

액화가스운반선 주요치수에 대한 기준 개정 필요성에 관한 연구

윤귀호*

* 한국해양대학교 선박운항과 교수

A Study on the Necessity to Revise the Standards for the Main Dimensions of Liquefied Gas Carriers

Gwi-ho Yun**

* Professor, Division of Ship Navigation, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Republic of Korea

요 약 : 최근 환경 문제를 포함하여 여러 이유로 액화가스에 대한 수요가 증가하고 있다. 이로 인하여 선박을 통한 액화가스의 운송이 증대하고 있고, 이를 수용할 터미널 건설도 다수 이루어지고 있다. 터미널을 건설하는데 있어 그 규모의 결정은 대상선박이 명확히 결정되어 있을 경우 그에 따른다. 그렇지 않다면 터미널이 수용하고자 하는 선박 규모를 결정하고, 관련한 규정이나 기준에 제시되어 있는 선박 치수를 활용한다. 이와 관련하여 최근 액화가스터미널 건설을 위해 항만 건설시 설계기준으로 가장 많이 적용하는 항만 및 어항 설계 기준 및 해설(2017)을 활용하여 대상선박의 규모를 파악하는 과정에서 대형화된 선박의 기준이 마련되어 있지 않고, 제시되어 있는 선박의 주요치수가 실질적으로 운항하고 있는 선박과 상당히 상이하다는 점이 발견되었다. 이러한 문제점으로 인하여 터미널을 건설하는데 있어 대상선박 및 터미널의 규모 결정, 터미널의 안전성 평가 등에 있어 이해 당사자 간의 많은 이견이 있을 수 있기에 현행 액화가스운반선의 주요치수에 대한 기준을 현재 운항하고 있는 선박들의 현황 분석을 통하여 개정안을 제시하였다. 제시된 개정안은 향후 선박 및 터미널 규모 결정에 보다 적절하고 현실적인 기준으로 활용되고, 불필요한 터미널 건설비용 증가를 막을 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 액화가스, 터미널, 대상선박, 주요치수, 현황 분석

Abstract : Recently, the demand for liquefied gas has been increasing for various reasons, including environmental problems, and as a result, transportation of liquefied gas through a ship is increasing, and several terminals are also being constructed to accommodate it. The size of the terminal to be constructed shall follow the result if the target ship is clearly determined. Otherwise, the size of the vessel that the terminal intends to accept shall be determined, and then, the dimensions of the vessel given in the regulations or standards shall be used. In this regard, it was found that the main dimensions of the proposed vessels are substantially different from those actually operating and the standard for large-sized vessels has not been established in the process of determining the size of the target vessel by using the "Port and Fishing Port Design Standards" and commentary(2017), which recently is most commonly used as port design criteria in order to construct the liquefied gas terminal. Because of these problems, a revision of the standard for the major dimensions of liquefied gas carriers was proposed through an analysis of the current status of ships in service, as there could be many differences between interested parties in determining the size of the target ships and terminals and evaluating the safety of terminals. It is expected that the proposed revision will be used as a more appropriate and realistic criterion for determining the size of ships and terminals in the future and will prevent unnecessary terminal construction costs.

Key Words : Liquefied Gas, Terminal, Target Ship, Main Dimensions, Analysis of Current Status

1. 서 론

대기 오염에 대한 환경 문제의 대두로 인한 국내외적인 관심이 증폭되고 있는 가운데 에너지 생산 및 소비 패턴에

대한 많은 변화가 이루어지고 있다. 이러한 가운데 화석 연료 중에 클린 에너지 연료라 할 수 있는 천연가스에 대한 수요가 급속도로 증가하고 있는 추세이다(Lee et al., 2019). 천연가스는 자동차 및 선박 연료, 가정에서 사용하고 있는 도시가스 및 화력발전소 연료 등에 이용되면서 그 수요가 급격하게 증가하고 있다(Cheong and park, 2018). 그에 따라 천

† captyun@kmo.ac.kr

연가스를 취급할 수 있는 시설들의 확장도 같이 수반되고 있는 상황이다.

국제에너지기구(International Energy Association)의 전망에 따르면, 2016~2040년간 천연가스의 수요는 세계적으로 약 45% 증가할 것으로 예상한 바가 있다(IEA, 2017). 2000년 이후 세계적인 신규 발전 설비의 약 3/4이 가스터빈복합발전이고, 국내적으로도 전력수급기본계획, 재생에너지 이행계획 및 온실가스 감축로드맵 수정안 등을 통하여 석탄발전 확대 계획 폐지 및 천연가스 발전 확대를 추진하고 있다.

세계 1차 에너지별 수요 점유비 전망에서는 석유가스를 포함한 석유의 점유비는 점차 감소하지만 천연가스와 더불어 석유가스의 수요량은 꾸준히 증가하고 있음을 보고하였다(Kim, 2014). 우리나라의 경우도 석유 및 가스의 보유량 확보 및 관련 산업의 촉진을 위해 꾸준히 해외자원개발정책을 펼쳐 해외 석유, 가스 개발물을 상층시켜왔다(Kim and Kim, 2015). 캠퍼문화의 확산과 야영인구의 급증(Lee et al., 2016), 미세먼지와 대기오염 억제측면에서 긍정적인 평가에 따른 액화석유가스(Liquefied Petroleum Gas, 이하 “LPG”) 자동차 확대도 예상된다(Choi, 2019)에 따라 석유가스의 수요도 증가할 것으로 예상된다.

이러한 일환으로 최근 울산항에 대규모 상업용 석유 저장 시설 구축을 위해 동북아 오일 허브 북항지구 개발 사업이 진행될 예정(제3차 전국 무역항 기본계획 수정계획, 해양수산부 2016.09.)이었다. 하지만, 국내 에너지정책 변경에 따른 에너지 수급 포트폴리오 변화로 액화천연가스(Liquefied Natural Gas, 이하 “LNG”) 등 액화가스의 거래 영역 확장이 필요하게 되었고, 환경문제로 선박 연료 전환을 위한 LNG 병커링 사업을 구축함으로써 국가정책에 기여하고자 오일 허브 북항지구 유류부두 1선석을 액화가스 선석으로 변경하여 개발이 진행되고 있다.

변경하고자하는 선석은 8만5천톤급(총톤수) 액화가스운반선을 수용할 수 있도록 개발예정이다. 통상 액화가스 터미널은 LPG 및 LNG로 구분하여 건설이 되기 때문에 액화가스별 전용부두 형식으로 운영되는 것이 일반적임에도 불구하고 LNG와 LPG 운반선을 모두 수용하는 겸용터미널로 변경 개발 추진 중이다.

