

기술정보

## 액화천연가스 운반선(LNGC)의 발전 추세

이 동 섭\*

\* 한국해양수산연수원

### A Developing Tendency of Liquefied Natural Gas Carriers

Dong-Sup Lee\*

\* Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan 608-080, Republic. of Korea

**요 약** : LNGC(Liquefied Natural Gas Carrier)의 역사는 1959년 5,000 m<sup>3</sup> 급 LNG선 "Methane Pioneer"호를 시작으로 1969년에는 71,500 m<sup>3</sup> 급, 1973년에는 Moss Type의 최초 LNG운반선 "Norman Lady(87,600 m<sup>3</sup>)호, 1980년대 125,000 m<sup>3</sup> 급을 시작으로 1990년대를 거쳐 135,000 m<sup>3</sup> 급, 2007년 210,000 m<sup>3</sup> 급 그리고 2008년에는 266,000 m<sup>3</sup> 급의 초대형 액화천연가스 운반선이 출현하였다. 또한 2006년 11월에는 기존 내·외연 기관이 아닌 발전기 기동으로 Propeller를 움직이는 DFDE(Dual Fuel Diesel Electric)엔진, 육상의 Storage Tank를 생략한 기화설비를 갖춘 LNG-RV(Re-gasification Vessel)와 주 기관은 Slow Diesel을 택하고, 운항 중 발생하는 BOG(Boil Off Gas)를 재액화시키는 설비를 갖춘 DRL(Diesel Re-Liquefaction)선박 및 해상 LNG 생산·저장시설인 LNG-FPSO(Floating Production and Storage Offshore), 그리고 해상 LNG 인수기지 역할을 하는 LNG-FSRU(Floating Storage and Re-gasification Unit) 등이 개발되었다. 이 논문에서는 LNG Project, 전 세계 에너지 시장과 LNGC의 발전 추세에 대하여 다루었다.

**핵심용어** : LNGC(액화천연가스 운반선), DFDE(이중 연료 및 전기구동 엔진), RV(기화설비 탑재 선박), DRL(저속 디젤 및 재액화 탑재 선박), BOG(운항 중 발생하는 가스), LNG-FPSO(해상 LNG 저장시설), LNG-FSRU(해상 LNG 인수기지)

**Abstract** : Recently, the construction of Liquefied Natural Gas Carriers(LNGC) is being promoted larger and larger depending on long voyage. In 1950 years, 5,000 m<sup>3</sup> class of LNGC had been changed to 71,500 m<sup>3</sup> class in 1973. and to 210,000 - 266,000 m<sup>3</sup> class in 2007. Especially, the system of main engines and cargo control, Re-liquefaction of natural gases have become possible in LNGC. This research deals with the LNG projects, world markets of energy and developing tendency of liquefied natural gas carriers.

**Key Words** : LNGC(Liquefied Natural Gas Carrier), DFDE(Dual Fuel Diesel Electric), RV(Re-gasification Vessel), DRL(Diesel Re-Liquefaction), BOG(Boil Off Gas), FPSO(Floating Production Storage Offshore), LNG-FSRU(Floating Storage and Re-gasification Unit)

## 1. 서 론

### 1.1 전 세계 LNG 생산과 수급

#### 1) 전 세계 에너지 매장량

2007년 천연가스의 매장량은 약 180조(m<sup>3</sup>)로 석유의 매장량의 약 80%를 차지하고 있고, 천연가스의 발견 가능성은 더욱 높아지고 있다. 또한 2000년대 말에는 석유 매장량을 증가 할 것으로 보인다(Lee, 2007).

그동안 모든 조사나 시추는 목적이 대부분 석유였고 천연가스는 이에 따른 부수적인 결과에 불과 했다.

그러나 앞으로는 이러한 조사나 시추는 석유가 아닌 천연가스에 더더욱 초점이 맞추어 질것으로 보인다.

Table 1과 Table 2는 전 세계의 천연가스의 매장량과 원유의 생산, 소비 등을 보여 주고 있다.

