

초저온 LNG선의 열설계에 관한 연구

김용모* · 고상철* · 천병일** · 김경근***

A Study on the Thermal Design of the Cryogenic LNG Carrier

Y. M. Kim · S. C. Ko · B. I. Chun · K. K. Kim

Key words : LNG(액화천연가스), LNG Carrier(LNG선), Panel Insulation(판넬다열재), SG Insulation(스파이럴 제너레이션 단열재), BOR(증발율), Temperature Distribution of Hull(선체온도분포)

Abstract

This paper introduces the outline of hull structure to the sorts of LNG carrier briefly. Especially, explains in detail for the insulation system of Moss Rosenberg Verft spherical tank type LNG carrier. It is not easy task to calculate exactly the temperature distribution of hull because of very complicated structure of hull.

Therefore, in this paper by the adequate modeling of the Moss Rosenberg spherical tank type LNG carrier, a program is developed which calculate the temperature distribution of every hull and estimate the heat influx from every hull and output the BOR according to the variation of atmospheric conditions on voyage.

기호설명	R : Radius of Tank (m)
	Re : Reynolds Number
BOR : Boil off Ratio (%/day)	T : Temperature (°C)
Cp : Specific Heat at Constant Pressure (kcal/kg°C)	Δt : Time Step (sec)
Gr : Grashof Number	
Nu : Nusselt Number	
Pr : Prandtl Number	
Q : Influx Heat (kcal/hr)	

1. 서 론

LNG선에 관한 연구는 1950년경부터 LNG의 해상수송에 대한 논의가 시작되어, 1958년 영국의

* 한국열유체산업
** 한국해양대학교 대학원
*** 한국해양대학교

Constock사가 설계하고 미국의 Alabama조선소에 의하여 건조된 Methane Pioneer호의 성공적인 운항에 의하여 본격적으로 시작되었다. 그 후 미국, 영국, 프랑스, 노르웨이 등 서구 조선선진국의 각 조선사별로 여러가지 형식의 LNG선에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔으며, 최근에는 LNG의 최대 수입국인 일본이 그 중심이 되어 더욱 활발히 연구가 진행되고 있다.

본 연구는 각국의 조선소별로 건조된 LNG선의 종류 및 이의 단열구조에 대하여 간략히 살펴보고, 특히 국내에서 최초로 건조중인 독립탱크 B형인 MRV Type LNG선을 대상으로 하여 선박의 외기 조건에 따른 선체 각부의 온도분포를 구할 수 있는 전산 시뮬레이션프로그램개발을 목표로 하고 있다.

2. LNG선의 분류

LNG의 조성은 Table 1에서 보는 바와 같이 생산지에 따라 약간씩 차이가 있으나 90~99%이상의 메탄과 미소량의 에탄 및 프로판으로 된 파라핀계 저분자 탄화수소의 혼합물이며, 이의 화학적 물리적 특성은 메탄과 거의 동일하다.³⁾

LNG선의 분류를 Fig.1에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 LNG선은 크게 화물탱크의 형식에 따라 Self-supporting 방식과 Membrane 방식으로 분류된다. Self-supporting 방식은 탱크의 재료로 AL5083-O를 사용하며, Conch 방식인 Type A와 MRV 및 SPB 방식인 Type B로 나누어진다. 그리고 Membrane 방식은 Membrane의 재료로 스테인레스강판을 사용하는 TG Membrane 방식과 Membrane의 재료로 36%의 Ni강(Invar)을 사용하는 GT Membrane 방식으로 나누어진다.³⁾

1958년경 영국의 Conch사에 의하여 설계된

Table 1 Properties and Composition of LNG

Item	Alaska	Brunei	Malaysia	
Composition (%)	Methane	99.8	90.9	91.8
	Ethane	0.1	4.4	4.0
	Propane	0.0	3.1	2.7
	Others	0.1	1.6	1.5
Specific gravity of gas(at=1.0)	0.55	0.61	0.61	
Boiling point (°C)	162	160	160	
Density of liquid(kg/m ³)	425	465	451	
Heat generated per unit mass	kcal/kg	13,300	13,000	13,100
	kcal/Nm ³	9,530	10,670	10,520