국내외적으로 LNG와 LPG 운반선을 모두 수용하는 겸용 터미널로 운영되고 있는 경우는 드물다. 액화가스라는 공통점이 있기 때문에 겸용 부두로 운영하더라도 별다른 문제가 없을 것으로 사료된다. 하지만, 화물을 취급하는데 발생할 수 있는 위험성이나 상이한 점들은 차치하더라도 LNG와 LPG의 물리적인 특성이 상당히 다르다. 이를 운송하는 선박 또한 선형이나 선박의 치수가 상이하기 때문에 관련 사항을 반드시 검토하여야 할 것이다.

이와 관련하여 국내 항만건설 시에 기술적 기준으로 가장

많이 활용하는 ‘항만 및 어항설계기준·해설(해양수산부, 2017, 이하 “항설”)’에 의거하여 액화가스터미널의 설계 계획이 적정한지를 평가하였는데, 평가하는 과정에서 여러 문제점들이 발견되었다.

첫 번째 앞서 언급한 바와 같이 LNG와 LPG 운반선은 화물의 물리적 특성에 차이가 많아 동일한 총톤수라 하더라도 선박의 치수에 큰 차이가 발생하기 때문에 액화가스 겸용터미널에 적용시킬 대상선박을 결정하는데 여러 이견이 발생하였고, 두 번째 LNG 운반선은 점점 대형화되고 있는 추세이나 항설에는 대형 LNG 운반선에 대한 기준이 마련되어 있지 않았으며, 세 번째 항설에 마련되어 있는 LPG 운반선 치수 기준이 실질적으로 운항하고 있는 LPG 운반선과 상당한 차이를 보이고 있다.

부두나 터미널을 건설하는데 있어 대상선박의 결정은 계류안전성이나 통항안전성 평가와 부두 설계 기준을 마련하는데 가장 중요한 요소 중에 하나이기 때문에 명확한 대상선박의 결정과 더불어 대상선박의 치수가 합리적으로 마련되어 있어야 한다.

이에 따라, 본 연구에서는 먼저 국내외 선박의 치수 관련 규정을 검토하였다. 그리고 실질적으로 운항하고 있는 국내외 LNG 및 LPG 운반선들의 현황 분석을 통하여 도출된 선박 치수 기준을 관련 규정들과 비교하여, 국내 항설 규정에 명시되어 있는 액화가스운반선의 선박 주요치수에 대한 개정안을 제안하였다. 이는 향후 액화가스터미널이 건설될 때에 합리적인 대상선박의 기준을 제시함으로써 불필요한 터미널 건설비용을 막을 수 있을 것으로 사료된다.

2. 액화가스운반선의 주요치수에 대한 국내외 기준

2.1 국내 기준

국내에 항만시설, 어항시설, 항만관련 시설의 조사, 계획, 설계에 필요한 기술적인 기준을 정하기 위하여 항설이 마련되어 있다. 실질적으로 항만시설, 수역시설 등의 설계, 변경, 신설 등이 이루어질 경우에 적용 기준으로 활용되고 있다.

항만시설, 수역시설 등의 배치, 규모, 형식 등을 결정하는데 있어 선박의 치수는 고려해야 할 가장 중요한 요소 중 하나이기 때문에 선박의 종류, 크기별로 대상선박의 주요치수를 항설에 명시하고 있다.

항설 상 선박의 주요치수는 통계자료 등에 의하여 정하여졌으며, 액화가스운반선(LPG 운반선 및 LNG 운반선)의 주요치수는 Table 1 및 2와 같다. 다만, 2.2에 기술되어 있는 일본의 관련 규정을 살펴보면 알겠지만, 액화가스운반선의 선박 주요치수가 동일하다. 이는 항설에 명시된 바와 같이 일본의 데이터를 사용한 결과이다.

Table 1. LPGC dimensions on domestic and Japan's rule

LPG Carriers				
GT(t)	LOA(m)	Lpp(m)	B(m)	d(m)
3,000	98	92	16.1	6.3
5,000	116	109	18.6	7.3
10,000	144	136	22.7	8.9
20,000	179	170	27.7	10.8
30,000	204	193	31.1	12.1
40,000	223	212	33.8	13.1
50,000	240	228	36.0	14.0

Table 2. LNGC dimensions on domestic and Japan's rule

LNG Carriers				
GT(t)	LOA(m)	Lpp(m)	B(m)	d(m)
20,000	174	164	27.8	8.4
30,000	199	188	31.4	9.2
50,000	235	223	36.7	10.4
80,000	274	260	42.4	11.5
100,000	294	281	45.4	12.1

2.2 해외 기준

1) 일본

일본의 경우도 우리나라와 유사하게 국토교통부(Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism)에서 ‘항만 및 항만시설에 관한 기술기준 및 해설(Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities In Japan, 2007)’을 발행하고 있으며, 해당 규정에 명시되어 있는 액화가스운반선의 주요치수는 앞의 Table 1 및 2와 같다.

또한 일본 국토교통부 산하 기관 국토 및 기반시설 관리에 관한 국립연구소에서 대상선박들의 주요치수 기준에 대한 연구보고서를 몇 차례 작성을 하였다. 보고서에서는 운항하고 있는 선박들의 현황 및 분포도를 바탕으로 선박들의 주요치수를 분석하였다.

1998년에 발행된 보고서는 액화가스운반선에 대한 주요치수를 지금의 LNG 및 LPG 운반선으로 분류하지 않고, 액화가스운반선으로 단일화하여 주요치수를 도출하였다. 하지만, 이후 발행된 보고서(Takahashi et al., 2006)에서는 분류하여 액화가스운반선의 주요치수가 명시되어 있다. 그 결과는 앞서 언급한 일본 국토교통부에서 규정하고 있는 선박의 주요치수와 동일한데, 이는 일본의 규정이 동 보고서를 바탕으로 규정화된 것으로 판단된다.

2) 스페인

스페인의 경우 스페인 정부 산하 항만국(Puertos del Estado)에서 해상공사의 안전성 평가를 향상시킬 목적으로 ‘해상공사에 관한 권고사항(Recommendations for Maritime Works, 이하 “ROM”)'을 규정하고 있다. 관련 권고사항에 명시되어 있는 액화가스운반선의 주요치수는 Table 3과 같다.

우리나라 및 일본과는 다르게 LNG 운반선을 Prismatic과 Spheres로 분류하고 있다.

