를 사용해야 한다. 재기화(regasification) 공정은 열원(熱源)인 해수(海水)나 강물을 이용해서 열을 가하여 액화된 LNG를 다시 기화시키는 과정이다. 〈그림 3〉은 LNG 공급의 전체과정을 간략히 나타낸다.

〈그림 3〉 LNG 공급 과정



LNG 공급에는 다양한 관련 기업이 관여한다. ‘(1) 상위 공급사 (2) 가스 액화기업 (3) LNG 운송사 (4) LNG 구매기업’ 으로 나눌 수 있다. 상위 공급사(upstream partner)는 액화 설비에 사용되는 공급원료를 소유하고 충분한 가스 생산을 유지할 수 있는 회사를 말한다. 가스 액화 기업은 가스구매협정서(gas purchase agreement)에 따라 상위 공급사로부터 공급원료를 구매한다. 대표적인 기업은 PERTAMINA, Marathon Oil, PETROBRAS, Origin, Statoil 등이다. 가스 액화 기업(gas liquefaction company)은 자체적으로 액화설비를 소유하고 수출을 위해 LNG를 생산하는 기업이다. 가스 액화 기업은 상위 공급사, LNG 구매기업, 투자은행을 포함한 다수의 주주가 존재한다. 대표적인 기업은 MALAYSIA LNG SON, BHD., TANGGUH LNG, EGING, Nigeria LNG Limited, Egyptian LNG 등이 있다.

LNG 운송사(LNG shipping company)는 액화된 LNG를 재기화 터미널로 운송하는 기업을 의미한다. 대부분의 LNG 운송사는 장기계약을 통해 액화 전용터미널을 운영한다. 대표적인 기업으로는 TEEKAY LNG PARTNERS L.P., misc, MOL, Mitsui O.S.K. Lines, K Line, NYK Line 등을 들 수 있다. LNG 구매기업(LNG buyer)은 LNG를 가스 액화 기업으로부터 구매한다. 구매 과정은 일반적으로 매매계약서에 서로 날인함과 동시에 시작된다. 대표적인 기업은 CHUBU Electric Power, KOGAS, gas Natural, TEPCO, endesa 등이다. Shell, BP 와 같은 대기업은 수직적으로 통합되어 있기 때문에 상기에 살펴본 기업과 같이 하나의 공정(액화, 운송, 재기화)만 관여하는 기업보다 많은 이익을 창출할 수 있다. 이러한 통합으로 공급에서의 유연성을 유지할 수 있는 것이다.

선박연료로서 LNG는 화석연료에 비해 몇 가지 이점을 가지고 있다. 첫째, 화석연료에 비해 유해물질의 배출량이 상당히 작다. 둘째, 선박 사고 시 기름유출로 인한 환경오염 및 위험 요인이 작다. 셋째, 기존에 사용하던 연료에 비해 저렴하다. 따라서 LNG연료 추진선박의 건조는 지속적으로 이루어질 것으로 예상된다. LNG연료 추진선박건의 약 76%(2000-2012년 기준)가 한국에 있는 조선소에서 건조되었다. LNG연료 추진선박 시장은 3개 조선소(두산중공업, 삼성중공업, 현대중공업)가 과점하고 있다. 2007년에서 2012년 사이 STX 조선이 6척의 선박을 수주했다. 일본의 미쓰비시 중공업과 가와사키 중공업이 약 14%의 시장점유율을 보이고 있으며 2011년 후동(hudong)이 약 7%의 시장점유율을 보였지만 향후 LNG연료 추진선박분야에서 중국의 조선소가 두각을 나타낼 것으로 예상된다.

2. LNG 벙커링 시스템의 개념

2절에서는 LNG 벙커링 시스템 및 해상부유식 LNG 벙커링 시스템의 개념에 대해서 설명할 것이다. LNG연료는 2000년 이후 페리선, 해양작업지원선(PSV) 등 플랜트 지원선과 예인선 등 소형선박에만 사용되기 시작했다. DNV GL이 조사한 통계에 따르면 48척의 LNG연료 추진선박이(2014년 7월 기준) 운항되고 있다. 우리가 눈여겨보아야 할 사항은 총 53척의 선박이 건조 중에 있다는 것이다. LNG연료 추진선박의 운항이 증가하면서 해운산업뿐만 아니라 항만산업에도 커다란 변화가 나타날 것으로 예상된다. 항만산업에서는 우선 LNG 벙커링 터미널에 대한 관심과 터미널 건설이 크게 증가할 것이다(김승섭, 2014).