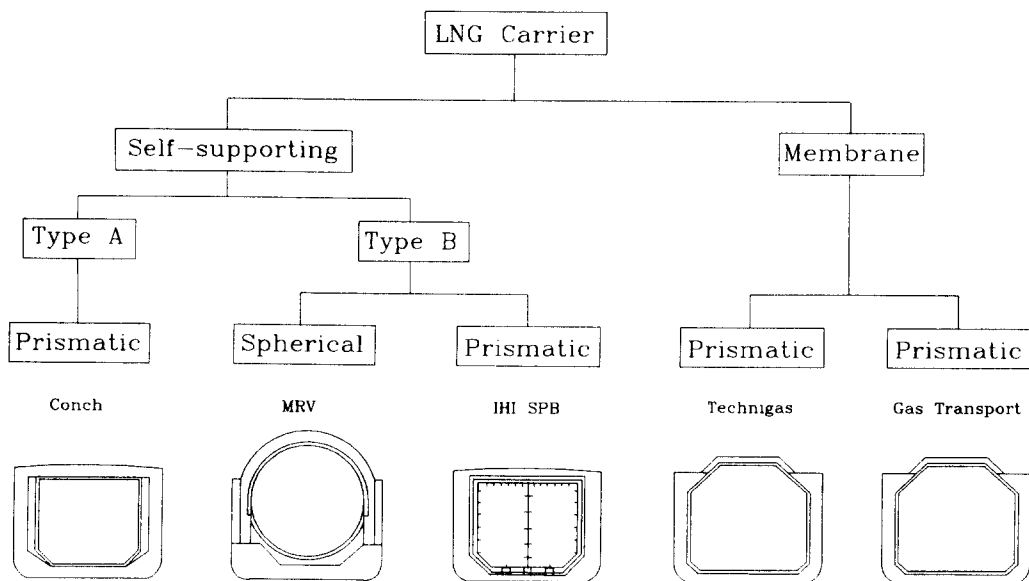


Fig. 1 Types of LNG Carrier

Conch Type LNG선은 Fig.2에서 보는 바와 같이 화물탱크는 AL합금으로 되어 있고, 단열재와 탱크 사이에 Inert gas space가 설치되며, 선체의 내

판에 단열재가 직접 부착되어 있다.^{3),4)}

Self supporting Type B형 가운데 MRV방식은 1973년 노르웨이의 Moss Rosenberg사가 개발한 것으로, Fig.2에서 보는 바와 같이 탱크의 외측에 단열재가 시공되어 있다.^{3),5),6)}

1981년경에 발표된 SPB방식은 일본 IHI중공업이 Conch방식을 변형한 것으로, Fig.2의(c)에서 보는 바와 같이 Conch방식과는 달리 탱크의 외측에 단열재를 부착시키고, 단열재와 선체의 내판 사이에 Inert gas space가 설치되어 있다.^{7),8),9),10)}

TG Membrane방식은 1964년 프랑스의 Technigas사가 개발한 것으로, Fig.3의(a)와 (b)에서 보는 바와 같이 탱크는 1차 방벽인 파형의 Membrane으로 되어 있고 Membrane과 선체내벽 사이에 단열재가 부착되어 있다. 또한 단열재 사이에 Plastic foam이 2차 방벽으로 삽입되어져 있다.^{3),4)}

GT Membrane방식은 1969년 프랑스의 Gas Transport사가 개발한것으로 Fig.3의(C)에서 보는 바와 같이 선체의 내측에서부터 2차 단열재, 2차 Membrane, 1차 단열재, 1차 Membrane의 복합구조로 되어 있다.^{3),4)}