\* 대표저자 : 정희원, dslee@seaman.or.kr , 051-620-5826

Table 1. World source of natural gas

(Unit: Trillion m<sup>3</sup>)

Country	Reserves at year end				
	1987	1997	2007	Share of total	R/P ratio
Russian Federation	N/A	45.17	44.65	25.2%	73.5
Iran	13.92	23.00	27.80	15.7%	100+
Qatar	4.44	8.50	25.60	14.4%	100+
Saudi Arabia	4.19	5.88	7.17	4.0%	100+
United Arab Emirates	5.68	6.06	6.09	3.4%	100+
USA	5.30	4.74	5.98	3.4%	10.0
Nigeria	2.41	3.48	5.30	3.0%	100+
Venezuela	2.84	4.12	5.15	2.9%	100+
Algeria	3.16	4.08	4.52	2.5%	54.4
Iraq	1.00	3.19	3.17	1.8%	100+
Norway	2.29	3.65	2.96	1.7%	33.0
Netherlands	1.77	1.79	1.25	0.7%	19.4
Germany	0.38	0.26	0.14	0.1%	9.6
All Others	59.48	32.54	37.58	21.2%	
Total World	106.86	146.46	177.36	100.0%	60.3

\* Source: BP statistical report(2008)

Table 2. World source of crude oil(daily)

Producing qt'y (Share of total)	Consumption qt'y	Refinery capacity
Saudi arabia(12.6%) 10,413,000 Bbls	USA(23.9%) 20,698,000 Bbls	USA(20.0%) 17,588,000 Bbls
Russia(12.6%) 9,978,000 Bbls	China(9.3%) 7,855,000 Bbls	China(8.5%) 7,511,000 Bbls
USA(8.0%) 6,879,000 Bbls	Japan(5.8%) 5,051,000 Bbls	Russia(6.4%) 5,583,000 Bbls
Iran(5.4%) 4,401,000 Bbls	India(3.3%) 2,748,000 Bbls	Japan(5.2%) 4,598,000 Bbls
China(4.8%) 3,743,000 Bbls	Russia(3.2%) 2,699,000 Bbls	India(3.4%) 2,983,000 Bbls
Mexico(4.4%) 3,477,000 Bbls	Germany(2.8%) 2,393,000 Bbls	Korea(3.0%) 2,668,000 Bbls
Canada(4.1%) 3,309,000 Bbls	Korea(2.7%) 2,371,000 Bbls	Germany(2.7%) 2,390,000 Bbls
UAE(3.5%) 2,915,000 Bbls	Canada(2.6%) 2,303,000 Bbls	Italia(2.6%) 2,329,000 Bbls
Kuwait(3.3%) 2,626,000 Bbls	Brazil(2.4%) 2,192,000 Bbls	Saudi Arabia(2.4%) 2,100,000 Bbls
Venezuela(3.4%) 2,613,000 Bbls	Saudi arabia(2.5%) 2,154,000 Bbls	France(2.2%) 1,959,000 Bbls

\* Source: BP statistical report(2008)

2) 전 세계 에너지 수요

Fig. 1과 Table 3은 전 세계의 에너지 수요와 어떻게 에너지 자원이 변하고 있는가를 보여 주고 있다.Fig. 1은 2004년도 전 세계 에너지 생산량을 나타낸 것이다(ABS, 2007).

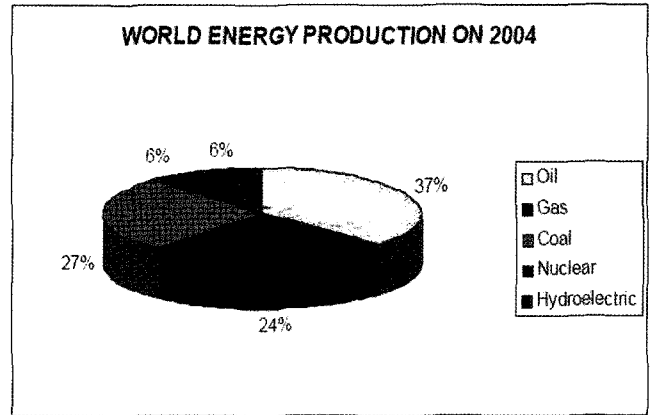


Fig. 1. World energy production in 2004.

Table 3은 2002년과 2007년에 천연가스가 차지하는 비율이 거의 변동이 없는 동안 기름이 차지하는 비율이 약간씩 줄었고, 석탄은 약간씩 늘어나고 있음을 보여주고 있으나, 최근 5년 동안 주요 연료로서 석탄 사용이 급가 추세에 있다. 또한 원자력과 수력전기 자원의 증가 추이는 거의 없었다.