Table 3. Typical ship dimensions from ROM

DWT (t)	CBM (m ³)	LOA (m)	Lpp (m)	Beam (m)	Draught (m)
LNG Carriers(Prismatic)					
27,000	40,000	207.8	196.0	29.3	9.2
25,000	58,000	247.3	231.0	34.8	9.5
80,000	100,000	280.0	268.8	43.4	11.4
90,000	120,000	298.0	285.0	46.0	11.8
97,000	141,000	315.0	303.0	50.0	12.0
125,000	175,000	345.0	333.0	55.0	12.0
LNG Carriers(Spheres, Moss)					
51,000	71,000	249.5	237.0	40.0	10.6
58,000	99,000	274.0	262.0	42.0	11.3
75,000	117,000	288.0	274.0	49.0	11.5
LPG Carriers					
3,000	5,500	116.0	110.0	13.3	7.0
5,000	8,800	134.0	126.0	16.0	8.1
10,000	17,000	160.0	152.0	21.1	9.3
20,000	33,000	207.0	197.0	26.8	10.6
30,000	49,000	226.0	216.0	32.4	11.2
40,000	65,000	240.0	230.0	35.2	12.3
50,000	80,000	248.0	238.0	39.0	12.9
60,000	95,000	265.0	245.0	42.2	13.5

3) PIANC

PIANC(Permanent International Association of Navigation Congress, 이하 “PIANC”)는 국제항로협회로서 초기에는 내륙수운 및 내륙항을 대상으로 한 국제회의였으나 해양, 항만까지 대상을 확대하면서 국제수상교통시설협회로 명칭이 변경되었다. 현재 유엔의 자문기관으로 국제적인 항만기술이나 환경기준 제정을 주도하고 기술적인 가이드라인이나 지침을 제공하고 있다. 이러한 PIANC에서 제정한 규정에 명시되어 있는 액화가스운반선의 주요치수는 Table 4와 같다.

PIANC rule에서는 대형 LNG 운반선에 대해서만 별도로 주요치수를 명시하고 있고, 부록에 다른 국가들의 규정을 명시하고 있다.

규정에 명시되어 있는 QFlex(21.8만 CBM)와 QMax(26.7만 CBM)급 선박은 QFlex의 경우 배수량이 대략 14만 그리고 QMax의 경우는 대략 17만톤에 이른다.

Table 4. Ship dimensions and classifications on PIANC

LNG Carriers					
Classification	Displacement(t)	Capacity (CBM(m ³))	LOA (m)	Beam (m)	Draught (m)
Spherical	107,000	145,000	283.0	42.7	12.0
QFlex	141,000	218,000	315.0	50.0	12.0
QMax	175,000	267,000	345.0	55.0	12.0

3. 항설 상 액화가스운반선에 대한 주요치수 기준에 대한 문제점

3.1 LNG 운반선의 물동량 증가에 따른 대형화(Jin et al., 2013)

LNG의 전 세계적인 수요 증대에 따라 LNG의 운송을 위한 LNG 운반선의 선대 확대가 이루어지고 있다. 최근 언론에 카타르의 대규모 LNG 사업과 관련하여 LNG 운반선을 100여척 건조하기 위한 발주를 했다는 보도가 있었는데 (www.hani.co.kr, 2020.6), 이는 LNG 운반선 선대 확대를 뒷받침하는 증거 중에 하나라고 사료된다.

LNG 운반선은 선대 확대와 더불어 대형화도 이루어지고 있는 상황이다. 2000년대 초만까지 LNG운송이 이루어진 이래 거의 40년 가까이 LNG 운반선의 주력 선대이면서 최대 선형은 12.5만 CBM급 운반선으로 총톤수(GT)로는 10만톤급 선박이었다. 이러한 결과를 반영하여 우리나라의 항설에는 LNG 운반선의 주요치수를 총톤수 기준으로 2만톤에서 최대 10만톤까지 분류하고 있다.

하지만, 2000년 중후반 이후 LNG 운반선의 대형화가 추진되고 일명 QFlex(21.8만 CBM)와 QMax(26.7만 CBM)급의 선박들이 건조가 되었다. 현재 새로 건조 및 발주되고 있는 LNG 운반선들의 대다수도 이러한 초대형 LNG 운반선이 주를 이루고 있다. 그럼에도 불구하고 항설에는 이러한 초대형 LNG 운반선에 대한 주요치수가 반영되어 있지 않다.

우리나라와 동일한 기준을 제시하고 있는 일본의 규정도 동일한 문제점을 안고 있는데, PIANC 및 일부 국가에서는 이러한 초대형 LNG 운반선의 현황을 반영하고 있기도 하다.

3.2 LNG 운반선의 화물창 방식

LNG의 해상 운송이 이루어진 이래로 최근의 초대형 LNG 운반선이 건조되기 전까지 LNG 운반선의 화물탱크는 크게 Prismatic 방식과 Spherical 방식으로 나뉘어 건조가 지속적으로 이루어졌다. 그러나 선체 구조 특성상 Spherical 방식을 통한 LNG 운반선의 대형화 한계에 봉착을 하면서 최근에 건조되는 초대형 LNG 운반선은 거의 모두 Prismatic 방식의 화물탱크를 채택(Park, 2019)하고 있다.

물론, Spherical 방식 화물탱크를 채택한 LNG 운반선도 나름 대형화를 하려고 노력을 하였다. 최근에 가장 큰 Spherical 방식 LNG 운반선으로 2018년에 총톤수 14.5만톤(18.3만 CBM)이 건조된 바가 있으나 이후 더 큰 Spherical 방식의 LNG 운반선은 건조되고 있지 않다.

최근의 초대형 LNG 운반선이 건조되기 이전까지는 Spherical 방식 LNG 운반선의 건조가 이어져 왔으나, 현재는 그 수가 급격히 줄어든 상황이다.

Prismatic 방식과 Spherical 방식의 LNG 운반선들은 외관상 큰 차이점이 있다. 그 결과 선박의 주요치수를 총톤수 기준으로 분류한다는 측면에서 그 차이가 너무 크기 때문에 일률적인 총톤수 기준으로 두 방식의 LNG 운반선의 주요치수를 적용한다는 것은 문제가 많다고 판단된다. 단편적인 예로 총톤수 11.5만톤급 Prismatic LNG 운반선의 경우는 DWT가 약 10만톤, LOA가 약 288미터에 만재흘수가 약 12.4미터인 반면, 유사한 총톤수의 Spherical LNG 운반선의 경우는 DWT가 약 7.8만톤, LOA가 약 289미터에 만재흘수는 12.02미터로 주요치수에 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

이러한 연유로 LNG 운반선의 경우 외국의 일부 규정에는 Prismatic 방식과 Spherical 방식의 LNG 운반선으로 구분하여 주요치수를 제시하고 있기도 하다.