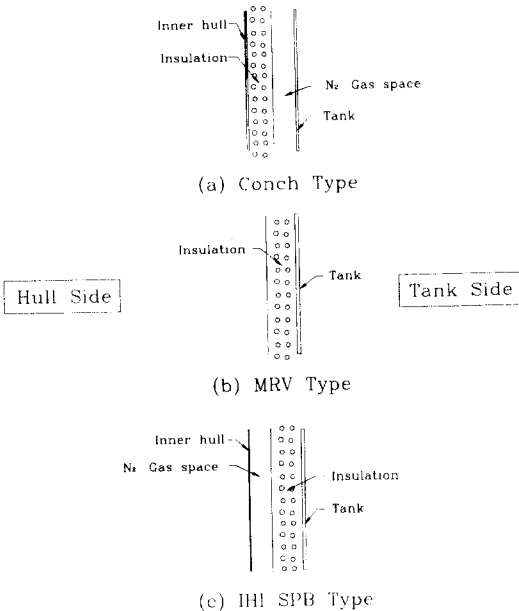


Fig. 2 Insulation System of Self-supporting Type

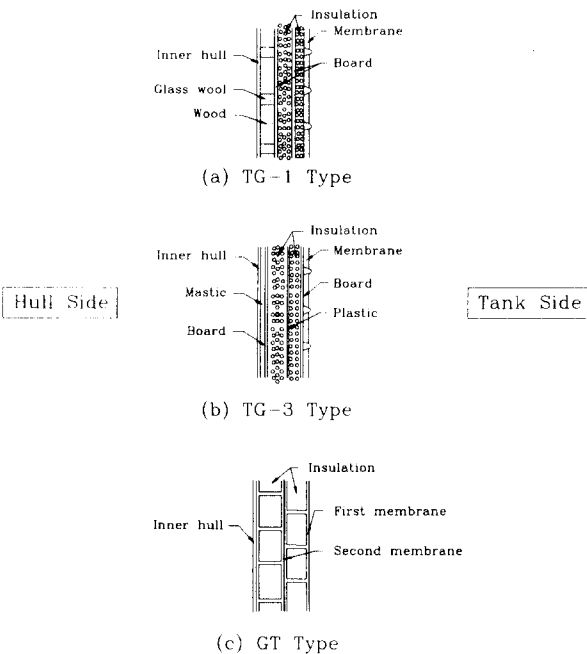


Fig. 3 Insulation System of Membrane Type

3. 해석모델

본 연구에서는 MRV형 LNG선의 선체의 온도 분포 및 BOR값을 계산하기 위하여 수치계산을 수행하였다. 이러한 수치계산을 LNG선 전체에 대하여 수행하기 위하여서는 방대한 계산기의 용량 및 계산시간이 필요하게 된다. 그런데 MRV형 LNG선에 있어서 한개의 탱크를 살펴보면 이는 구형으로서 종방향 및 횡방향의 열적경계조건을 대칭으로 볼 수 있다. 따라서 이와 같은 관점에서 계산을 P.C.에서 수행하기 위하여, 본 연구에서는 Fig.4에서 보는 바와 같이 선체의 횡방향 길이는 23,100 mm이며, 종방향 길이는 21,640mm이고 탱크저면에서의 높이가 30,250mm인 LNG선 탱크의 1/4부분을 취하여 계산하였다.

Fig.4에서 나타낸 바와 같이 LNG선 외측의 고온유체인 해수 및 대기와 LNG탱크내의 저온유체인 LNG의 온도구배에 의하여 LNG선의 밀폐공간

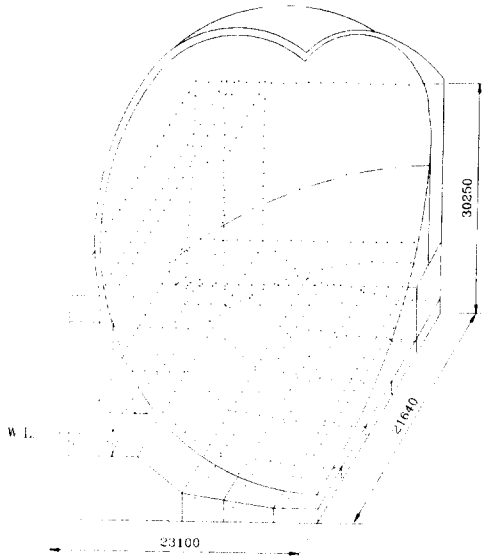


Fig. 4 Calculation Model for Hull

밀폐공간의 체적이 매우 크기 때문에 밀폐공간내의 온도는 거의 일정하다 볼 수 있다. 또한 접촉유체가 공기인 선체와 같은 얇은 평판의 경우, 단열재가 부착되지 않은 선체의 온도분포는 선체의 평판두께 및 길이에 따른 온도구배가 없다고 보아도 무방하므로, 하나의 밀폐공간을 형성하는 각각의 격판온도는 일정하다고 간주할 수 있으며, 자연대류가 일어나는 수직평판에 대하여서는 비교적 실험결과와 잘 일치하는 Jacoff의 식(1)¹¹을 사용하였고, 수평평판에 대하여는 McAdams의 식(2)¹²를 사용하여 계산하였다. 그리고 대기 및 해수에 의하여 강제대류가 일어나는 선외측벽에 있어서는 Colburn의 식(3)을 적용하였다.¹¹

$$Nu = 0.13(Gr Pr)^{1/3} \quad (1)$$

$$Nu = 0.14(Gr Pr)^{1/3} \quad (2)$$

$$Nu = 0.037 Re^{0.8} Pr^{1/3} \quad (3)$$

또한 LNG탱크의 내표면과 외표면 및 Tank cover에 있어서는 탱크의 반경이 매우 크기 때문에 수직평판으로 간주하였으며, Skirt부에서는 길이방향의 온도구배가 크기 때문에 두께방향의 온도구배는 무시하고, 길이방향의 전도를 고려하여 1차원으로 해석하였으며, 자연대류열전달계수는 탱크와 마찬가지로 반경이 매우 크므로 수직평판

으로 간주하여 계산하였다. 그리고 선체평판에는 편모양의 각종 부속물이 붙어 있으나, 본 연구에서는 이의 영향은 무시하였다. 또한 단열재가 부착된 접촉면에서는 접촉의 정도에 의하여 접촉저항이 생기나, 본 계산에서는 접촉저항은 무시하여 계산하였다.

4. 수치계산

4.1 선체온도분포

선진에서 구한 대류열전달계수와 구면과 Skirt 및 선체평판의 열전도계수로부터 열관류율을 계산할 수 있다. 이 열관류율과 Fig.4의 해석모델에서 보는 바와 같이 각 밀폐공간의 온도분포 및 각각의 밀폐공간을 구성하는 전열면에 의하여 임의의 한 개의 밀폐공간에 대한 정상상태하에서의 열평형방정식을 만들수 있다. 따라서 임의의 한개의 밀폐공간을 구성하는 각각의 평판을 통과하는 열량은 항상 일정하며, 그 밀폐공간을 구성하는 모든 평판을 통과하는 열량의 합은 제로(0)이다. 따라서 N개의 밀폐공간에 대한 열평형식을 각 밀폐공간의 온도에 대하여 정리하면, 다음식과 같은 N개 밀폐공간의 온도분포에 대한 N개의 연립방정식이 만들어지며, 이를 반복계산하여 각 밀폐공간의 온도분포를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} T_h(1) &= \frac{\sum U(i,j)A(i,j)T_h(k)}{\sum U(i,j)A(i,j)} \\ T_h(2) &= \frac{\sum U(i,j)A(i,j)T_h(k)}{\sum U(i,j)A(i,j)} \\ &\vdots \\ &\vdots \\ T_h(N-1) &= \frac{\sum U(i,j)A(i,j)T_h(k)}{\sum U(i,j)A(i,j)} \\ T_h(N) &= \frac{\sum U(i,j)A(i,j)T_h(k)}{\sum U(i,j)A(i,j)} \end{aligned} \quad (4)$$

