



## LNG 연료탱크의 단열성능 평가 절차에 관한 연구

†조상훈 · 심명지 · 정영준 · 김익수

엔케이 기술연구소

(2018년 3월 12일 접수, 2018년 6월 25일 수정, 2018년 6월 26일 채택)

## A Study on Thermal Performance Evaluation Procedures of LNG Fuel Tank

†Sang-Hoon Cho · Myung-Ji Sim · Young-Jun Jung · Ik-Soo Kim

NK Co., Ltd., R&D Center, Busan, Korea

(Received November 4, 2017; Revised June 6, 2018; Accepted June 7, 2018)

### 요약

국제해사기구(IMO)의 선박 배출가스 기준 강화로 인해 LNG 연료추진선박의 필요성이 대두되고 있으며 관련 분야에 대한 기술개발 및 실용화 촉진 연구가 활발하게 진행되고 있다. LNG 연료탱크는 운항 중 연료소비로 인하여 잔류량이 70% 미만이 될 경우 슬로싱을 고려하여야 하므로 재액화 장치를 탑재하기 어려운 중소형 LNG 연료추진선박은 Type C 형태의 압력 탱크가 적용될 가능성이 높다. 이러한 LNG 연료추진선박에 적용되는 LNG 탱크는 구조적 안전성과 더불어 LNG를 오래 보관하기 위한 단열성능이 매우 중요하다. 본 연구에서는 Type C LNG Tank에 대한 단열성능 평가 절차를 제안하였고, 실험을 통해 LNG 탱크의 열적 특성으로 인한 온도, 압력, BOG(Boil Off Gas)의 변화를 비교, 분석함으로써 BOR(Boil Off Rate) 테스트 절차에 대한 타당성과 유효성을 검증하였다.

**Abstract** - As guidelines for exhaust gases of ship are reinforced by the International Maritime Organization, the necessity for LNG fuelled ship is emerging. The relevant research is actively progressing to develop technologies and promote commercialization. When the residual quantity of LNG fuel tank is less than 70% by consuming fuel during operation, sloshing should be considered. We applied the Type C LNG fuel tank because medium sized LNG fuelled ships are difficult to equip with re-liquefaction system. Structural integrity and thermal performance are very important, especially in LNG fuel tanks that apply to LNG fuelled ship. Through this study, we proposed evaluation procedure of thermal performance for the Type C LNG tank, and verified the validity and effectiveness of BOR(Boil-Off Rate) test Procedure by comparing and analyzing changes in temperature, pressure, BOG(Boil-Off Gas).

**Key words** : LNG, Fuel Tank, Thermal Performance, Evaluation Procedures, BOR

### 1. 서론

국제해사기구에서는 선박배출가스 규제 지정해역인 ECA(Emission Control Area)를 설정하여 선박연료 연소로 인해 발생하는 황산화물 배출을 줄이기 위해 선박 연료유의 황 함유량을 규제하고 있

으며 2020년 이후 전 세계 모든 해양에서 선박연료 황 함유량을 기존 3.5%에서 0.5% 이하로 제한하는 규제를 추진 중이다. 이러한 선박 연료유의 황 함유량 규제는 신조선, 기존선 모두에 적용될 예정이며 점진적으로 LNG 연료추진선의 발주는 증가되고 LNG 연료탱크의 수요 역시 증가될 것으로 예상된다.

IGF Code(International code for Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels) 6.9절에 의하면 선박이 운항되지 않을 경우 15일 동안 탱크