LNG 벙커링(충전하기 위한 방법)은 크게 4가지로 나눌 수 있는데 (1) 고정식 충전소에서 선박으로 충전하는 방식 (2) 탱크로리에서 선박으로 충전하는 방식 (3) LNG 터미널에서 선박으로 직접 충전하는 방식 (4) LNG 벙커링 셔틀을 이용하여 선박으로 충전하는 방식으로 구분된다. 벙커링 방식은 상황, 선박, 운항환경, 안전성 등을 고려하여 결정하여야 한다.

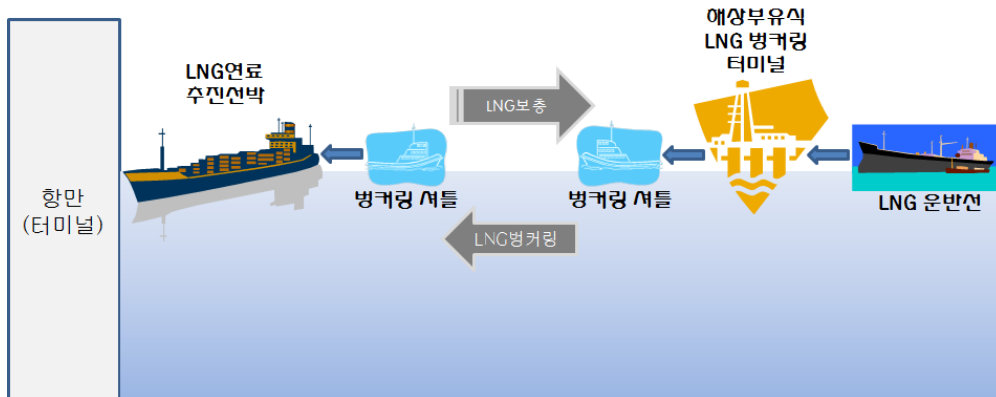
〈표 2〉 LNG 벙커링 방식에 따른 개념과 특징

구분	개념	특징
고정식 충전소 방식	육상에 가스저장탱크에서 선박 연료를 주입하는 방식	<ul style="list-style-type: none"> • 대형선박에 주로 이용하는 방식 • 설치비용이 많이 소요됨 • 충전 및 안전을 위해 상주 인력이 필요함 • 부두 혹은 특정장소에 충전소를 설치하여 연료를 충전하는 경우
탱크로리 충전 방식	육상 LNG탱크로리에서 선박 연료를 주입하는 방식	<ul style="list-style-type: none"> • LNG형태로 선박에 벙커링 • 국내 도시가스사업법에 관련 규정이 있음 • 대부분의 국가에서 규정이 준비되어 있지 않은 상황

<p>LNG 터미널 충전 방식</p>	<p>LNG 터미널에서 선박으로 연료를 주입하는 방식</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 터미널에서 LNG를 공급할 수 있는 설비를 추가하여 병커링 하는 경우 • 소형선박에 주로 이용되는 방식 • 초기 투자비용이 없어 도입 초기에 적용 가능한 가장 합리적인 방안 • 현재 다양한 방식의 선박을 병커링 할 수 있는 인프라가 구축되어 있지 않아 어려움이 있음 • 탱크로리의 위험성이 있으므로 안전성 확보할 방안이 필요함
<p>LNG 병커링 셔틀 방식</p>	<p>해상에서 병커링 셔틀(선박 혹은 바지선)을 이용하는 선박에 주입하는 방식</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 터미널 혹은 지정장소에서 운항하는 선박을 대상으로 공급하는 것 • 선사에서 연료 공급사에게 요구하는 방식 • 선박 연료공급 운용회사가 주체가 되어야 할 방안

세계적인 규모의 선사는 규모의 경제를 실현하고 타 선사와의 경쟁에서 살아남기 위해 선박 대형화를 적극 활용하고 있다. 현재 18,000TEU급 선박이 운항 중에 있으며 전문가들은 향후 25,000~30,000TEU급 초대형 컨테이너 선박이 출현할 것으로 전망하고 있다(조성우, 2014). 선박이 대형화되는 추세에 있으며 앞서 언급한 것과 같이 LNG연료 추진선박도 점차 대형화되고 있는 상황이다. 따라서 대규모의 LNG 병커링 시스템 구축은 필수적일 것으로 판단된다. LNG 병커링시 효율성, 위험성, 지역민원, 주변여건, 환경을 고려한다면 해상부유식(LNG 병커링 시스템의 기본 개념은 <그림 4>와 같다.