그런데 탱크에 균열이 생겨 탱크외로 화물의 누설이 있는 경우에는, 누설된 화물이 밀폐공간에서 증발하고, 이 증발한 기상은 밀폐공간의 공기온도까지 상승하므로 누설된 밀폐공간의 온도분포 $T_h(k)$ 계산시 이를 고려하여야 한다.

그리고 선체평판의 온도분포 $T(i,j)$ 는 각 평판을

통과하는 열량 $Q(i,j)$ 와 밀폐공간의 온도 $T_h(k)$ 로부터 다음식과 같이 구할 수 있다.

$$T(i,j) = T_h(k) - \frac{Q(i,j)}{h(i,j)A(i,j)} \quad (5)$$

4.2 만재 항해시의 입열량 계산

일반적으로 LNG액화기지에서 우리나라의 수입기지로 LNG를 수송할 경우 액화기지에서 화물을 탑재한 후의 화물탱크는 만재상태이다. 그런데 후술하는 바와 같이 탱크내 전체화물의 증량에 대한 하루동안 증발한 화물의 증량의 비 즉, BOR (Boil off Ratio)의 평균값은 약 0.15 %/day 정도 밖에 되지 않으므로 탱크내 LNG의 량은 거의 변화 없이 항상 만재상태로 항해한다고 볼 수 있다. 따라서 탱크내에는 기상은 존재하지 않고 액상만 존재한다고 가정하여도 큰 오차는 없다고 판단된다.

그러므로 만재시 LNG 화물탱크에 관하여서는 Fig.5에서 보는 바와 같이 LNG 화물탱크를 탱크에 부착된 단열재의 외표면이 접하는 밀폐공간에 따라서 북반구, Skirt부, 남반구로 나누어 생각할 수 있다.

따라서 그림에서 보는 바와 같이 북반구의 입열량을 Q_{nh} , Skirt부로의 입열량을 Q_{sk} , 남반구로의 입열량을 Q_{sh} 라 하면 총입열량 Q_T 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Q_T = Q_{nh} + Q_{sk} + Q_{sh} \quad (6)$$

그리고, 탱크내의 LNG는 침입된 입열량에 의하여 증발하므로, 탱크내 액상의 LNG 온도를 포화온도라 가정하면 총입열량은 모두 LNG의 증발에 사용된다고 간주할 수 있다. 그런데 증발한 기상에 의한 액체상태의 LNG의 체적변화는 미소하므로 전술한 바와 같이 이의 변화를 무시하면 BOR은 다음식과 같이 쓸 수 있다.

$$BOR = \frac{24Q_T}{\gamma} \frac{1}{V\rho_i} \times 100 \quad (7)$$

4.3 발라스트 항해시의 입열량 계산

전절에서 설명한 만재시와는 달리 발라스트 항

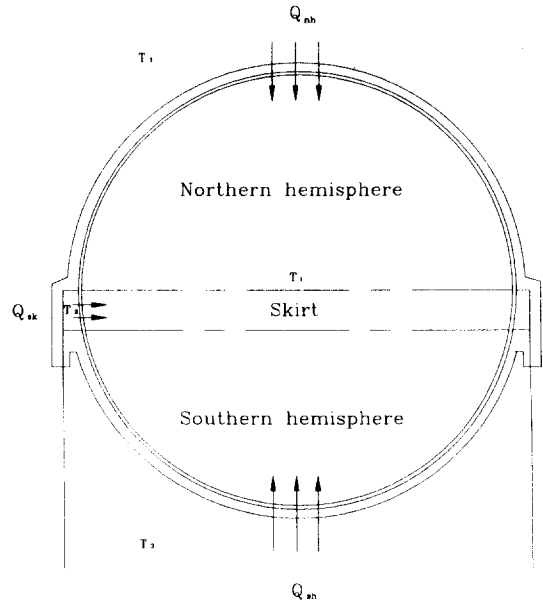


Fig. 5 Heat Balance Calculation Model

해시에는 탱크내부의 증발가스를 무시할 수 없게 되어 탱크내의 상부는 기상상태로 존재하고, 하부는 액상상태로 존재하게 된다. 그리고 항해시간에 따라 탱크내의 기상부의 온도가 상승하게 되어 화물탱크와 외기 사이에 있는 선체평판과 Skirt부 및 밀폐공간의 온도분포도 항해시간에 따라 변화하게 된다.