3.3 LPG 운반선의 선형 변화

LNG 운반선의 경우는 화물탱크의 형태는 다소 다르지만 운송 방식이 모두 냉각식인 반면, LPG 운반선의 경우는 화물 운송 방식이 크게 압력식과 냉각식으로 나뉘진다. 이러한 운송 방식에 따라 화물탱크도 다른 형태를 띠게 된다. 통상 LPG 운반선의 경우 소형선의 경우는 압력식, 대형선의 경우는 냉각식으로 화물을 운송하는 것이 일반적인데, LPG 또한 그 수요가 증가하면서 LPG 운반선의 선대 확대, 선형 변화 및 대형화도 이루어지고 있다.

대형 LPG 운반선을 VLGC(Very Large Gas Carrier)로 부르고 있는데 이는 LPG 운반선의 대형화를 대변하는 한 예라고 할 수 있고, 점점 더 대형 LPG 운반선들의 건조와 운항이 증가하고 있는 상황이다.

우리나라 항설에 제시되어 있는 LPG 운반선의 최대 선형

은 총톤수가 5만톤이다. 현재 건조되어 운항하고 있는 최대 선형의 LPG 전용 운반선도 총톤수가 약 5만톤이기 때문에 현재의 규정으로 수용가능하다. 하지만, 액화 에탄을 운송할 수 있는 선박으로 LPG도 운송이 가능한 선박이 총톤수 약 5.8만으로 다수의 선박이 건조되어 운항하고 있다. 이러한 선박도 LPG를 싣고 항만에 입항할 개연성이 있기 때문에 필요에 따라서는 항설의 최대 LPG 선형에 반영하는 것을 고려해야 한다.

이러한 대형화와는 별개로 LPG 운반선의 경우는 동일한 크기(총톤수 분류 기준)의 선박임에도 불구하고 과거와 현재 건조 운항하고 있는 주력 선박들의 선형 변화 즉, 주요치수에 많은 변화가 이루어졌는데도 불구하고 현재의 항설에는 이러한 선형변화를 반영하지 못하고 있다. 단편적인 예로, 항설에서 제시하고 있는 총톤수 5만톤급의 LPG 운반의 주요치수를 살펴보면, LOA는 240미터, 선평은 36미터 그리고 만재흘수는 14미터이다. 그런데, 조사되어진 대다수의 총톤수 약 5만톤급의 대형 LPG 운반선의 주요치수는 LOA가 약 225~230미터, 선평은 36~37.2 그리고 만재흘수는 11.2~12.55미터로 항설과 LOA 및 만재흘수 등의 주요치수에 상당히 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

3.4 액화가스운반선의 총톤수와 재화중량톤수 관계식

국내 여러 항만에서 특히, 무역항에서의 부두의 이용선박 규모는 일부 항만의 일부 선석을 제외하고는 거의 총톤수(GT) 또는 재화중량톤수(DWT)으로 분류되어 있다. 유조선이나 액화가스운반선 부두는 대다수가 이용규모를 재화중량톤수로 구분 짓고 있다. 더불어, 전국항만기본계획 수립 시 유류화물이나 액화가스 부두의 규모도 재화중량톤수(DWT)로 명시되는 경우가 많다.

그러나 항설에 표기되어 있는 액화가스운반선의 주요치수 구분 기준은 총톤수로 되었다. 물론, 항설에는 총톤수와 재화중량톤수의 상관관계에 적용할 수 있도록 관계식을 제시하고 있지만, 액화가스운반선도 총톤수 기준보다는 재화중량톤수 기준을 많이 사용한다는 측면에서 관계식을 통한 변환에 다소 번거로움이 있다. 향후, 액화가스운반선의 주요치수 구분 기준이 조금 더 많은 영역에서 재화중량톤수로 이루어진다면 분류 기준을 변경할 필요성이 있을 것으로 사료된다. 더불어 3.2에서와 같이 LNG 운반선의 경우 선형에 있어 큰 차이가 있는 Prismatic 및 Spherical 방식의 LNG 운반선이 있는데 이들 모두에게 동일한 관계식을 적용한다는 것은 문제가 있다. 제시되어 있는 관계식 또한 현재의 선형 변화가 반영되어 있지 않다.

항설에 제시된 총톤수와 재화중량톤수의 관계식은 다음 식(1) 및 (2)와 같다.

$$\text{LNG선 GT} = 1.370\text{DWT} \tag{1}$$

$$\text{LPG선 GT} = 0.845\text{DWT} \tag{2}$$

여기서, GT : 총톤수

DWT : 재화중량톤수

상기 관계식을 바탕으로 현재 국적선사가 운영하고 있는 Prismatic 방식 및 Spherical 방식 LNG 운반선의 값을 도출하여 실제 값과 어느 정도의 차이가 발생하는지를 확인하였다. 실제 값은 화물저장탱크의 용적(CBM(m³))에 따른 대분류에 각각의 화물저장탱크 용적에 해당되는 선박들의 평균치이며, 그 결과를 살펴보면 Table 5와 같다.

일반적으로 LNG 운반선은 통상 건조 시에 총톤수가 유사한 선박은 다른 선종과 다르게 거의 구조가 유사하게 건조가 이루어지는 관계로 현재 국적선사가 운영하고 있는 선박과 외국선사가 운영하고 있는 선박과는 차이가 크지 않다.

Table 5. Difference between formula's DWT and actual one

LNG Carriers					
Classification	CBM (m ³)	GT(t)	DWT from Formula	Actual DWT(t)	Difference(t)
Prismatic	138K	93,494	68,244	75,418	(-)7,174
	180K	119,599	87,299	96,083	(-)8,784
Spherical	125K	103,764	75,740	71,684	(+)4,056
	135K	113,998	83,210	77,513	(+)5,697

3.5 선석의 치수 결정을 위한 대상선박

선석의 치수를 결정하는데 있어 가장 중요한 요소가 대상선박을 정하는 것이다. 이러한 점을 고려하여 항설에도 대상선박의 선형이나 크기에 따라 선석의 주요 제원(선석의 길이 및 선석의 수심)을 제시하고 있다.

항설에서 선석의 제원을 제시하기 위해 분류한 선형은 화물선, 컨테이너선, 페리(Ferry), Roll-on, Roll-off선, 여객선, 자동차 운반선 및 유조선으로 총 7가지 선형과 소형선이다. 이러한 분류에 액화가스의 수요 증대에 따른 액화가스 부두나 선석이 증가하고 있는 상황을 반영하여 액화가스운반선에 필요한 선석 제원이 제시되어야 함에도 불구하고 그렇지 못하고 있다.

4. 액화가스운반선 주요치수 개정안

전세적인 액화가스에 대한 수요 증가에 따라 이를 운송하기 위한 선박들의 선복량이 상당히 증가하고 있고, 액화가스운반선의 선형변화 및 대형화도 이루어지고 있다. 본 논문에서는 국내외에 운항하고 있는 액화가스운반선의 현황 및 규정 개정의 필요성을 파악한 후 액화가스운반선의 주요치수를 도출하였다.