<그림 4> 해상부유식 LNG 병커링 시스템



자료 : 한국해양과학기술원, 해상부유식 LNG 병커링 시스템 기술개발 기획연구, p. 1

상기 그림에 표현된 해상부유식 LNG 벙커링 터미널은 자체적으로 이동이 가능하고 LNG운반선이 접안하여 LNG를 옮겨 싣고 저장이 가능하다. LNG 벙커링 서틀은 해상부유식 LNG 벙커링 터미널과 LNG연료 추진선박간의 이동을 하며 터미널에서 보충한 LNG를 LNG연료 추진선박에 제공하는 역할을 한다. 소형 LNG연료 추진선박은 LNG 벙커링 서틀을 이용하여 벙커링을 할 수 있고 LNG 벙커링 수요가 많거나 대형 LNG연료 추진선박의 경우 해상부유식 LNG 벙커링 터미널에 직접 접안하여 효율적인 벙커링이 가능하다.

육상 LNG 벙커링 시스템과 해상부유식 LNG 벙커링 시스템의 특징 그리고 장·단점을 정리하면 <표 3>과 같이 정리된다.

<표 3> 육상 및 해상부유식 LNG 벙커링 시스템의 특징 및 장·단점

구분	육상 LNG 벙커링 시스템	해상부유식 LNG 벙커링 시스템
특징	LNG연료 추진선박에 LNG를 주입할 수 있는 스테이션(station)을 항만시설의 일부로 두는 개념	항내구역 또는 근접한 해역에 떠 있는 상태로 계류되어 있는 구조물(LNG 벙커링 터미널)을 이용하여 LNG 운반선으로부터 LNG를 공급받고 저장할 수 있으며 LNG 서틀을 통해 LNG연료 추진선박에 LNG를 공급하는 개념
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 중소규모의 LNG 벙커링에 적합 • 항만시설내에서 손쉽게 급유가능 • 대기시간이 짧음 • LNG 인수기지 기능과 병행 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 대규모 LNG 벙커링에 적합 • 기존 항만시설의 개조가 필요 없으며 위험요인을 분리시킬 수 있음 • 대기시간 발생 가능함 • LNG 인수기지 기능과 LNG 발전설비 등 복합기능의 구현이 용이함
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 대규모의 LNG 벙커링에 제한적임 • 대규모 부지 매입 및 매립 등으로 막대한 비용과 시간/노력 요구됨 • LNG터미널 주위의 교통관제 필요 • LNG 발전 등의 복합기능에 한계 	<ul style="list-style-type: none"> • 소규모의 LNG 벙커링에 부적절함 • LNG 벙커링 서틀이 반드시 필요함 • 부유식 벙커링 터미널 주변의 교통관제가 필요함

자료 : 한국해양과학기술원, 해상부유식 LNG 벙커링 시스템 기술개발 기획연구, p. 6

IV. 병커링 시스템의 경제성 분석

대형 공공투자사업의 경우 사업의 규모가 클 뿐만 아니라 파급효과도 전 국민을 대상으로 하고 있기 때문에 정부는 사업을 효율적으로 추진하고 사업 계획에 대하여 타당성을 사전적으로 검증하고 예산 반영 여부를 결정하기 위해 예비타당성조사를 2008년부터 광범위하게 실시하고 있다.

R&D 사업은 시장변화와 불확실한 미래가치를 예측·적용해야 하는 어려움이 존재하여 예비타당성조사에서 정형화된 경제성 분석방법을 적용하기가 어렵다. 동일하거나 유사한 성격의 R&D 사업에 대한 편익의 추정에 있어서도 연구자에 따라 상이한 측정 기준과 내용을 적용하는 경우가 빈번하게 나타나고 있다.

따라서 본 논문에서 분석은 2013년도 최종 보고된 “해상부유식 LNG 병커링 시스템 기술 개발 기획연구”에서 제안된 기본개념 및 기초정보를 바탕으로 「연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제1판)」 연구보고서의 내용을 근간으로 타당성 여부를 검토하였다.

1. 기본전제

본 분석에서는 가능한 투자비용은 탄력적으로 책정하는 반면 투자편익은 보수적으로 산출하여 정부투자자와 같은 공공투자에서 범하기 쉬운 제2종 오류(type II error)¹⁾의 가능성을 최소화하려 노력했다. 경제성 분석에 있어 기준시점은 가격기준시점과 공사의 기준시점을 고려해야 하는데 가격기준시점은 물가상승률 자료의 활용가능성을 고려하여 착수된 시점의 전년도 말로 설정한다. 그리고 공사기준시점의 경우 공사기간의 시작은 1월 1일, 공사의 완료시점은 12월 31일을 기준으로 한다(국토교통부, 2013). 따라서 본 분석에서는 경제적 타당성 분석을 위해 비용편익분석의 기준시점을 2012년으로 설정한다.