†Corresponding author:shcho1@nkcf.com

Copyright © 2018 by The Korean Institute of Gas

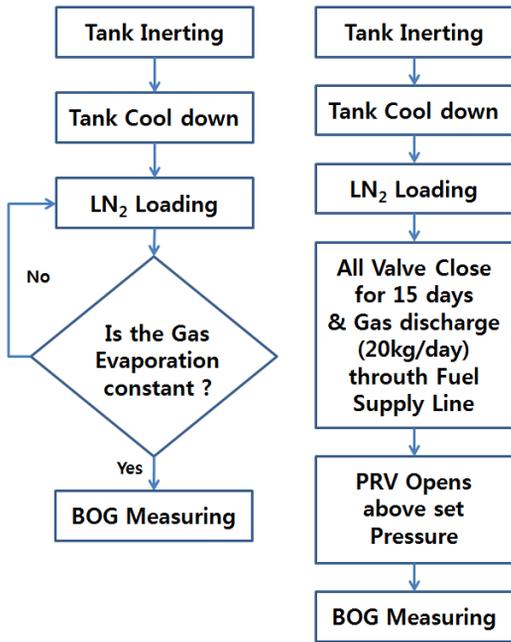


Fig. 1. Flowchart of proposed BOG Test Procedure KGS AC416(left), Experiment(right).

내부의 압력은 탱크 안전밸브 설정압력 미만으로 유지하여야 한다[1]. 본 연구에서 적용하고자 하는 Type C Tank의 경우 압력탱크로서 재액화 장치 없이 침입하는 열에 의해 상승하는 압력을 탱크가 견딜 수 있게 설계되어 있다. LNG가 탱크 내 저장되는 동안 대류, 전도, 복사로 인한 열침입은 탱크 내부에 BOG (Boil-Off Gas)를 발생시킨다. 이러한 BOG의 발생은 연료탱크 내 압력을 더욱 상승시키며 압력이 탱크의 안전밸브 설정압력보다 커지게 되면 탱크의 안전밸브가 열려 가스가 배출되고 가스연료의 손실이 발생한다. 이와 같이 LNG 연료 탱크에서 BOG는 탱크의 단열성능을 평가하는 중요한 변수입과 동시에 탱크의 경제성을 결정짓는 중요한 요소이므로 탱크의 특성을 고려한 정확한 단열성능 측정방법은 매우 중요하다. 하지만 IGF 및 선급의 LNG연료추진선박 관련 규정에서는 단열성능 평가방법에 대한 표준 절차 및 기준은 제시하고 있지 않다. 관련된 규정으로는 한국가스안전공사에서 발행한 액화천연가스 차량용 탱크 제조의 시설·기술·검사기준의 단열성능검사 방식이 있지만, 이는 BOG 압력을 고려하지 않고 탱크 내에서 발생한 전체 BOG를 측정하는 방법이므로 실제 사용 환경에서 BOG 압력을 유지 후 발전용으로 사용이 가능한

Table 1. Main Characteristics of LNG Tanks of Various Type

Tank Type	Description	Pressure
A	Full secondary barrier	< 0.07MPa
B	Prismatic tank; partial secondary barrier	< 0.07MPa
	Spherical tank; partial secondary barrier	
C	Pressure vessel; no secondary barrier	> 0.2MPa

Type C LNG Tank의 장점을 부각시킬 수 없는 시험 방법이다[2].

본 연구에서는 Type C LNG Tank에 적합한 BOR 테스트의 절차를 제시하고, 제시한 절차에 의해서 Type C LNG Tank에 대한 BOR 테스트를 수행함으로써 BOR 테스트 절차에 대한 타당성 및 유효성을 검증한다. 또한 실험을 통해 극저온 액화가스를 저장하는 탱크의 내부 온도, 압력, 유량이 변동되는 특성을 분석하였다.

## II. Type C LNG Tank

### 2.1. Type C LNG Tank의 특징

Table 1은 IMO에서 규정하는 LNG 탱크 형식의 구분과 주요특성이다. 크게 3가지 type으로 나눌 수 있는데, 이 3가지 형식 중 Type C는 0.2MPa 이상으로 탱크의 사용압력을 설정할 수 있으며, 2차 방벽 (Secondary Barrier)이 필요 없는 전통적인 원통형 압력탱크의 형태이다.

Type C Tank의 특징은 심플하고 유지보수가 쉬우며 비교적 낮은 비용으로 설치 가능하다는 장점이 있으며 사용적인 측면에서 가장 큰 장점은 LNG의 기화에 의해 상승하는 탱크 내부의 압력을 탱크 스스로 견딜 수 있기 때문에 연료손실 없이 장기간 사용이 가능한 경제성 높은 LNG 탱크이다.