다만, 앞서 언급되었던, 국내외 액화가스운반선들의 분류 기준이 상이하어 본 연구에서는 우리나라와 일본의 분류 기준인 총톤수(GT)를 바탕으로 주요치수를 정리하였고, 총톤수와 재화중량과의 상관관계식도 조사된 자료를 바탕으로 새로이 도출하였다.

항만을 건설하거나 선박의 계류안전성평가 등을 함에 있어 대상선박이 결정되어야 한다. 이를 바탕으로 항만 시설 기준이 수립이 되고, 안전성 평가가 이루어지기 때문이다. 가능한 대상선박의 주요치수가 실질적으로 운항하고 있는 선박들의 값과 유사하여야 할 것이다.

우리나라와 일본의 경우는 선박의 주요치수 도출을 선박의 현황 파악을 통하여 수집된 자료를 바탕으로 로그회귀분석(Logarithmic Regression Analysis), 평균값분석(Average Value Analysis) 및 선형회귀분석(Linear Regression Analysis) 방식을 통하여 값을 도출(각기의 톤수에 대한 커버율은 75%임)하였고, PIANC는 최대치 값을 채택하고 하다.

PIANC와 같이 최대 선형의 값을 취하는 것은 안전성 확보 측면에서는 좋을지 모르겠으나 너무 과도한 값이 설정됨으로 인하여 불필요한 항만 건설비용의 증대가 발생할 수 있기에 우리나라와 일본의 분석방식을 통하여 수치를 도출하였다. 이는 이용자 측면에서도 개정된 자료를 활용하는데 혼란을 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

4.1 LNG 운반선

1) LNG 운반선 주요치수 개정 필요성

LNG 운반선의 변화를 간단히 살펴보면, 첫 번째 운반선의 대형화를 들 수 있다. LNG 운송이 처음 시작되었던 1960년에서 1975년까지는 7.5만 CBM이 가장 크고, 주력 선대였으나 이후 LNG 수용 증대에 따라 선박이 대형화되었다. 2007년까지 거의 40년 넘게 12.5만 CBM급 선박이 가장 크고, 주력 선대를 이루었다. 하지만 2007년을 기점으로 전 세계적 인 LNG 수요 급증에 따라 LNG 운반선의 대형화를 동반하게 되었다. 그에 따라 일명 Q-Flex(21만 CBM)와 Q-Max(26.6만 CBM)의 초대형 LNG 운반선이 건조되어 운항을 하고 있으며, 점차 그 수가 증가하고 있다(peter, 2009).

두 번째 변화는 선형 변화라 할 수 있는데, 화물을 싣는 화물창(화물탱크)의 형태 변화와 더불어 LNG 수입 및 수출지의 다변화로 인하여 추운 지역에서의 LNG 수출입도 이루어지고 있다. 이러한 상황에 발맞춰 LNG 운반선도 ICE CLASS(쇄빙)가 적용된 형태의 선박들도 건조가 이루어지고 있다.

세 번째로, LNG 운반선의 추진체계의 변화도 가장 큰 변화 중에 하나이다. LNG 운반선은 LNG를 운송하는 과정에서 자연 증발이 이루어진다. 이러한 자연 증발된 천연가스(Vapour)는 화물의 일부이기 때문에 이를 재액화(Reliquefaction)하여 다시 화물탱크로 돌려보내는 것이 맞다. 하지만 증발가스를 재액화하는 장치의 설치를 포함한 그 과정이 복잡하고 비용이 과대하게 발생하여 부득이 재액화를 하지 않고 증발가스를 선박의 연료로 사용할 수 있도록 선박의 추진체계를 Turbine 기관으로 채택하게 되었다. 이 때 선박 연료로 사용되는 증발가스를 Boil-Off Gas(일명 BOG)라고 한다. 이후, 기술 개발 및 설비 구축 단가 절약 등이 이루어지면서 일부 LNG 운반선에 증발가스를 재액화할 수 있는 재액화 장치를 설비함으로 인하여 더 이상 증발가스를 선박연료로 사용할 필요가 없게 되었다. 해당 선박은 연료 효율이 떨어지는 Turbine 기관이 아닌 Diesel 기관으로 추진체계를 바꿔 건조가 이루어졌다. Diesel 기관은 Bunker-C를 선박연료로 사용하는 기관이다. 하지만 이 또한 선박 추진체계의 지속적인 개발이 이루어지면서 최근에는 Diesel 기관이면서 Bunker-C와 더불어 화물의 증발가스도 연료로 사용할 수 있는 Dual Fuel Diesel 기관으로 진화하여 선박들이 건조 및 운항하고 있다.

마지막으로, LNG의 수요는 전 세계적으로 증가하고 있다. 그 중에 최근 환경 문제로 인하여 선박에서 사용하고 있는 선박 연료에 대한 규제가 강화되면서 선박 연료로 친환경 에너지인 LNG의 수요 급증에 따라 해상에서의 LNG 연료의 급유를 위한 LNG-Bunkering용 소형 선박들의 건조가 다수 이루어지고 있다. 더불어 LNG의 국내 수요 다변화와 지역 확대에 따른 연안 LNG 수송의 증가에 따라 연안 소용용 소형 LNG 운반선의 건조 또한 증가하고 있는 상황이다.

2) LNG 운반선 주요치수

앞서 언급한 바와 같이 LNG 운반선은 여러 상황 변화에 따라 선형을 포함한 여러 가지 요소 등에 있어 많은 변화가 이루어졌다. 여기에서는 전 세계적으로 현재 운항하고 있거나 건조 계획을 갖고 있는 LNG 운반선들의 현황을 파악하여 LNG 운반선들의 주요치수를 도출하고자 한다.

우선, 국내외적으로 선사가 운영하고 있는 LNG 운반선, 설계사가 건조 설계한 LNG 운반선 및 조선소에서 건조했던

164척의 LNG 운반선들의 현황을 분석하였다. 이를 바탕으로 LNG 운반선의 주요치수인 LOA, Lpp, B 및 만재홀수 등에 대한 수치를 도출하여, 선박의 크기별(GT)로 분류하였고, 그 결과는 Table 6과 같다.

주요치수는 앞서 언급한 바와 같이 우리나라와 일본에서 주요치수를 도출하기 위하여 통계자료로 회귀분석을 통하여 커버율을 75% 적용한 것과 동일하게 수행하여 도출하였으며, Fig. 1 및 Fig. 2는 그 결과 중에 총톤수(GT) 대비 선폭(B)에 대한 선형이다.