연구개발사업은 총 5년(1단계 : 연구개발 3년, 2단계 : 사업화 단계 2년)으로 설정한다. “일반적으로 편익의 발생시점은 완공 후 시설이 공용되는 시점부터이며 공사기간에 따라 총 분석기간의 변화가 있을 수 있다.”(국토교통부, 2013) 본 연구에서는 경제적 타당성 분석의 편익 발생 기간을 산정하기 위해 기술수명기간(TCT, Technology Cycle Time)²⁾을 활용한다. 기술수명기간은 특허의 서지정보를 이용해 정량적으로 산출되는 지표 중 하나로써 인용된 특허들의 발행연도와 인용한 특허의 발행연도의 차이값들의 중간 값(median value)으로 정의된다

1) 가설검증에서 발생하는 두 가지 오류 중에 귀무가설 H₀가 사실이 아닌데도 불구하고 그 가설 H₀를 채택함으로써 발생하는 오류를 의미한다.

2) 기술수명기간은 연구자에 따라 기술순환주기, 기술교체주기, 기술수명주기 등으로 다양한 용어로 사용되는데 용어의 일관성을 위해 기술수명기간으로 지칭하도록 한다.

(한국과학기술기획평가원, 2011). 본 분석에서는 ‘가스 또는 액체 저장 또는 분배기술’의 기술수명주기가 13년임을 감안하여 편익의 유효기간을 13년으로 전제한다(한국해양과학기술원, 2013). 그리고 이번 연구의 개념에서는 R&D뿐만 아니라 사업화 단계도 포함하고 있으나 사업화 단계 검토에 필요한 경제성 분석은 포함하고 있지 않으므로 편익의 유효기간은 순수 기술수명주기를 의미하며 해상부유식 LNG 터미널의 내용연수를 의미하는 것은 아니다.

공공투자사업의 경제성 분석에 있어 할인율은 사업의 비용과 편익을 현재가치로 환산하는데 결정적인 파라미터로 작용한다. 본 분석에서는 KDI(한국개발연구원)에서 수행한 연구결과를 토대로 5.5%를 사회적 할인율로 사용한다.

2. 비용의 산정

본 분석과 관련하여 발생하는 비용은 연도별 연구개발투자비와 예비비로 구성된다. 연구개발 투자비의 경우 정부에서 100% 부담하는 경우와 민간부문의 대응자금이 있는 경우가 있을 수 있지만, 정부투자의 편익과 민간투자의 편익을 엄밀하게 구분하는 것이 현실적으로 쉽지 않으므로 정부투자분과 민간투자분의 합으로 비용을 산정한다. 기술개발을 위한 사업비로서 유지운영비는 없는 것으로 전제한다.

우선 R&D비용(연구개발비)은 기존의 사례가 없어 명확하게 제시하기는 어렵지만 해당사업의 예산 그리고 관련기업들이 현재 수행하고 있거나 미래에 수행할 기술개발 관련 예산의 총합으로 R&D 비용을 추정할 수 있을 것이다. 일반적으로 사업의 경제성 분석에서는 불확실성을 고려하여 총 연구개발비용의 10% 수준 이내에서 예비비를 산정한다. 전체 사업비는 아래의 표와 같이 총 2,140억원으로 추정되며, 여기에다 예비비 10%를 포함하면 경제성 분석에 사용된 총 비용은 2,354억원으로 추산할 수 있다. 이를 현재가치로 변환하게 되면 1,754억원이 된다. <표 4>에 제시된 해상부유식 LNG 벙커링 기술관련사업의 소요예산은 2013년 한국해양과학기술원에서 수행한 “해상부유식 LNG 벙커링 시스템 기술개발 기획연구”에서 산정된 자료를 인용하였으며, 체계적인 방법을 바탕으로 소요예산이 산정되었다.