### 2.2. 실험대상

실험 대상은 IGC, IGF, ASME Code에 의하여 설계된 IMO Type C LNG Tank이다. 탱크는 이중 벽 구조로써 크게 내조와 외조로 구분되며 내조에는 LNG가 저장되고 외조는 탱크의 단열을 위한 진공 유지와 내조를 보호하는 역할을 한다. 내조와 외조 사이에는 단열성능 확보를 위하여 Perlite를 충전한

**Table 2.** Specification of Type C LNG Tank

Tank Type	IMO Type C Double Shell
Gross Volume	21 m <sup>3</sup>
Net Volume	19 m <sup>3</sup>
Liquid Weight(LN <sub>2</sub> )	15,460 kg
Design Pressure	0.9 MPa(Gauge)
Safety Valve Setting Pressure	1.35 MPa(Gauge)
Tank Dimension	1,800 mm(I.D) / 8,823 mm(L)
Insulation	Vacuum & Perlite / 300 mm

**Table 3.** Conditions of Calculation

Internal Temperature	-195.65℃
External Temperature	20℃
Liquid Density(LN <sub>2</sub> )	808.6kg/m <sup>3</sup>
Latent Heat(LN <sub>2</sub> )	47.4kcal/kg
Design of Vacuum	0.05Torr
Thermal Conductivity	0.00407W/m℃ (Vacuum&Perlite) 17.0W/m℃ (High manganese steel) 0.17W/m℃ (support)

후 0.05Torr로 진공압력을 형성하였다. **Table 2**는 실험 대상 주요 사양이며, 화물의 무게는 실험 상황을 고려하여 액체질소로 산출하였다.

### 2.3. 단열성능 계산

BOR 계산 시에 사용한 열전달 특성 및 물성을 **Table 3**에 정리하였다.

LNG 탱크의 단열성능 예측을 위하여 아래의 식 (1)을 이용하여 침입되는 열량을 계산하고 계산된 열량을 바탕으로 식 (2)를 이용하여 기화된 가스량을 예측하였다.

여기서, 식 (1)은 LNG 탱크에서 가장 큰 열손실 인자인 전도(Conduction)에 의한 열 침입량이다. 이는 본 실험에 사용되는 LNG 탱크는 갑판 하부 또는 태양열을 차단해 줄 수 있는 그늘에 설치되므로 복사

**Table 4.** Calculation of BOR during 15 days

Day	Temperature (℃)	Pressure (MPa)	Liquid Weight (kg)	Boil-Off Rate (%)
0	-190.3	0.2622	15341.1	0.124
1	-189.5	0.2853	15314.0	0.130
2	-188.7	0.3084	15285.1	0.134
3	-188.0	0.3316	15254.6	0.138
4	-187.2	0.3549	15222.5	0.141
5	-186.4	0.3782	15189.1	0.143
6	-185.6	0.4015	15154.3	0.144
7	-184.8	0.4249	15118.3	0.145
8	-184.1	0.4484	15081.3	0.145
9	-183.3	0.4719	15043.4	0.144
10	-182.5	0.4955	15004.7	0.142
11	-181.7	0.5191	14965.3	0.139
12	-180.9	0.5428	14925.4	0.136
13	-180.1	0.5666	14885.1	0.131
14	-179.3	0.5904	14844.5	0.125
15	-178.5	0.6143	14803.9	0.118

(Radiation)로 인한 열 침입량은 크지 않다고 가정하였으며, 대류(Convection)의 경우는 본 LNG 탱크가 이중진공단열 시공된 것이므로 대류를 통한 열 침입은 거의 없을 것으로 가정하였다[3].

$$Q = A \times U \times \Delta T / t \quad (1)$$

$$W_B = Q / e \quad (2)$$

여기서,

- Q : 침입 열량
- A : 열이 침투되는 면적
- U : 열전도도
- t : 열이 침투하는 경로의 길이
- ΔT : 탱크 내부와 외부 온도 차이
- W<sub>B</sub> : 기화된 가스량
- e : 증발잠열