Table 6. LNGC(Prismatic) dimensions according to the GT

LNG Carriers (Prismatic)				
GT(t)	LOA(m)	Lpp(m)	B(m)	d(m)
5,000	107	99	16.6	5.9
10,000	131	123	19.5	7.5
20,000	167	157	24.3	9.0
30,000	194	183	28.3	9.9
50,000	232	220	34.5	10.9
70,000	260	247	39.4	11.7
100,000	291	277	45.1	12.0
120,000	307	293	48.2	12.5
140,000	321	306	50.9	12.5
170,000	345	329	54.5	12.5

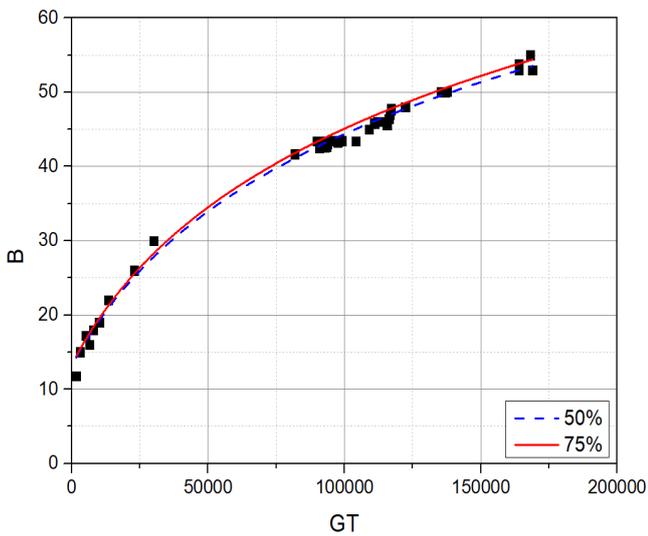


Fig. 1. Logarithmic regression analysis between B and GT of LNGC (Prismatic).

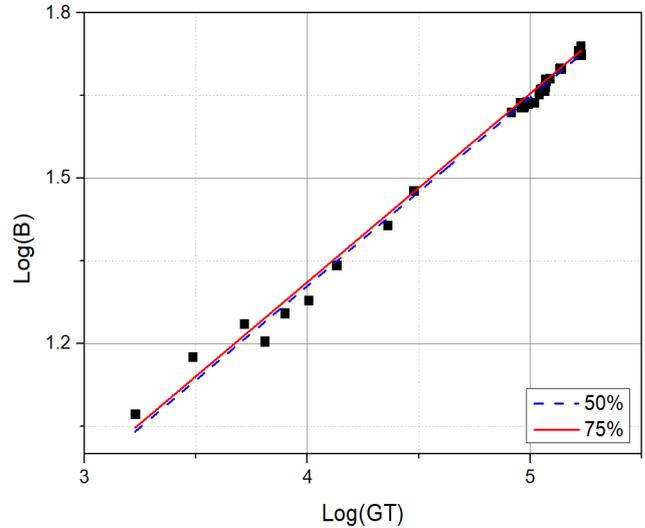


Fig. 2. Linear regression analysis between Log (B) and Log (GT) of LNGC (Prismatic).

다만, LNG 운반선 중에 Spherical 방식의 선박은 최근에 건조 및 운항 실적이 급격히 감소하여 조사된 자료를 바탕으로 유의미한 결과를 도출할 수 없었다. 실질적으로 운항하고 있는 선박 또한 그 크기가 몇 가지로 제한적이며, Prismatic 방식의 선박과 달리 선형의 변화가 거의 이루어지지 않았다. 이러한 점들을 고려하여 앞서 제시한 외국의 사례(ROM)를 Spherical 방식 선박의 주요치수 기준으로 그대로 수용하였고, 그 결과는 Table 7과 같다. 향후 좀 더 데이터가 축적되어 유의미한 결과가 도출된다면 제시된 기준과 비교하여 개정의 필요성 여부를 판단하고자 한다.

Table 7. LNGC (Spheres) dimensions according to the DWT

LNG Carriers (Spheres, Moss)					
DWT(t)	CBM (m ³)	LOA(m)	Lpp(m)	B(m)	d(m)
51,000	71,000	249.5	237.0	40.0	10.6
58,000	99,000	274.0	262.0	42.0	11.3
75,000	117,000	288.0	274.0	49.0	11.5

3) LNG 운반선의 총톤수와 재화중량톤수 관계

항설에는 LNG 운반선의 총톤수와 재화중량톤수의 관계식을 제시하고 있다. 앞서 언급한 바와 같이 실질적으로 운항하고 있는 선박들에 적용했을 경우 그 오차가 너무 크기 때문에 이에 대한 관계식도 조사된 자료를 바탕으로 새로이 도출하였고, 그 결과는 Fig. 3, Table 8 및 식(3)과 같다.

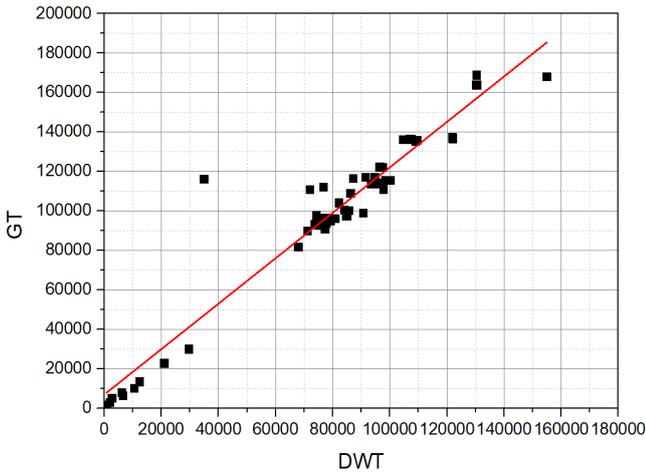


Fig. 3. Linear regression analysis between DWT and GT of LNGC (Prismatic).

Table 8. The statistics between DWT and GT

LNG Carriers (Spheres, Moss)	
Adj.R ²	Standard deviation
0.915	11,961

$$\text{LNG선 GT} = 1.1517\text{DWT} \quad (3)$$

여기서, GT : 총톤수
DWT : 재화중량톤수

명시된 관계식은 Prismatic 방식의 LNG 운반선에만 적용을 하여야 하고, Spherical 방식의 LNG 운반선에는 적용할 수 없다. Spherical 방식의 LNG 운반선은 앞서 언급한 바와 같이 선박 치수에 있어 유의미한 결과를 도출할 수 없었기 때문이다. 다만, ROM의 규정이 DWT기준으로 제시가 되어 있다는 점을 고려할 필요가 있다.