Table 3. Increase of energy demand between 2002 and 2007

Energy Source Type	Percentage (2002)	Percentage (2007)	Percentage increase between (2002-2007)
Total	100 %	100 %	16.5 %
Oil	38 %	35.6 %	9.5 %
Gas	24 %	23.8 %	15.3 %
Coal	26 %	28.6 %	32.0 %
Nuclear	6 %	5.6 %	1.8 %
Hydro -electric	6 %	6.4 %	16.7 %

\* Source: BP statistical report(2008)

Fig. 2와 Fig. 3은 현재의 천연가스의 공급지와 수요지 및 새로운 무역 항로를 나타내고 있다(DNV 2006, 이와 흥, 2007).

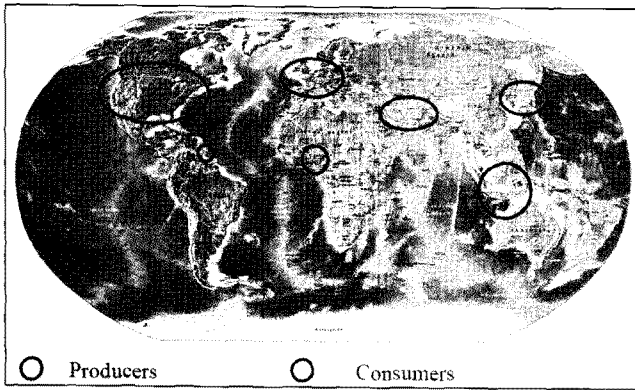


Fig. 2. LNG producer and consumer.

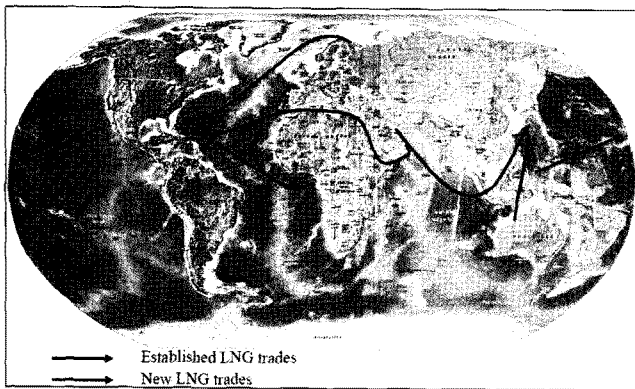


Fig. 3. LNG new trade.

1.2 LNG project의 특징

Fig. 4는 LNG project가 생산에서부터 인수까지 Chain과 같이 연결되어 있음을 나타내고 있는데 어느 한 Chain이라도 끊기면 그 흐름이 완전히 중단되므로 각 요소가 대단히 중요함을 뜻하고 있다(이 등, 2004).

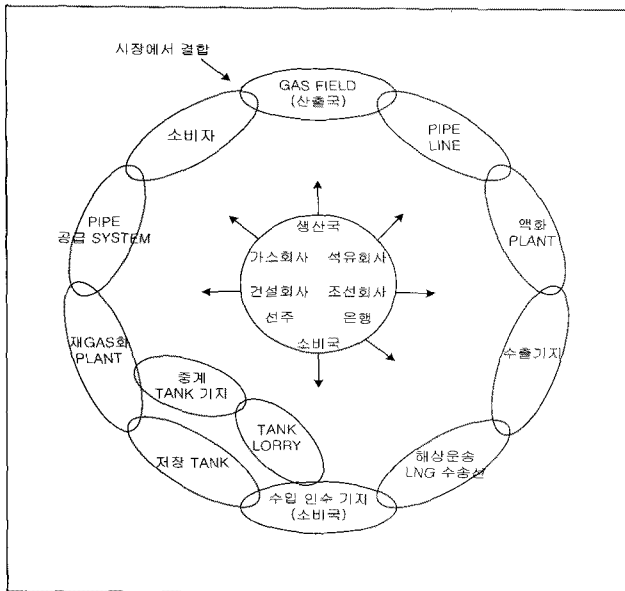


Fig. 4. LNG chain.