탱크는 액화질소를 적용했을 때 15일간의 열 침입 량에 따른 온도, 압력, BOR 변화를 Table 4에 나타 내었다. 계산 결과는 Air Liquide社에서 제공하는 Gas Encyclopedia의 N<sub>2</sub>가스의 압력, 온도, 비용적, 엔트 로피, 엔탈피 등의 상태량의 관계를 참조하여, 실제 LNG 탱크에서 하루 당 사용되어지는 엔진의 연료 소 모량을 고려하였다. Gas Encyclopedia의 값에서 보 간법을 사용하여 엔트로피, 엔탈피 등의 값을 계산 하고 특히, 열 침입량 계산 시 내조의 실제 보냉 방 법인 진공상태와 필라이트 단열체의 열전도도를 고 려하였는데, 0.05 Torr의 진공 압력 상태에서 필라 이트를 충전하였을 때의 열전도도를 적용하였다[5].

### III. 실험 방법

실험은 일반적인 단열성능 테스트와 비슷하지만 실제 선박에서 발전기엔진 가동에 의한 연료소모량 을 모사하는 상황을 추가하였다. Fig. 1은 실험장치의 구성이며 실험에는 비가연성인 액체질소(LN<sub>2</sub>)가 사용되었다. LN<sub>2</sub>는 액화온도가 대기압에서 -196℃ 의 초저온 상태이기 때문에 단열성능 테스트에 주 로 사용되고 있다[8].

#### 3.1. Tank Inerting

탱크 내에 질소를 주입하여 산소의 농도를 낮춤 으으로써 반응 중에 발생할 수 있는 가스의 화재, 폭 발을 예방하고 외부의 이물질이 들어오지 못하게 한다. 또한, 탱크 내부의 수증기를 제거함으로써 습 도(Humidity)를 낮추어 수증기의 응결로 인한 탱크 손상을 방지 할 수 있다. 질소의 주입은 산소농도가 1% 이하로 되었을 때까지 진행하도록 한다.

#### 3.2. Tank Cool down

상온의 탱크에 극저온의 LN<sub>2</sub>가 주입되면 급격한 온도 변화로 인한 열충격이 발생하여 탱크가 파손될

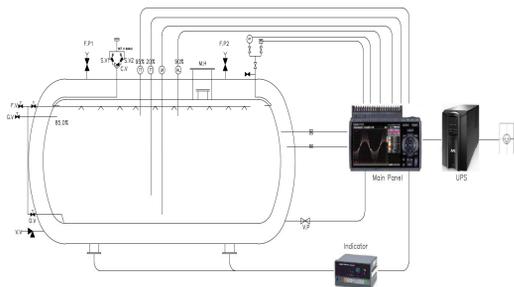


Fig. 2. Schematic Diagram of LNG Mock-up Tank.

수 있기 때문에 탱크 상단에 설치 된 Spray Nozzle 을 사용하여 소량의 LN<sub>2</sub>를 분사함으로써 탱크 내부 의 온도를 서서히 낮추어야 한다. 멤브레인(Mem-brane) 타입의 LNG 탱크를 Cool down하는 경우, 탱크 내부온도가 LNG의 액화온도(-161.37℃)보다 약 30℃ 높은 -130℃가 되었을 때 Cool down을 완 료하고 LNG를 선적하였다[6]. 이를 참고하여 본 실험에서는 탱크의 하부온도가 -195.7℃ 인 LN<sub>2</sub>의 액 화온도보다 약 30℃ 높은 온도인 -160℃에 도달했 을 때 Cool down을 완료하였다.

#### 3.3. Bunkering

10m<sup>3</sup>/hr의 Loading Rate를 유지하면서 Loading 하였으며 전체 용량의 완충 Line에서 LN<sub>2</sub>가 배출 되는 시점에 충전을 완료하였다. 이때 Load Cell에 걸리는 하중과 부분별 온도, 압력 등을 기록하여 Initial Condition으로 사용하였다.