〈표 4〉 해상부유식 LNG 벙커링 기술관련사업의 소요예산

구분		기술개발 과제명	총예산 (억원)	유효 비율	유효예산 (억원)
정부	미래	해상부유식 LNG 벙커링 기술개발 (국토해양부 R&D)	250	1.0	250
	현재	해상 LNG 터미널(FSRU) 엔지니어링 기술 개발 과제 (지식경제부 R&D)	180	0.5	90
민간	현재/미래	LNG 벙커링 기술 (FEED, top-side, 장비 등)			
		민간기업 1	300	1.0	300
		민간기업 2	200	1.0	200
		민간기업 3	250	1.0	250
		민간기업 4	150	1.0	150
		민간기업 5	500	1.0	500
		민간기업 기타	400	1.0	400
합 계					2,140

자료 : 한국해양과학기술원, 해상부유식 LNG 벙커링 시스템 기술개발 기획연구, p. 104

3. 편익의 산정

연구수행과정에서 실제로 편익을 추정하는 경우 사업의 특성과 확보 가능한 자료의 종류에 따라 편익 추정 방법이 달라진다. 연구개발사업의 편익으로 고려되는 항목은 정(+)의 가치 증가 부분과 부(-)의 비용 감소 부분으로 크게 나누어진다. 가치증가의 개념으로는 품질 변화 및 새로운 시장창출 등의 사례가 있을 수 있으며, 비용감소 또는 절감의 개념으로는 생산비용, 물류비용 그리고 피해비용의 감소가 있을 수 있다. 이를 토대로 편익 추정방법을 분류하면 (1) 시장수요접근법 (2) 로열티수입접근법 (3) 생산비용접근법 (4) 피해비용접근법으로 나눌 수 있다. 미래 시장 또는 수요에 의해 발생하는 부가 가치 중 해당 R&D 수행에 따른 비율을 적용할 수 있으므로 본 연구에서는 기술개발에 의한 편익항목을 추정하기 위하여 시장 수요의 추정에 의한 시장수요접근법(market demand approach)을 적용한다. 기술개발에 의한 편익 산정방식은 다음과 같다.

〈표 5〉 R&D 투자편익을 추정하는 산출식

산정방식 :	I	신규창출 시장규모
	× II	시장 점유율(시나리오 별로 적용)
	× III	사업화 성공률
	× IV	부가가치율
	× V	R&D 기여도

상기에 제시된 산출식의 각 항목을 간략하게 살펴보고 산출방법에 대해서 설명하고자 한다. 고정식 벙커링 터미널 혹은 충전설비를 포함한 LNG연료 추진선박용 벙커링 설비의 시장규모는 2020년까지 연간 1조원씩 형성될 것으로 예상된다(한국가스공사, 2011). 본 분석에서는 2017년부터 편익이 발생하여 13년간 지속되면 2021년부터 2029년까지의 시장규모가 추정 자료가 추가로 필요한 상황이다. 하지만 2020년 이후의 자료가 없기 때문에 2030년까지 전 세계 수요 증가율 1.7%(Douglas-Westwood, 2012)를 적용하여 추정하기로 한다.

〈표 6〉 LNG연료 추진선박용 벙커링 설비 시장규모

연도	시장규모(억원)	참고자료
2017	10,000	한국가스공사 (2011)
2018	10,000	
2019	10,000	
2020	10,000	
2021	10,170	Douglas-Westwood (2012)
2022	10,343	
2023	10,519	
2024	10,689	
2025	10,879	
2026	11,064	
2027	11,252	
2028	11,444	
2029	11,638	
합계	138,007	

기존의 육상 LNG 병커링 터미널의 용량을 감안하여 해상부유식 LNG 병커링 시스템이 도입되면 60%의 시장점유율을 보일 것으로 예상된다(한국해양과학기술원, 2013). 본 분석에서는 시장점유율을 시나리오 별(비관적 시나리오 : 50%, 보통 시나리오 : 60%, 낙관적 시나리오 : 70%)로 구분하여 분석하고자 한다.

연구개발사업을 통한 기술개발 결과가 시장에서의 편익창출로 이어지기 위해서는 기술의 실증 및 상용화 과정을 거치게 되는데, 이러한 과정에는 기술의 불확실성과 시장의 불확실성이 존재한다. 따라서 비용편익분석 시 기술개발사업이 상업화될 수 있는 가능성을 고려해야 한다. R&D사업화 성공률의 적절한 반영을 위해서는 국가연구개발사업의 성과를 분석한 관련 보고서나 부처의 자료, 전문가 설문조사 자료 등을 다양하게 활용할 수 있다. 본 분석에서는 산업기술개발분야의 사업화 성공률 32.7%를 적용하기로 한다(한국과학기술기획평가원, 2011).