실제로는 탱크내부의 기상부와 액상부가 접하는 부분의 액상은 포화온도이고 그 이하부분은 과냉각상태로 존재하게 되나, 본 연구에서는 액상부는 모두 포화온도이며, 액상부의 탱크표면적을 통한 모든 입열량은 이하에서 기술하는 바와 같이 잠열로 사용된다고 가정하였으며, 기상부에서 액상부로의 복사는 무시하였다. 또한 기상부의 온도분포는 공간에 대하여 변화가 없다고 두고, 기상부의 탱크표면적을 통한 입열량은 기상부의 온도만을 상승시킨다고 가정하여 계산하였다. 탱크내의 기상부의 초기온도는 -162°C 로 두고 계산하였다.

Fig.6은 본 연구에서 채용한 기상부의 온도계산 모델을 나타낸 것이다.

북반구를 통해서 기상부로 유입하는 입열량을 Q_{nh} , Skirt부를 통하여 기상부로 유입하는 열량을

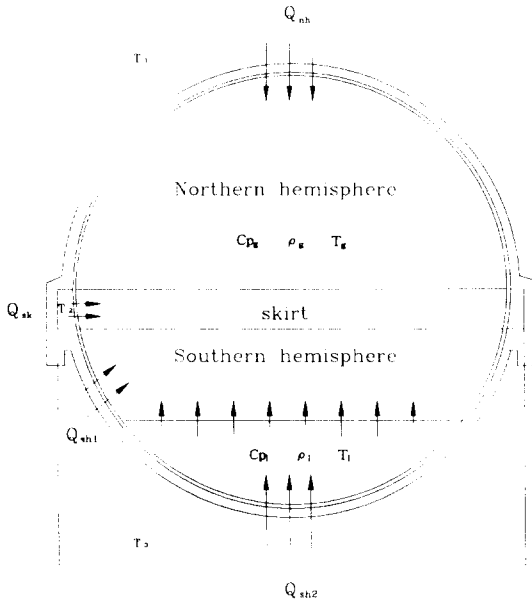


Fig. 6 Calculation Model of Gas Temperature

Q_{sk} , 남반구를 통하여 기상부로 유입하는 열량을 Q_{sh1} 라 하면 기상부로 유입하는 총입열량을 Q_{ig} 는 다음식과 같이 된다.

$$Q_{ig} = Q_{nh} + Q_{sk} + Q_{sh1} \quad (8)$$

또한 탱크외부에서 탱크내의 액상으로의 침입 열량을 Q_{sh2} 라 하면 이는 모두 액상의 증발에 사용되므로 이에 의한 증발량 W_b 는 다음식과 같이 표현된다.

$$W_b = \frac{Q_{sh2}}{\gamma} \quad (9)$$

그리고 Q_{sh2} 에 의하여 증발한 액상이 W_b 만큼 항상 탱크 외부로 배출되고, 기상부의 온도분포가 위치에 따라 변화하지 않는다고 가정하면, 탱크외부에서 탱크내의 기상으로의 침입열량 Q_{ig} 는 다음식에서 보는 바와 같이 W_b 에 의한 온도변화항과 시간진전에 따른 기상의 온도변화항으로 표현되어진다.

$$Q_{ig} = V_g \rho_g C p_g \frac{T_{t-M} - T_t}{\Delta t} + W_b C p_g (T_t - T_1) \quad (10)$$

따라서, 시간진전에 따른 기상의 온도 T_{t+M} 는 식(9)과 식(10)으로부터 다음식과 같이 표현된다.

$$T_{t+M} = \frac{Q_{ig} - \frac{Q_{sh2}}{\gamma} C p_g (T_t - T_1)}{V_g \rho_g C p_g} \Delta t + T_t \quad (11)$$

5. 계산결과 및 고찰

본 연구에서는 탱크내 화물은 순수한 메탄으로 이의 온도는 162℃이고, 단열재 두께는 220 mm, 탱크의 반경은 20,000mm이며 단열재의 재질은 폴리스틸렌으로 가정하여 계산하였다. 그리고 반재 항해시에는 탱크내 화물이 99% 이상 적재되어 있고, 증발한 가스는 모두 탱크외로 보내져 탱크내에는 기상부가 존재하지 않으며, 발라스트 탱크에 해수를 적재하지 않은 상태일 때의 정상상태의 온도분포를 계산하였다. 또한 발라스트 항해시에는 계산초기에 탱크내 화물이 탱크의 저면에서 부터 높이가 11,800mm, 기상부의 초기온도가 162℃로 하여 반재 항해시와 마찬가지로 발라스트 탱크에 해수를 적재하지 않은 상태에서 계산하였다. 뿐만 아니라 본 연구에서는 후술하는 바와 같이 해수 및 대기온도의 변화에 따른 열입량과 BOR값, 선체의 저온에 의한 취성을 고려한 USCG(United States of Coast Guard)의 특별조건(극지방)인 풍속 5knot, 대기온도 18℃, 해수온도 0℃에서의 선체온도분포 및 IMO의 IGC Code의 최대 증발조건을 고려하여 대기온도 45℃, 해수온도 32℃일 때의 선체온도분포를 계산하였다. 그리고 우리나라부근의 해양조건을 고려하여 대기온도 25℃, 해수온도 18℃에서의 선체온도분포를 계산하였다.