#### 3.4. Fuel Consumption

실제 선박의 경우 발전기 엔진은 계속적으로 연 료를 소모하게 되는 현상을 모사하였다. 본 실험에서 사용한 Mock-up Tank인 20m<sup>3</sup>급 연료탱크를 적용 할 수 있는 선박은 크기가 매우 작다. 현재 시중에 시판 중인 LNG선박용 이상 제작된 천연가스 엔진 또는 발전기 엔진은 중형급 이상의 선박에 적용되는 사이즈이고 이를 적용하기에는 연료소모량이 과 다하다고 판단하여, 소형 선박에 적용 검토가 되고 있는 육상용 LNG 발전기 엔진을 바탕으로 연료소 모량을 예측하였다. 선정된 엔진의 1일 연료 소모 량은 약 20kg/day로 예측하였고 밸브 조절을 통하 여 BOG 배출량을 조절하였다.

#### 3.5. BOG Measuring

연료소모량 측정을 위하여 탱크 하부에 Load cell 을 설치하고 온도와 압력 측정을 위하여 센서를 부착 하였다. 전력 안전성을 위하여 비상전원장치를 포함 하였고 15일간 각 포인트에서 측정되는 신호를 Data logger를 통하여 수집하였다.

## IV. 실험 결과

#### 4.1. Cool down 온도 측정

탱크의 하부로부터 20%, 95% 지점에 온도센서를 설치하였으며 Cool down 진행 상황을 1시간마다 모 니터링 하여 열충격에 대한 안정성을 확보하고자 하였다. Fig. 3은 탱크내부의 각 지점에서의 시간에 따 른 온도 변화를 나타낸 그래프이다. 19시간이 경과되

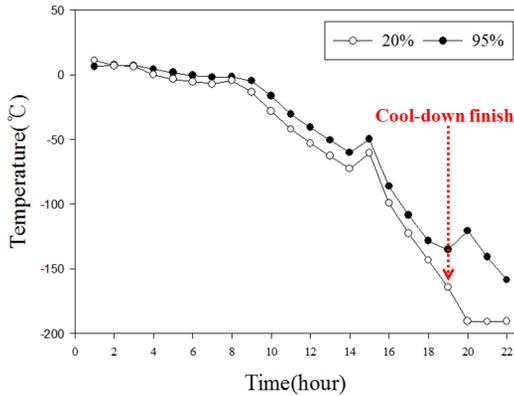


Fig. 3. Temperature Change during Cool Down.

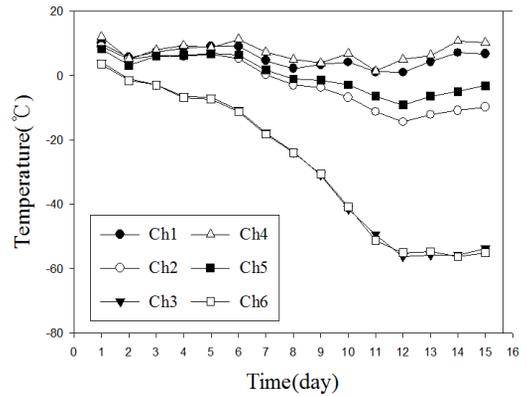


Fig. 5. Temperature Change of Insulation during 15 days.

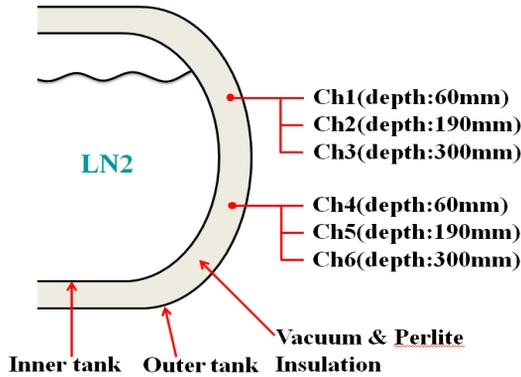


Fig. 4. Location of Temperature Sensors in Insulation.

있을 때, 탱크내부의 20% 지점은 약  $-160^{\circ}\text{C}$  이고 상부의 온도는 약  $-140^{\circ}\text{C}$  이하로 하강하였으므로 Cool down을 완료하고  $\text{LN}_2$ 의 주입을 시작하였다.