부가가치율은 매출액 중에서 실제 새롭게 창출된 경제적 편익이 차지하는 비율을 의미하며, 부가가치율은 한국은행의 최근 산업연관표 적용을 원칙으로 한다(한국과학기술기획평가원, 2011). 본 분석에서는 2008년도 산업연관표(2010년 발간)에서 ‘기타 공학관련 서비스’ 부분의 값을 적용하여 0.716을 부가가치율로 적용한다.

R&D 기여도는 R&D 사업의 시행결과 발생하는 편익 중에서 순수하게 R&D활동에 의해 이루어지는 비율을 의미한다. 본 연구에서는 분석하는 사업은 기술개발사업으로 실제 편익은 기술개발에 이어 마케팅, 생산비용 등이 추가적으로 투입되어야 발생 가능하기 때문에 편익에서 R&D만의 기여도를 분리하여 분석하였다. 분석을 위해 선행연구를 면밀히 검토하여 도출된 10.9%(하준경, 2005), 28.1%(신태영, 2004)의 수치를 대리지표로 차등 적용하였다.

4. 비용편익분석 결과

비용-편익비가 1.0을 초과할 경우 대상 공공투자 개발사업은 사회적으로 가치가 있다고 판단되어 채택할 수 있으나, 편익과 비용의 추정에 어느 정도 불확실성이 포함되어 있기 때문에 시나리오에 따른 다양한 분석을 통해 경제적 타당성을 평가해볼 필요가 있다. 해상부유식 LNG 병커링 시스템의 점유율 변화에 따른 비용/편익분석의 결과는 아래와 같다.

〈표 7〉 시나리오별 비용편익분석 결과 요약

B/C ratio		R&D 기여도	
		10.9%	28.1%
시장점유율	50%	0.697	1,797
	60%	0.837	2,157
	70%	0.976	2,516

공공사업을 추진하는데 있어 발생할 수 있는 다양한 변동 상황이 사업에 미치는 영향을 분석하기 위해 민감도 분석(sensitivity analysis)을 실시하였다. 비용에서 예비비를 감안하여 분석하였기 때문에 비용은 20%까지 10%단위로 증가하는 경우를 분석하고 감소하는 경우는 분석에서 제외하였다.

〈표 8〉 비용 10% 증가에 따른 민감도 분석

B/C ratio		R&D 기여도	
		10.9%	28.1%
시장점유율	50%	0.634	1,634
	60%	0.760	1,960
	70%	0.887	2,287

〈표 9〉 비용 20% 증가에 따른 민감도 분석

B/C ratio		R&D 기여도	
		10.9%	28.1%
시장점유율	50%	0.581	1,498
	60%	0.697	1,797
	70%	0.813	2,097

V. 결론

2016년부터 배출통제지역(ECA, Emission Control Area)관련 규정이 발효되고 확대되면 신규 도입 선박은 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)의 규제를 만족해야 한다. 전문가들은 이러한 문제를 해결하기 위해서는 기존의 벙커C유 추진선박으로는 불가능하고 LNG연료 추진선박의 도입이 해결책이라고 예상한다. 기존 선박 연료의 가격은 지속적으로 상승하고 있는 반면 천연가스의 가격은 안정적이어서 LNG에 대한 관심은 높아지고 있다. 발틱해, 북미연안, 북해해역 등 ECA 지역은 점차 확대되고 있어 배기가스 규정에 맞는 LNG연료 추진선박의 운항은 확대될 것으로 예상된다.

이러한 추세와 맞물려 LNG 벙커링 시스템에 대한 관심 또한 급증하고 있다. LNG 벙커링 시스템 분야는 아직 초기 단계로 우리가 선제적으로 대응한다면 친환경 해운·항만물류 분야에서 우위를 점할 수 있을 것이며 국가 미래전략사업으로 지속적인 성장의 견인차 역할을 할 것으로 기대된다. 본 연구에서는 해상부유식 LNG 벙커링 터미널의 개념을 정리하기에 앞서 관

런 선행연구를 검토하였다. 선행연구검토 후 천연가스(LNG)산업에 대해서 살펴보았으며, 이러한 내용을 바탕으로 LNG 병커링 터미널의 개념과 4가지 방식에 대해서 정리하였다. 선박은 점차 대형화되는 추세이며 LNG연료 추진선박도 대형화되고 있는 상황이다. 대형 LNG 선박에 병커링시 효율성, 위험성, 지역민원, 주변여건, 환경 등을 고려한다면 해상부유식 병커링 방식이 가장 적절할 것으로 생각된다.