2. 액화가스 운반선의 종류

IMO의 IGC Code("International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk"의 약칭이며 IMO의 제 9차 총회의 Resolution A. 328로 채택된 것임)에 의하면 당해 화물의 화물 Tank내 Gauge압력이 0.7kg/cm<sup>2</sup> 이상이 되면 압력식으로, 그 이하가 되면 Normal Integral Tank, Membrane Tank 또는 Rectangular Independent Tank의 냉동식으로 운반토록 규정하고 있다(이 등, 2004).

IMO의 IGC Code에서의 LNGC의 분류는 Fig. 5와 같다.

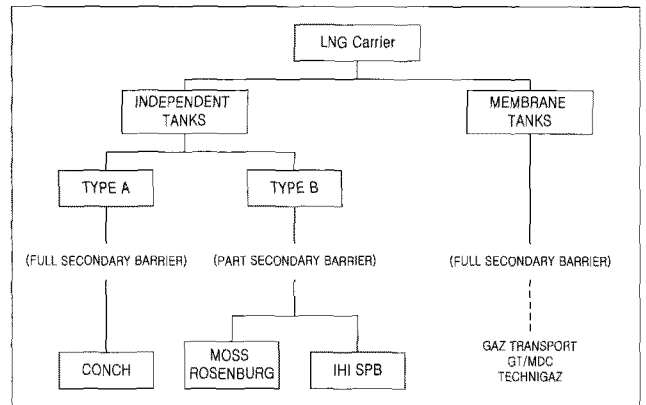


Fig. 5. A classification of LNGC.

2.1 Independent "B" type

이 탱크는 통상적으로 구형이며 Aluminum합금 또는 9.5% 니켈합금의 철판로 되어있고, 탱크의 지지는 외부의 중앙원주상에서 원통형부판(Cylindrical skirt)으로 되어 있다. 또한 철판 Dome이 구형탱크 상부에 설치되며 중심선 격벽은 없고 Polyurethane 방열체가 탱크에 입혀 있다(Fig. 6).

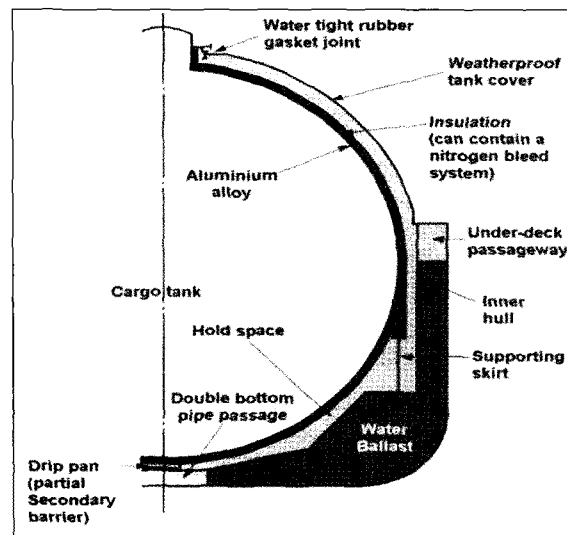


Fig. 6. Independent "B" type.

2.2 Membrane(Gaz-transport) type

Fig. 7에서 보듯이 얇은 INVAR(강철과 니켈의 합금으로 열팽창계수가 작아 온도변화가 크게 요구되는 액화가스 용기로 사용하기 적합)의 1차 내벽을 갖고 있으며 이벽은 그 외부측에서 방열재와 접해있다.

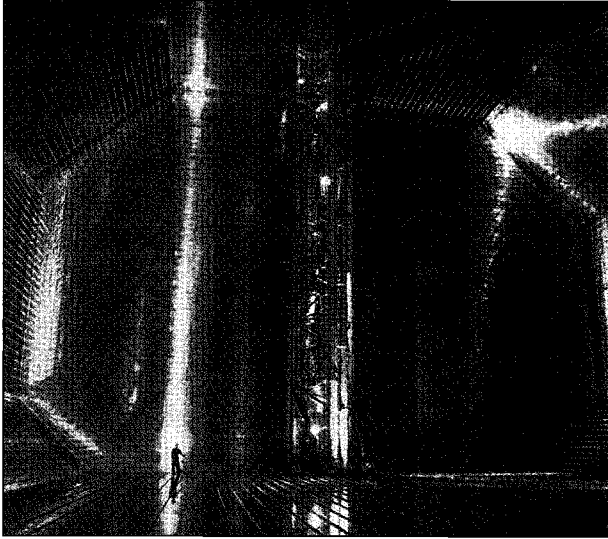


Fig. 7. Membrane(Gaz-transport) type.