전술한 바와 같이 Fig.7은 대기온도 -18℃, 해수온도 0℃에서의 선체온도분포를 나타낸 것이다. 선체온도분포를 살펴보면 선박의 횡단면은 선체가 대기와 해수에 의하여 접하고 있기 때문에 외기에 의하여 선체가 가열된다고 볼 수 있으나, 선박의 종단면은 탱크와 인접탱크와의 격벽으로 이루어져 있기 때문에 열의 이동이 없는 단열상태로 볼 수 있다. 따라서 선박의 종단면 선체부는 외기로부터

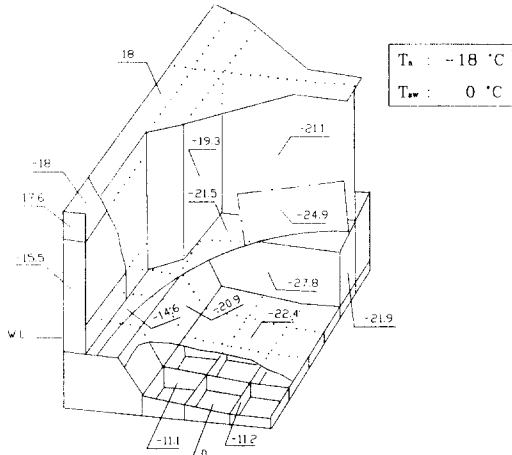


Fig. 7 Temperature Distribution of Hull

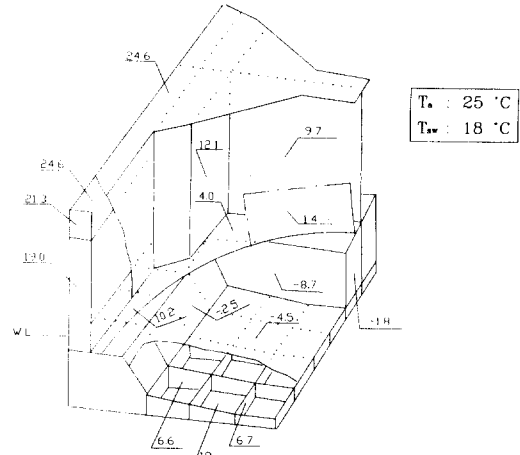


Fig. 8 Temperature Distribution of Hull

터 직접적인 열의 침입이 없기 때문에 선체의 다른 부분보다 상대적으로 낮은 온도분포를 보이고 있음을 알 수 있다. 그리고 특히 종단면에서 Skirt 부를 지지하고 있는 선체평판의 온도는 약 -28°C 로 선체평판중 가장 낮은 온도분포를 보이고 있는데 이는 종단면의 격벽이 단일인 동시에 아래측에 밀폐공간이 한개더 존재하는데 기인한다고 생각된다. 그런데 선체측면의 해수와 대기가 동시에 접하고 있는 선체평판으로 구성된 밀폐공간은 대기의 온도가 -18°C 임에도 불구하고 선체저면에서의 입열량으로 인하여 약 -15°C 의 높은 온도분포를 나타내고 있다.

Fig.8은 우리나라부근의 해양에 있어서 일반적인 외기조건으로 대기온도 25°C , 해수온도 18°C 일 때의 선체의 온도분포를 나타낸 것으로 Fig.7 및 Fig.8과 마찬가지로 선체온도분포중 남반구의 아래부분의 선체평판의 온도가 약 -4.5°C 로써 0°C 이하의 낮은 온도가 되며, 선체평판에 있어서 가장 낮은 부분의 온도는 약 -8.7°C 까지 떨어짐을 알 수 있다. Fig.9는 대기온도 45°C , 해수온도 32°C 일 때의 선체의 온도분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 대체로 선체평판 및 선체와 접한 Skirt의 온도는 상온을 나타내고 있으나, 대기온도 및 해수온도가 고온임에도 불구하고 남반구의 구면에 접촉한 밀폐공간의 온도는 -3°C 까지 떨어짐을 알 수 있다.