본 논문에서 분석은 2013년도 최종 보고된 “해상부유식 LNG 병커링 시스템 기술개발 기획연구”에서 제안된 기본개념 및 기초정보를 바탕으로 「연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제1판)」 연구보고서의 내용을 근간으로 타당성 여부를 검토하였다. 기본전제로 기준년도, 분석기간(R&D기간, 편익의 유효기간), 사회적 할인율을 정의하였으며, 비용은 R&D비용과 예비비를 구분하여 산정하였으며 기술개발을 위한 유지운영비는 없는 것으로 전제하였다. 편익은 시장수요접근법(market demand approach)을 적용하여 기술개발에 의한 편익을 산정하였다.

분석결과 시장점유율과 R&D 기여도에 따라 편익-비용 비율이 0.697~2.516에 이르는 것으로 분석되었다. R&D 기여도가 10.9%일 경우 고정식 병커링 터미널 혹은 충전설비를 포함한 LNG 추진선박용 병커링 설비 시장규모에서 부유식 LNG 병커링 설비가 차지하는 시장점유율이 50%, 60%이면 비용-편익 비율이 각각 0.697 그리고 0.837로 경제성이 낮은 것으로 분석되었다. 상기 2가지 경우를 제외하고는 모두 경제성이 있는 것으로 분석되었으며, 이러한 결과는 본 사업이 추진 과정에서 어느 정도 경제적인 성과를 거둘 가능성이 있는 것으로 판단할 수 있는 근거가 된다. 다만 비관적인 시나리오(시장점유율 50%, R&D 기여도 10.9%)에서는 경제성이 미흡하게 될 여지도 있다는 점을 보여주고 있어 사업 추진과정에서 비용이 증가하지 않게 관리하고 시장점유율 및 R&D 기여도를 정상적 시나리오 수준으로 유지할 수 있도록 치밀한 전략 구사가 필요하다. 공공사업을 추진하고 운영하는 경우 각종 불확실성이 존재하기 때문에 사업의 타당성을 확인할 때 변동사항에 대한 고려가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 마지막으로 비용의 증가를 고려한 민감도 분석(sensitivity analysis)을 실시하였다. 비용에서 예비비를 감안하여 분석하였기 때문에 비용은 20%까지 10%단위로 증가하는 경우를 분석하고 감소하는 경우는 분석에서 제외하였다. 비용의 변화에 따른 민감도 분석 결과 비용이 각각 10% 그리고 20% 증가할 경우 R&D 기여도가 10.9%인 경우 경제적 타당성을 확보하지 못하는 것으로 분석되었으나, R&D 기여도가 28.1%인 경우 경제적 타당성을 확보하는 것으로 분석되었다.

참고문헌

- 강호근·김형수·김기평, “LNG 벙커링 선박 개발 및 제도 기반 구축을 위한 제언”, 『해양환경안전학회』, 2012년도 춘계학술발표회 논문집, 2012, 100-103.
- 국토교통부, 『교통시설 투자평가지침(제5차 개정)』, 국토교통부, 2013.
- 국토해양부, 『Hybrid Concrete LNG 해상터미널 기술개발』, 국토해양부, 2010.
- 김승섭, “LNG연료서, LNG 벙커링 해사산업 新 화두 해운·항만·조선 패러다임 변화 이끈다”, 『해양한국』, 제2014권 제8호, 2014, 20-24.
- 노윤화, 『LNG 벙커링 시스템에 대한 안전무결도(SIL) 적용에 대한 연구』, 부산대학교 대학원 석사학위논문, 2014.
- 배정훈·박병철·신성철·김수영, “부산신항에서의 Ship-To-Ship LNG bunkering 위험도 평가”, 『해양환경안전학회』, 2014년도 춘계학술발표회 논문집, 2014, 300-302.
- 신태영, 『연구개발투자의 경제성장에 대한 기여도』, 과학기술정책연구원, 2004.
- 장갑만·하희목·류영돈·김영섭·김기동·홍성호, “LNG연료선박 운행형황 및 벙커링 타당성 연구”, 『한국가스학회』, 2011년도 춘계학술발표회 논문집, 2011, 145-150.
- 조성우·원승환, “유럽의 자동화 항만 구축 성공사례를 통한 우리나라 미래형 항만 구축 방안에 관한 연구”, 『EU연구』, 제38호, 2014, 205-236.
- 최상희, “미래를 선도하는 스마트 항만물류기술”, 『전자공학회지』, 제39권 제5호, 2012, 39-46.
- 최우정, 『액화천연가스(LNG)를 연료로 하는 친환경 선박 개발에 따른 기술평가 및 경제성 분석』, 한국해양대학교 대학원 박사학위논문, 2014.
- 한국가스공사, 『LNG Bunkering Market』, KOGAS, 2011.
- 한국해양과학기술원, 『해상부유식 LNG 벙커링 시스템 기술개발 기획연구』, 2013년 해양연구 기획사업 최종보고서, 2013.
- 한국과학기술기획평가원, 『연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제1판)』, 기획재정부, 2011.
- 하준경, “연구개발의 경제성장 효과분석”, 『경제분석』, 제11권 제2호, 2005, 88-105.
- Chin, Anthony T.H. and Low, Joyce M.W., “Port performance in Asia: Does production efficiency imply environmental efficiency?”, *Transportation Research Part D*, Vol. 15, No. 8, 2010, 483-488.
- Cho, S. W., Pak, M. S., Han, N. H. and Woo, J. W., “A Study on the Simulation Model for Development of the Eco-Environment Port”, *The Annual of Japan Port Economics Association*, No. 50, 2011, 173-184.
- Douglas-Westwood, *The World LNG Market Forecast*, Canterbury, Douglas-Westwood Limited, 2012.