2.3 Membrane(Technigaz) type

Fig. 8의 Technigaz type은 탱크 내에서 열팽창을 흡수 할 수 있도록 내벽이 Corrugated type으로 되어 있다.

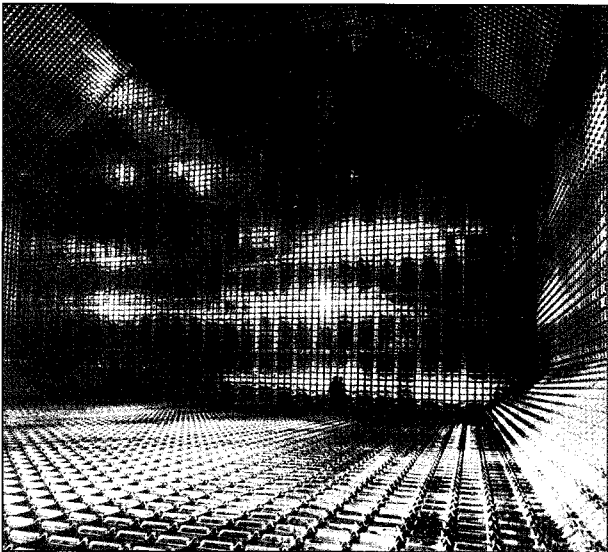


Fig. 8. Membrane(Technigaz) type.

3. 최근 LNGC의 발전 동향

최근 LNGC(Liquefied Natural Gas Carrier)의 발달은 1980년대 125,000m<sup>3</sup> 급이 나오고 1990년대를 거쳐 135,000m<sup>3</sup> 급, 2007년 210,000m<sup>3</sup> 급과 2008년에는 266,000m<sup>3</sup> 급이 나왔다(장, 2007a,b).

또한 2006년 11월에는 기존 내·외연기관이 아닌 발전기 기동으로 Propeller를 움직이는 DFDE(Dual Fuel Diesel Electric) 엔진, 육상의 Storage Tank를 생략한 기화설비를 갖춘 LNG-RV(Re-gasification Vessel)와 주 기관은 Slow Diesel을 택하고, 운항 중 발생하는 BOG(Boil Off Gas)를 재 액화시키는 설비를 갖춘 DRL(Diesel Re- Liquefaction)선박 및 해상 LNG 생산·저장시설인 LNG-FPSO(Floating Production and Storage Offshore), 그리고 해상 LNG 인수기지 역할을 하는 LNG-FSRU(Floating Storage and Re-gasification Unit) 등이 개발되었다(Table 4).

Table 4. Recent development of LNGC

Items	Duel fuel Diesel Electric(DFDE) - 2006. 12. atlantique france	Re-gasification vessel (R.V) - 2005. 1. Daewoo - 2009. 3. 31, Samsung	Diesel Re-liquefaction(DRL) - 2007. 9. 30 Samsung	LNGC Floating Production Stowage Offshore(FPSO) - 2011. Samsung
Capacity	155,000 m <sup>3</sup>	145,000 m <sup>3</sup>	216,200 m <sup>3</sup>	270,000 m <sup>3</sup>
Cargo system	TZ Mk. III	TZ Mk. III	TZ Mk. III	TZ Mk. III
Tank number	4	4 (Re-gasification)	5	5
Plant	DFDE	DFDE	DRL	DFDE
Engine type	DFDE(Dual Fuel Diesel Electric) Generator engine(4) → Generator(6,600V) → Electric Motor(2)운전(고속 회전-680 RPM) → Reduction gear (감속-85 RPM) → Shaft → Propeller 회전		DRL(Diesel Re-liquefaction)	
Speed	20.0 kts	19.5 kts	19.5 kts	20.0kts
Re-liquefaction	N/A	N/A	N <sub>2</sub> 이용 재액화	N <sub>2</sub> 이용 재액화
Price	\$ 215 million	\$ 290 million	\$ 229 million	\$ 1,100 million
특징	1) 주 기관이 없음 2) 발전기로 Propeller를 회전 3) 선체 진동 감소	1) 선박에 기화설비 2) Discharging 시, 육상의 저장탱크 역할을 본선이 수행	1) 순수 Diesel Engine을 사용 추진효율 극대화 2) N2를 이용한 재 액화장치	1) 해상 LNG 생산·저장시설 2) 해저 유전에서 가스를 채취하여 본선에서 정제