#### 4.2. 단열재 온도 측정

내부 탱크로부터의 열전달 동향을 알아보기 위하여  $\text{LN}_2$ 를 충전한 후부터 1일 간격으로 단열재의 온도를 관찰하였다. 탱크높이 20%, 85% 위치의 단열재 내부에 깊이별로 3개의 온도 센서를 설치하였고 Fig. 4는 온도센서의 위치이다.

15일 간 단열재의 온도를 측정한 결과(Fig. 5), 탱크 내조와 근접한 Ch3, Ch6 부분의 단열재 온도는 약  $-55^{\circ}\text{C}$ 까지 하강 후 유지를 하였고, 외조와 근접한 Ch1, Ch4 부분의 단열재 온도는 약  $10^{\circ}\text{C}$ 의 분포로 유지하였다. 12일 이후부터 단열재의 온도 분포는 대체적으로 일정한 온도 범위 내에서 유지되고

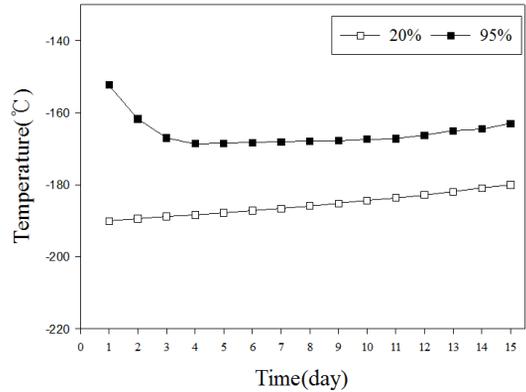


Fig. 6. Temperature Change inside Tank(20%, 95%) during 15 days.

있으므로 단열성능은 양호하다고 판단되며, Cool down 이후 내조로부터 단열재까지의 열평형은 약 12일이 걸렸다.

#### 4.3. Tank 내부 온도 측정

탱크의 내, 외부의 온도 차이로 인해 외부 열 침입은 피할 수 없는 현상이므로 탱크 내부에는 액화 질소( $\text{LN}_2$ )와 기화된 질소( $\text{N}_2$ )가 동시에 존재하게 된다. 이러한 액화질소와 기화된 질소에 대한 온도를 각각 측정하기 위해 탱크의 95% 지점과 20% 지점에 온도센서를 설치하였으며 측정값을 Fig. 6과 같이 그래프로 나타내었다. 기화된 질소가 존재하는 지점(95%)의 온도 변화를 확인할 수 있으며 충전한 지 3일 후부터 온도가 안정화되고 있음을 보인다. 액

**Table 5.** Temperature and Pressure Correlation of LN<sub>2</sub>

Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Liquid Density (kg/m <sup>3</sup> )	Gas Density (kg/m <sup>3</sup> )
-192.5	0.147	790.91	6.5014
-191.5	0.163	786.21	7.1757
-190.5	0.181	781.47	7.9014
-189.5	0.200	776.68	8.6811
-188.5	0.221	771.84	9.5175
-187.5	0.244	766.95	10.4134
-186.5	0.267	762.01	11.3718
-185.5	0.293	757.01	12.3958
-184.5	0.321	751.95	13.4886
-183.5	0.350	746.83	14.6536
-182.5	0.381	741.65	15.8944
-181.5	0.414	736.40	17.2147
-180.5	0.449	731.07	18.6187
-179.5	0.487	725.68	20.1105
-178.5	0.526	720.20	21.6947
-177.5	0.568	714.64	23.3762