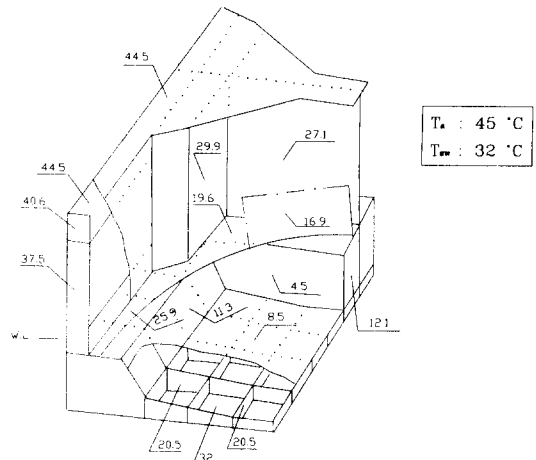


Fig. 9 Temperature Distribution of Hull

Table 2는 상기조건에서 계산한 침입열량 및 BOR값의 계산결과로서 대기온도 -18°C , 해수온도 0°C 일 경우 BOR값은 $0.1188\%/day$ 이고, 대기온도 25°C , 해수온도 18°C 일 경우 BOR값은 $0.1470\%/day$ 이며, 대기온도가 45°C , 해수온도가 32°C 일 경우 BOR값은 $0.1619\%/day$ 이다. 또한 상기의 세조건에서 BOR값을 북반구와 남반구 및 Skirt부로 나누어 비교하여 보면 남반구와 Skirt부의 BOR값은 큰차이가 없으나, 북반구의 BOR값은 대기온도 -18°C , 해수온도 0°C 에서는 $0.0626\%/day$ 이고, 대기온도 25°C , 해수온도 18°C

Table 2 Calculated Result of BOR and Heat Duty

Enviromenta condition (°C)	North hemisphere		South hemisphere		Skirt		Total	
	Inflow heat (kw)	BOR (%/day)	nflow heat (kw)	BOR (%/day)	nflow heat (kw)	BOR (%/day)	nflow heat (kw)	BOR (%/day)
Atmospheric temp. 18 Seawater temp. 0	52.62	0.0626	36.09	0.0430	11.12	0.0132	99.82	0.1188
Atmospheric temp. 25 Seawater temp. 18	68.66	0.0817	41.19	0.0490	13.63	0.0162	123.50	0.1470
Atmospheric temp. 45 Seawater temp. 32	76.15	0.0906	44.76	0.0533	15.04	0.0179	136.00	0.1619

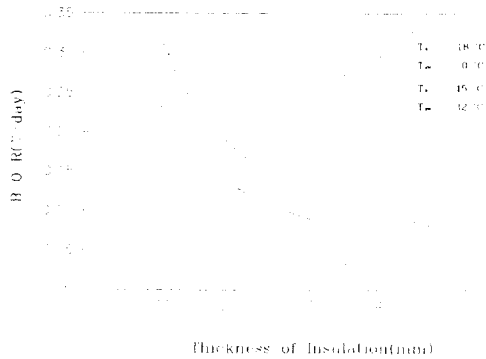


Fig. 10 Variation of BOR to Thickness of Insulation

에서는 0.0817 %/day이며, 대기온도 45°C, 해수온도 32°C에서는 0.0906 %/day로, 외기의 온도가 상승함에 따라 큰 차이가 난다.

Fig.10은 탱크의 반경이 20,000mm일 경우 단열재의 두께에 대한 BOR값의 변화를 나타낸 것으로 침선부분은 대기온도 45°C, 해수온도 32°C일 때이며, 설선부분은 대기온도 18°C, 해수온도 0°C의 경우이다. 단열재의 두께가 증가할수록 BOR값은 지속적으로 감소하는 경향을 보이고 있어 선체의 온도하강 및 BOR값을 고려하여 단열재 두께는 가능한 증가시키는 것이 좋다고 판단된다.

또한 Fig.11은 Tank의 반경이 20,000mm, 대기조건 25°C, 해수온도 18°C에서의 화물누설량에 따

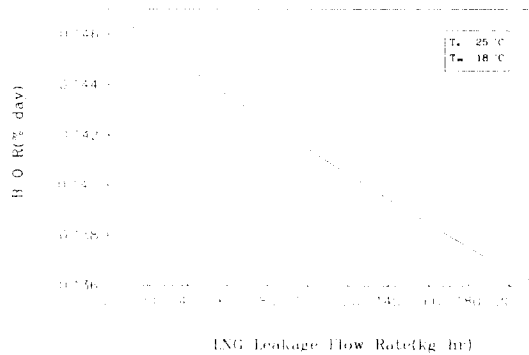


Fig. 11 Variation of BOR to LNG Leakage Flow Rate

른 BOR값의 변화를 나타낸 것으로 화물의 누설이 남반구에서만 일어난다고 가정하였을 경우로 화물의 누설량에 대하여 BOR값은 거의 직선적으로 변화하고 있다. 그리고 화물의 누설이 없을 때와 비교하여 누설화물량이 시간당 100 일 경우 BOR값은 약 0.0055%/day정도 감소하게 된다. 따라서 누설화물량이 적은 경우에는 BOR값에 대한 이의 영향은 미미하다고 볼 수 있다.