3.1 DFDE(Dual Fuel Diesel Electric)

DFDE(Dual Fuel Diesel Electric)시스템은 기존 LNGC의 Steam 추진방식보다 한 단계 진화된 차세대 최첨단 전기 추진방식이다. 이중 연료 디젤-전기(DFDE) 추진 LNGC는 필요

에 따라 증유와 가스를 연료로 번갈아 사용할 수 있으며, 기존 LNGC의 Steam 추진방식의 연료 효율성이 30% 미만이었다는 것과 비교해 10% 이상의 효율을 향상시킬 수 있다.

특히, DFDE 시스템을 탑재한 LNGC는 기존선과 비교하여 조종성능에서 선회권(Turning circle)의 증가(Advance)와 횡거(Transfer)에서는 큰 차이가 없으나 정지거리 시험(Stopping test)에서는 현격한 차이가 있어서 항내조건에서 안전성 확보에 상당한 이점이 있다(삼성중공업, 2008).

WARTSILA사에서 개발한 DFDE 시스템의 계통도는 Fig. 9와 같다(WARTSILA, 2006).

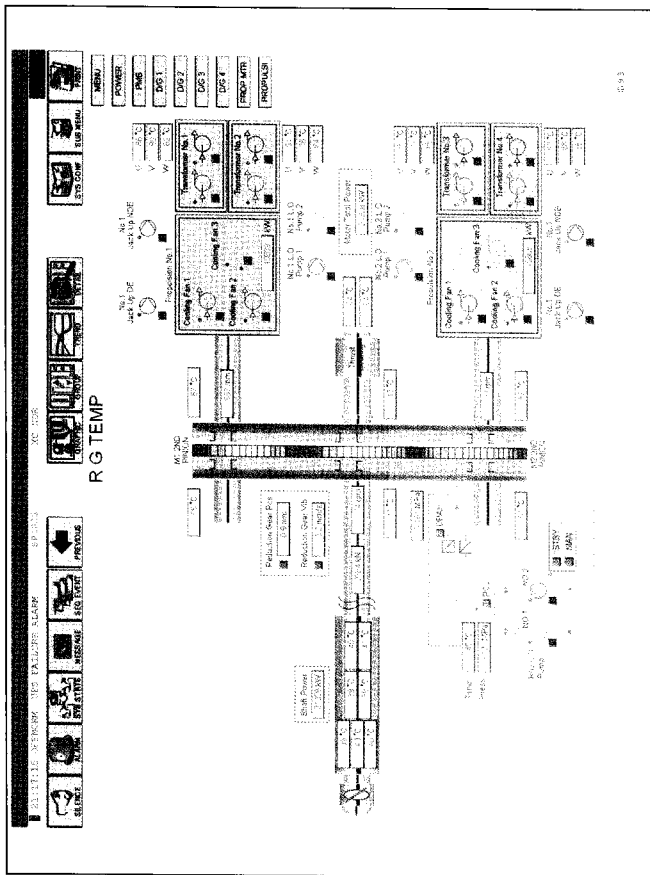


Fig. 9. DFDE engine overview.

### 3.2 LNG-RV(Re-gasification vessel)

육상 터미널의 포화화 9.11 테러를 겪으며 안전성문제가 대두되었던 LNG-RV는 LNG선 위에 대규모 육상터미널의 LNG 재 기화(再氣化) 설비를 탑재해 선상에서 가스를 생산, 육상 최종 소비시설로 직접 공급하는 신 개념 천연가스 공급방식이다. 선박의 선수 부분에 탑재된 재 기화 설비로 Cargo tank내 LNG를 Heat exchanger를 통하여 해수를 이용, LNG를 기화시켜 해저터미널을 통해 육상으로 이송하는 방식이다. 이는 140,000 m<sup>3</sup>의 LNGC 10척으로 우리나라 연간 소비량을 처리할 수 있으며(배, 2007), 그 계통도는 Fig. 10과 같다(현대중공업,

2007).