4.2 LPG 운반선

1) LPG 운반선 주요치수 개정 필요성

LPG 운반선의 경우는 LNG 운반선과는 달리 추진체계 등에 있어서는 큰 변화가 이루어지지 않았지만, 선형에 있어서는 많은 변화가 이루어졌다.

LPG의 소요 급증에 따른 LPG 소송의 필요성이 대두되면서 LPG 운반선도 대형화되었지만 항만의 접근성이나 입출항 안전 등을 고려하여 만재할수는 가능한 줄일 수 있는 형태로 선박이 건조되어 운항하고 있다.

LPG 운반선은 냉각식과 압력식으로 분류할 수 있다. 소형선은 압력식, 대형선은 냉각식을 채택하는 것이 일반적이고

이러한 형태는 현재에도 큰 변화 없이 유지되고 있다.

2) LPG 운반선 주요치수

LPG 운반선의 경우도 전 세계적으로 현재 운항하고 있거나 건조 계획을 갖고 있는 LPG 운반선들의 현황을 파악하여 LPG 운반선들의 주요치수를 도출하고자 한다.

국내외적으로 선사가 운영하고 있는 LPG 운반선, 설계사가 건조 설계한 LPG 운반선 및 조선소에서 건조했던 229척의 LPG 운반선들의 현황을 분석하였다. 이를 바탕으로 LPG 운반선의 주요치수인 LOA, Lpp, B 및 만재할수 등에 대한 수치를 도출하여, 선박의 크기별(GT)로 분류하였고, 그 결과는 Table 9와 같다.

주요치수는 우리나라와 일본에서 주요치수를 도출하기 위하여 통계자료로 회귀분석을 통하여 커버율을 75% 적용한 것과 동일하게 수행하여 도출하였으며, Fig. 4 및 Fig. 5는 그 결과 중에 총톤수(GT) 대비 LOA에 대한 선형이다.

Table 9. LPGC dimensions according to the GT

LPG Carriers				
GT(t)	LOA(m)	Lpp(m)	B(m)	d(m)
3,000	95	89	15.5	6.0
5,000	109	102	17.3	7.1
10,000	136	127	21.3	8.8
20,000	174	164	27.2	10.6
30,000	201	190	31.8	11.6
40,000	221	210	35.4	12.3
50,000	238	226	38.4	12.9
60,000	252	240	41.0	13.4

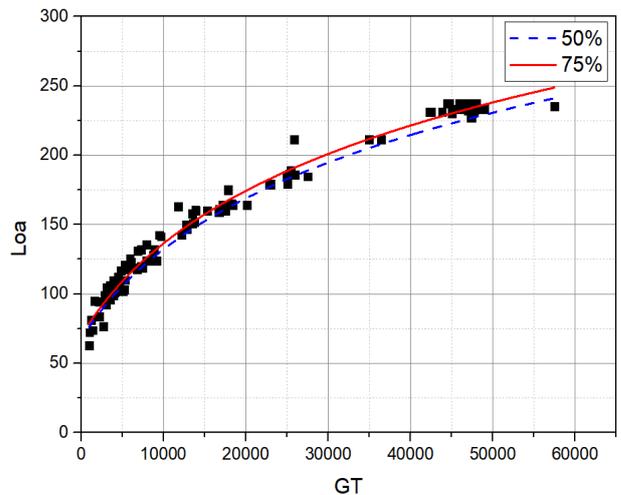


Fig. 4. Logarithmic regression analysis between LOA and GT of LPGC.

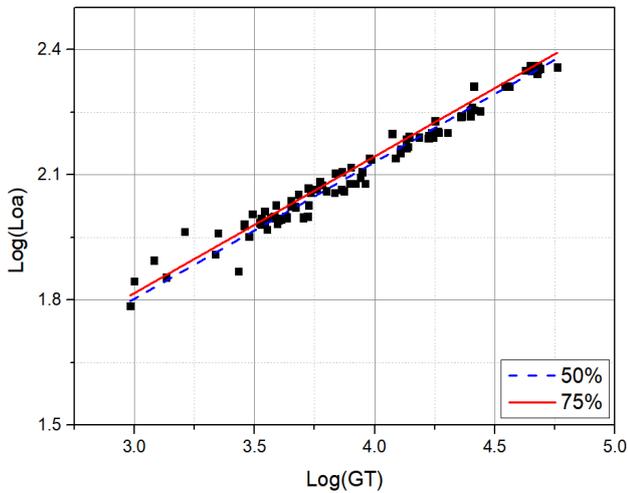


Fig. 5. Linear regression analysis between Log (LOA) and Log (GT) of LPGC.

3) LPG 운반선의 총톤수와 재화중량톤수 관계

항설에는 LPG 운반선의 총톤수와 재화중량톤수의 관계식을 제시하고 있다. LPG 운반선의 경우도 실질적으로 운항하고 있는 선박들에 적용했을 경우 그 오차가 너무 크기 때문에 이에 대한 관계식도 조사된 자료를 바탕으로 새로이 도출하였고, 그 결과는 Fig. 6, Table 10 및 식(4)와 같다.

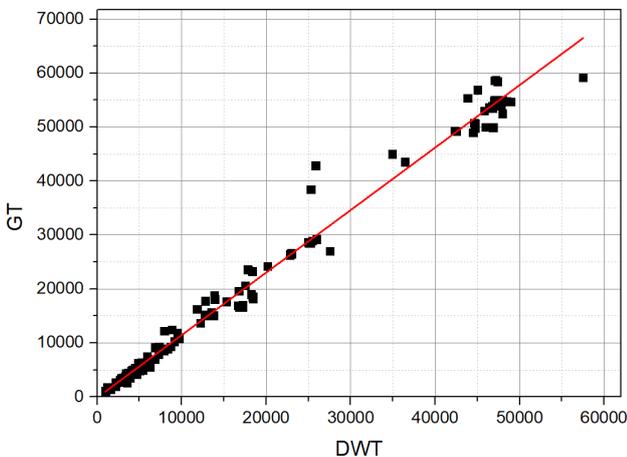


Fig. 6. Linear regression analysis between DWT and GT of LPGC.

Table 11. The statistics between DWT and GT

LPG Carriers	
Adj.R ²	Standard deviation
0.991	1,716

$$\text{LPG선 GT} = 0.8552\text{DWT} \tag{4}$$

여기서, GT : 총톤수

DWT : 재화중량톤수

5. 결론

선석의 제원이나 규모를 결정하는데 있어 가장 중요한 요소 중에 하나가 대상선박의 결정이다. 이러한 점을 고려하여 국내외적으로 자체 규정을 마련하여 선석 제원을 결정하기 위한 대상선박의 주요치수를 제시하고 있다.