Fig.12는 발라스트 항해시에 있어서 탱크내화물의 높이가 탱크의 저면에서 약 11,800mm(약 30%)일 경우, 시간경과에 따른 탱크내의 기상의 온도변화를 나타낸 것이다. 그림에서 설선은 대기온도 45°C, 해수온도 32°C일 때의 기상의 온도변화

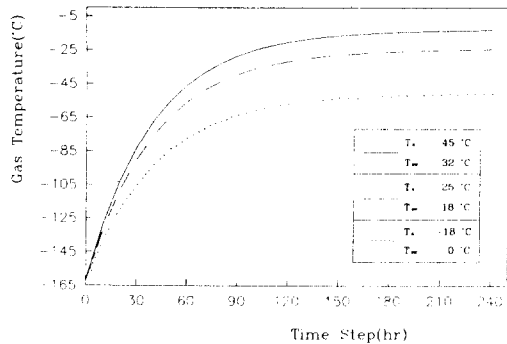


Fig. 12 Gas Temperature Variation to Time Step

를 나타내며, 파선은 대기온도 25℃, 해수온도 18℃일 때의 기상의 온도변화를 나타내고, 점선은 대기온도 -18℃, 해수온도 0℃일 때의 기상의 온도변화를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 시간이 0~120hr (0~5day)까지에서는 탱크내의 기상의 온도가 급격히 상승하나, 120hr 이상에서는 시간경과에 따른 기상부의 온도상승은 미미하다.

6. 결 론

본 연구에서는 우리나라에서 MRV Type으로 건조된 LNG선의 열적설계에 있어서 중요한 항해중의 선체온도분포 해석 프로그램을 개발하였다.

본 연구에서 얻은 결과를 정리하면 아래와 같다.

(1) 항해중의 기상의 변화에 따라 선체온도분포를 예측할 수 있는 선체온도해석 시뮬레이션프로그램을 개발하였다.

(2) 단열재 두께가 220mm인 경우 대기온도가 18℃, 해수온도가 0℃일 때 BOR값은 0.1188%/day이며, 가장 낮은 선체의 온도는 약 -27.8℃로 떨어짐을 알 수 있다.

(3) 단열재 두께가 220mm인 경우 대기온도가 45℃, 해수온도가 32℃일 때 BOR값은 0.1619%/day이며, 남반구에 접한 밀폐공간의 온도는 약 -3.2℃로 외기조건이 고온임에도 불구하고 영하로 떨어짐을 알 수 있다.

(4) 단열재 두께가 증가함에 따라 BOR값은 지속적으로 감소한다.

(5) 탱크저면으로부터 화물의 초기높이를 11800mm(약 30%), 7000mm, 5000mm로 하여 기상부의 온도변화를 계산한 결과, 탱크내 기상의 온도는 항해시간이 0~120hr까지는 급격히 상승하나, 그 이후에서는 거의 일정하다.

본 연구에서 개발한 프로그램을 적절히 수정하면 Membrane Type의 LNG선에도 적용이 가능하리라 판단된다. 그리고 보다 정밀한 계산을 하기 위하여서는 탱크내의 기상 및 액상에 대하여 유동장해석을 행하여야 하며, 선체구조의 보다 정확한 파악과 더불어 외기조건 유동장을 고려하여 계산하여야 한다.

7. 참고문헌

- 1) 김춘식, 김경근, 김용모, 천병일, 송성욱, 오주원, MOSS방식 LNG선박의 선체온도분포계산을 위한 전산프로그램 개발, (사)한국선급(1993. 3)
- 2) 猪刈正則, LNG冷熱利用と蓄冷システムの將來, 冷凍, 第66卷, 第762號, 日本冷凍協會, pp. 23~33 (1991)
- 3) 系山直之, LNG船, 成山堂書店(1991)
- 4) LNG便覽, 韓國가스公社, pp. 385~420(1885. 6)
- 5) 永元隆一, 牛島正夫, 阪井大輔, 高橋 雄, 香川洗二, 倉本美男, 球形タンク方式LNGの船體タンクの構造設計, 三菱重工技報 Vol. 21 No. 2, pp. 32~44 (1984)
- 6) 中山健吾, 高林義弘, 森田秀敏, 球形タンク方式LNGのタンク防熱特性, 三菱重工技報 Vol. 21 No. 2, pp. 74~82(1984)
- 7) 藤谷亮, SPB方式LNG船について, 關西造船協會誌, 第198號, pp. 1~8(1985. 9)
- 8) 藤谷亮, 自立角型(SPB)の概要と背景, 日本造船學會誌, 第688號, pp. 41~48(1986. 10)
- 9) 荻原亮太郎, 鴨丸紀之, 中村容透, 原田努, 平岡照, 球形LNGタンク用防熱構造の強度解析について, 關西造船協會誌, 第202號, pp. 81~92(1986. 9)
- 10) 守谷富男, 高雄信吾, 梅川信彦, 川嶋穰, LNG선タンク内壓上昇評價手法, 日本造船學會誌, 第723號, pp. 25~30(1989. 9)
- 11) 西川兼康, 藤田恭伸, 傳熱學, 理工學社, pp. 173~205(1988)
- 12) 최인규, 조성환, 노승탁, 열전달, 보성문화사, pp.

10 韓國船用機關學會誌, 第17卷 第1號, 1993

329 ~ 442(1992)

13) International Maritime Organization, IGC
CODE(International Code for the Construction

and Equipment of Ships Carrying Liquefied
Gases in Bulk), IMO, London, pp. 47 ~ 57(1993)