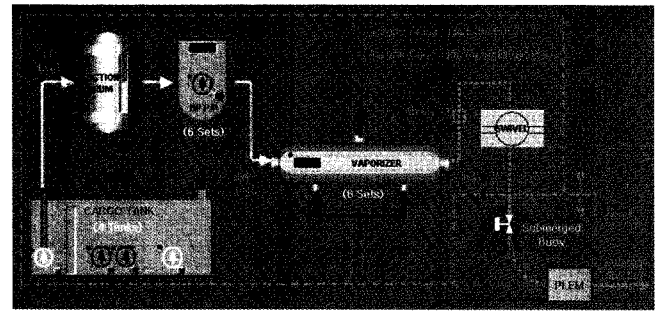
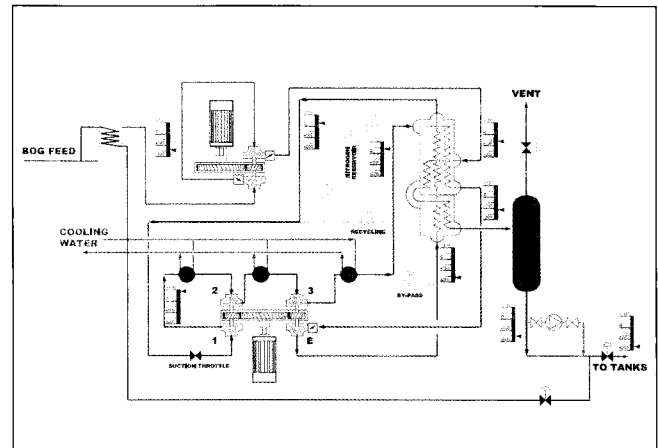


Fig. 10. LNG-RV process overview.

### 3.3 DRL(Diesel Re-Liquefaction)

주 기관은 Slow diesel을 택하고, 운항 중 발생하는 BOG(Boil Off Gas)를 재 액화시키는 설비를 갖춘 DRL(Diesel Re-Liquefaction)선박이 개발되어 좁은 본선에서의 재 액화를 가능하게 하였으며(DNV, 2006), 그 계통도는 Fig. 11과 같다(현대중공업, 2007).



\* Source: Hamworthy

Fig. 11. Re-liquefied system overview.

### 3.4 LNG-FPSO(Floating Production Storage Offshore)

천연가스 생산설비와 육상 액화·저장설비 기능을 동시에 갖춘 새로운 개념의 LNG-FPSO는 ① 기존의 대형 LNG선보다 가격이 4배 이상이며 ② 원유를 생산·저장하는 일반적인 FPSO와 달리 2008년 전 세계에서 처음 개발된 천연가스용 FPSO이다(Fig. 12).

LNG-FPSO가 개발되기 전에는 ③ 가스전에서 뽑아 올린 천연가스를 파이프라인을 통해 육상 액화·저장설비에 보관해 두었다가 LNG선으로 운송했으나 ④ 개발한 LNG-FPSO는 해상에서 바로 액화·저장할 수 있는 설비를 장착시킨 복합기능 선박으로 평균 2조원에 달하는 육상 액화·저장설비 건설이 필요 없으며 ⑤ 중·소규모 해양 가스전 상업화에 적합하도록

맞춤 개발된 것이다.

세계 최초로 우리나라에서 건조 될 예정이며, LNG-FPSO의 하부선체를 건조한 데 이어 연간 2,345,000,000m<sup>3</sup>(약 170만톤)의 액화천연가스를 생산할 수 있는 상부설비까지 개발 완료함으로써 적당 1조원에 달하는 고부가가치 복합선박인 LNG-FPSO가 탄생하게 되었다.