- Harperscheidt, J., “Bunkering, infrastructure, storage, and processing of LNG” , *Ship & Offshore*, No. 1, 2011, 12-15.
- Kantel, J., Making Ships Green, in Port and at Sea, The New York Times, 2008.
- Sewell, H., *LNG-fuelled deep sea shipping*, London, Lloyd’ s Register, 2012.
- Yun, S.T., Ryu, J.H., Seo, S.W., Lee, S.G., Chung, H., Seo, Y.T. and Chang, D.J., “Conceptual design of an offshore LNG bunkering terminal” , 『대한기계학회』 , 2013년도 춘추학술대회 논문집, 2013, 2366-2373.

국문요약

해상부유식 LNG 벙커링 시스템 R&D사업의 경제성 분석

서선애 · 조성우

국제 환경규제의 강화 등으로 항만의 경영수지는 지속적으로 악화되고 있으며, 이에 대비한 항만 분야의 대응이 중요시되고 있다. 국제해사기구(IMO)는 선박 및 해양 분야의 환경규제를 강화하고 있는 실정이다. 발틱해를 시작으로 배출통제지역(ECA)이 설정되고 확대되고 있는 상황에서 향후 한국 연안 해역이 ECA지역으로 지정된다면 우리나라는 IMO의 규제에 따라 선박의 규제를 강화해야 한다. 이러한 상황과 맞물려 LNG연료 추진선박의 운항이 확대될 것이고, 선박의 대형화 추세를 감안한다면 LNG 벙커링 분야에 선제적으로 대응해야할 필요성이 제기된다. 그리고 LNG 벙커링의 효율성, 활용도, 항만의 환경, 지역민원 등을 고려한다면 부유식(floating type)이 적절할 것이다. 본 연구의 목적은 선행연구를 바탕으로 해상부유식 LNG 벙커링 시스템의 개념에 대해서 살펴보고 해상부유식 LNG 벙커링 시스템의 경제적 타당성을 분석을 통해 확인하는 것이다.

분석을 위해 2013년 “해상부유식 LNG 벙커링 시스템 기술개발 기획연구”에서 제안된 기본 개념 및 기초정보를 바탕으로 “연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제1판)” 연구보고서의 내용을 참고하여 사업의 타당성 여부를 검토하였다. 분석결과 시장점유율과 R&D 기여도에 따라 B/C값이 0.679~2.516인 것으로 나타났다. R&D 기여도가 10.9%일 경우 전체 시장규모에서 해상부유식 LNG 벙커링 시스템이 차지하는 시장점유율이 50% 혹은 60%이면 B/C 값이 각각 0.697 그리고 0.837로 경제성이 낮은 것으로 분석되었다. 사업의 불확실성을 감안하여 민감도 분석(sensitivity analysis)을 실시하였다. 본 분석에서는 비용을 20%까지 10% 단위로 증가하는 경우를 분석하였다. 결과 비용이 각각 10%, 20% 증가할 경우 R&D 기여도가 10.9%인 경우 경제적 타당성을 확보하지 못하는 것으로 분석되었다. 일부 시나리오에서 경제성이 미흡한 것으로 분석되어 사업의 추진과정에서 비용이 증가하지 않게 관리하고 시장점유율 및 R&D 기여도를 정상적인 시나리오 수준으로 유지하는 전략이 필요할 것으로 사료된다.

핵심 주제어 : LNG 벙커링 시스템, 해상부유식, 경제성 분석, 가스(LNG)산업