여러 요인으로 인한 국내외적인 액화가스의 수요 증가에 따른 액화가스운반선의 선대 증가와 더불어 이를 수용할 부두의 건설도 증가하고 있는 가운데 새로이 신설하고자 하는 액화가스운반선 전용부두의 선석 제원을 결정하기 위한 액화가스운반선의 주요치수를 확인하는 과정에서 국내외에 규정되어 있는 액화가스운반선의 주요치수가 상이하다는 점이 발견되었다.

더불어, 국내에 액화가스운반선 부두가 여러 곳에 신설될 예정임에 따라 국내 관련 규정인 ‘항만 및 어항 설계 기준 및 해설(2017)’에 규정되어 있는 액화가스운반선의 주요치수를 검토하는 과정에서 다음과 같은 문제점들이 발견되었다.

- (1) 전 세계적인 여러 환경 변화에 따라 국내의 LNG 수요량 증대가 이루어지고 있고, 그에 따라 이를 수용할 LNG 운반선의 선대 확대 및 대형화가 이루어지고 있음에도 이를 반영하고 있지 않다.
- (2) 선박의 형태가 상당히 상이한 Prismatic 및 Spherical 방식의 화물탱크를 설비하고 있는 LNG 운반선이 운항을 하고 있음에도 이를 반영하지 못하고, LNG 운반선 하나로만 명시되어 있다.
- (3) LPG 운반선의 경우 LPG의 수요 증대에 따라 운반선의 대형화는 물론이거니와 선형 변화도 상당히 이루어졌는데, 항설에 제시되어 있는 LPG 운반선의 주요치수가 현재 실질적으로 운항하고 있는 LPG 운반선의 선형 변화를 반영하고 있지 않다.
- (4) 항설에 제시되어 있는 액화가스운반선의 총톤수와 재화중량톤수 상관관계에 적용할 수 있는 관계식이 현재의 선형 변화를 반영하고 있지 않다.
- (5) 선석의 치수 결정을 위한 대상선박의 주요 제원을 규정하고 있는데, 규정되어 있는 대상선박의 종류에 액화가스운반선은 명시되어 있지 않다.

이에 항설에 명시되어 있는 대상선박이 주요치수에 대한 상기의 문제점을 개선하고자 우리나라 및 일본의 규정이 대

상선박의 주요치수를 도출하는데 사용한 회귀분석법을 검토하였다. 그 동안 관련 규정이 상당시간 활용되어 왔다는 측면에서 그 신뢰성은 검증이 된 것으로 판단되어 주요치수를 도출하기 위한 분석법은 기존의 방식을 그대로 적용을 하되, 현재 운항하고 있는 액화가스운반선들의 현황을 반영하여 다음과 같이 개선점이 반영된 액화가스운반선의 주요치수 개정안을 제안하였다.

- (1) LNG 운반선의 선형 변화와 대형화에 따른 선박의 주요치수
- (2) LNG 운반선의 경우 Prismatic 및 Spherical 화물탱크 방식으로 구분
- (3) LPG 운반선의 경우도 대형화 및 선형 변화에 따른 선박의 주요치수
- (4) 선석의 치수 결정을 위한 대상선박의 구분 기준을 총톤수와 더불어 재화중량톤수로도 구분하기 위해 총톤수와 재화중량 관계식

제시된 액화가스운반선 주요치수에 대한 개정안은 현재 운항하고 있는 액화가스운반선의 현황을 반영한 것으로 현재 건설 중인 그리고 향후 건설 예정인 액화가스운반선 전용부두에 적용시킴으로써 자칫 사업자, 부두설계사 및 부두 인허가와 관리 감독을 하는 관리청 등의 이해 당사자 간의 부두 건설에 관련된 규정 적용에 있어 발생할 수 있는 이견을 줄일 수 있고, 불필요한 부두 건설비용 증가도 막을 수 있을 것으로 기대된다.

후속 연구로 Spherical 방식의 LNG 운반선에 대한 자료 취합 및 보강을 통하여 개정안을, 그리고 다른 선종의 주요치수도 검증을 통하여 필요하다면 개정안을 제안하고자 한다.

References

- [1] Cheong H. Y. and H. J. Park(2018), Forecasting the Daily Demand of Natural Gas for Power Generation. Bulletin Korea Photovoltaic Soc., 4(2), pp. 45-53.
- [2] Choi, D. K.(2019), A Study on the Activating Ways and Current Statues of LPG for Domestic Transport, Graduate University of Korea University, pp. 1-2.
- [3] IEA(2017), World Energy Outlook 2017, Paris: IEA Publications.
- [4] Jin, K. K., B. T. Oh, Y. K. Kim, I. S. Yoon, and Y. C. Yang(2013), An Assessment of Structure Safety for Basic Insulation Panel of KC-1 LNG Cargo Containment system under Sloshing Load, Journal of the Korean Institute of Gas Vol. 17, No. 2, p. 86.
- [5] Kim, J. H. and Y. K. Kim(2015), A Study on the Estimation of the Effects of Overseas' Oil and Gas Development by Domestic Industrial Groups, Korea Economic and Business Association, Vol. 33, No. 2, pp. 61-62.
- [6] Kim, T. Y.(2014), Changes and Prospects of Petroleum Gas in the World Market, The Korea Society for Marine Environment & Energy Conference, pp. 9-23.
- [7] Lee, D. G., S. K. Lee, Y. J. Lee, and H. S. Kim(2016), An Analysis of the Liquefied Petroleum Gas Usage and Risk Factor in the Camp Site, Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 20, No. 6, pp. 89-90.
- [8] Lee, S. L., J. W. Lee, and G. W. Kim(2019), Forecasting the Medium Term Demand of LNG for Power Generation under the Energy Transition Policy in South Korea, Journal of Climate Change Research, Vol. 10, No.1, pp. 47-48.
- [9] Park, Y. S.(2019), A Study on the Current Status of LNG Ship Localization and Countermeasure, KDB monthly survey report, No. 768, p. 82.
- [10] Takahashi, H., A. Goto and M. Abe(2006), Study on Standards for Main Dimentions of the Design Ship, Technical Note of National Institute for Land and Infrastructure Management, No. 309.
- [11] Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan(2007), Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT), Japan.
- [12] The Port and Fishing Port Design Standards and Commentary (2017), Ministry of Oceans and Fisheries.
- [13] www.hani.co.kr(2020), Three Shipbuilders Won Orders for Qatar LNG Carriers 'More than 100 Ships' Worth up to 23 Trillion Won, 2020.6.

Received : 2020. 08. 14.

Revised : 2020. 10. 05. (1st)

: 2020. 10. 30. (2nd)

Accepted : 2020. 12. 28.