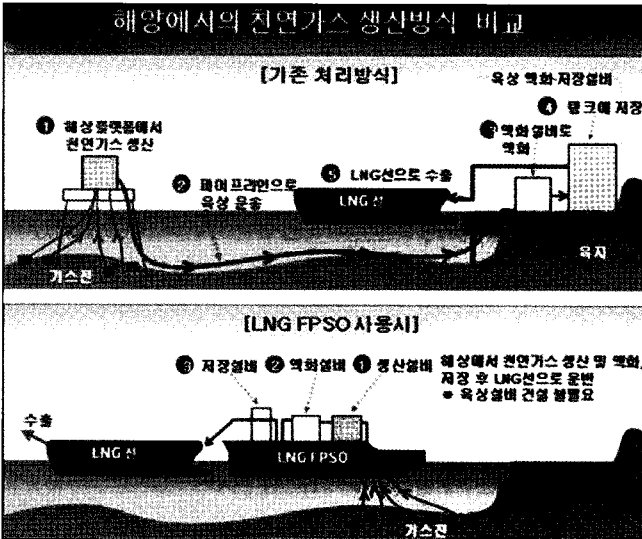


Fig. 12. LNG-FPSO.

매장량 1억톤 이하의 중·소규모 해양 가스전은 전 세계에 2400곳이 넘으며, 그동안 과도한 투자비용 때문에 개발되지 않았으나 고유가에 따라 대체에너지인 액화천연가스 수요가 매년 10%씩 늘어나고 있어 오일메이저 및 LNG 선사들이 경쟁적으로 개발에 뛰어들고 있는 상황이다.

#### 4. 결 론

1950년대 말로부터 1980년대까지를 LNGC를 1세대라고 하면, 1990년대를 제2세대, 2000년대 초반을 제3대 라고 할 수 있으며, 2000년대 후반은 DFDE(Dual Fuel Diesel Electric), RV(Re-gasification Vessel), DRL(Diesel Re-Liquefaction), FPSO(Floating Production Storage Offshore)가 나와서 발전하고 있는 제4세대라고 할 수 있다. 그리고 지난 2009년 초에는 해상 LNG 인수기지 역할을 하는 LNG-FSRU (Floating Storage and Re-gasification Unit) 등의 개발되었다.

향후, 연구과제로는 DFDE를 탑재한 LNGC 등의 시운전(Sea trial) 자료 등을 통하여 최근 LNGC와 기존선의 조종 성능을 비교한 자료가 나와 일선 선장 및 도선사가 안전운항을 할 수 있는 데이터에 대한 정리가 필요하다고 할 것이다. 이를 위하여 건조조선소는 급변하는 LNGC의 변전에 대한 자료를 제공하고, 운항선사는 안전운항의 기본을 정립하며, 학계에서는 이를 바탕으로 조종성 확보를 포함하여 안전운항에 필요한 전반적인 Manual을 정립할 필요가 있다고 본다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 배병덕(2007), 신개념 LNG-RV 운반선의 현황, 한국해양학회 제31권 제2호 추계학술대회 논문집, pp. 322-324.
- [2] 삼성중공업(2008), Sea trial data(H. no. 1619).
- [3] 이동섭, 홍정혁(2007), LNG Simulation 교육, 한국해양수산연수원 pp. 1-42.
- [4] 이동섭, 장은규, 권기생, 김진경, 전영우, 김금무(2004), Liquefied Gas Tanker, 한국해양수산연수원 pp. 9-12. pp. 83-92.
- [5] 장규태(2007a), Delivery of World's First L-LNGC, 한국해양학회 제31권 제2호 추계학술대회 논문집, pp. 319-321.
- [6] 장규태(2007b), 대형화 LNG 선박에 대한 최신 정보 - Qatargas II/Exxon Mobil 200,000CBM LNGC 선유간 적합성 검토-, 한국해양학회 제31권 제1호 제2권 추계학술대회 논문집, pp. 9-11.
- [7] 현대중공업(2007), LNG Re-liquefaction and Re-gasification, pp. 1-42.
- [8] ABS(2007), Module 1 - Introduction part 1 "LNG Business and History of ABS Involvement with gas Transportation at Sea, p. 29.
- [9] DNV(2006), Trends in LNG shipping, slide.7, 16.
- [10] Lee, Dong Sup(2007), Liquefied Natural Gas Carriers Handling Principles, pp. 2-7.
- [11] WARTSILA(2006), A Introduction of DFDE.

원고접수일 : 2009년 08월 07일

원고수정일 : 2009년 09월 18일

게재확정일 : 2009년 09월 24일