**Table 6.** The Result of Experiment during 15 days

Day	Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Liquid Weight (kg)	Boil-Off Rate (%)
0	-190.1	0.20	15460.0	0
1	-189.4	0.41	15442.2	0.115
2	-188.8	0.45	15421.8	0.132
3	-188.4	0.48	15398.6	0.150
4	-187.8	0.51	15368.2	0.197
5	-187.2	0.56	15341.5	0.174
6	-186.6	0.61	15330.1	0.074
7	-185.9	0.66	15310.2	0.130
8	-185.2	0.72	15294.6	0.102
9	-184.4	0.79	15274.3	0.133
10	-183.6	0.8665	15250.8	0.154
11	-182.8	0.8264	15228.2	0.148
12	-181.9	0.8753	15212.1	0.106
13	-180.9	0.9251	15188.3	0.156
14	-180.0	0.8192	15150.4	0.250
15	-178.9	0.9348	15112.9	0.248

화질소가 존재하는 지점(20%)의 경우, 초기 온도는 -190.1°C이며 10일 후에는 -183.6°C로 측정되어 초기 온도에 비해 약 6.5°C가 상승하였다. 이는 LNG 탱크내의 열평형후 외부의 열침입에 내부 압력 증가로 판단되며, 문헌상의 -183.6°C에서 LN<sub>2</sub>의 포화 압력은 약 0.35MPa이고 측정된 압력은 0.86MPa로서 LN<sub>2</sub>의 포화상태보다 0.51MPa가 높은 것을 확인하였고 탱크 내부는 액체와 기체의 2 Phase상태인 것으로 판단된다[5].

**4.4. 단열성능 평가**

15일 동안 측정된 값을 아래의 식 (3)에 대입하여 BOR (Boil-Off Rate) 값을 계산하였다. 여기서, W<sub>B</sub>는 기화된 가스량(Boil-Off Gas)을 의미하며, W<sub>i</sub>는 액화 가스량을 의미한다[9], [10], [11].

$$Boil\ Off\ Rate(\%) = W_B / W_i \times 100 \quad (3)$$

실험을 통하여 측정된 탱크 온도, 압력, BOR을 Table 6에 나타내었다. Table 7은 계산값과 측정값의 무게 비교이며, Table 8은 압력에 대한 비교이다.

계산 값과 측정 값에 대해 비교·분석을 진행한 결과, Liquid Weight의 경우 초기부터 118.9kg의 오차가 있었으며, 15일 후 무게 오차는 309kg으로 증가하였다. 이는 전체 무게의 약 2% 수준이다. 압력의 경우 초기 0.06MPa의 오차가 있었으며, 15일 후 약 0.32MPa의 오차를 보였으며, 초기 오차를 제하더라도 0.26MPa의 차이를 보인다.

**Table 7.** The Error Factor of Liquid Weight

Day	Temperature (°C)	Liquid Weight (kg)	
		Calculation	Experimental
0	-190.1	15341.1	15460.0
1	-189.4	15314.0	15442.2
2	-188.8	15285.1	15421.8
3	-188.4	15254.6	15398.6
4	-187.8	15222.5	15368.2
5	-187.2	15189.1	15341.5
6	-186.6	15154.3	15330.1
7	-185.9	15118.3	15310.2
8	-185.2	15081.3	15294.6
9	-184.4	15043.4	15274.3
10	-183.6	15004.7	15250.8
11	-182.8	14965.3	15228.2
12	-181.9	14925.4	15212.1
13	-180.9	14885.1	15188.3
14	-180.0	14844.5	15150.4
15	-178.9	14803.9	15112.9

**Table 8.** The Error Factor of Pressure

Day	Temperature (°C)	Pressure(MPa)	
		Calculation	Experimental
0	-190.1	0.26	0.20
1	-189.4	0.28	0.41
2	-188.8	0.30	0.45
3	-188.4	0.33	0.48
4	-187.8	0.35	0.51
5	-187.2	0.37	0.56
6	-186.6	0.40	0.61
7	-185.9	0.42	0.66
8	-185.2	0.44	0.72
9	-184.4	0.47	0.79
10	-183.6	0.49	0.86
11	-182.8	0.51	0.82
12	-181.9	0.54	0.87
13	-180.9	0.56	0.92
14	-180.0	0.59	0.81
15	-178.9	0.61	0.93

## V. 결론

본 연구에서는 Type C LNG Tank에 적합한 BOR 테스트의 절차를 제시하고, 제시한 절차에 의해서 Type C LNG Tank에 대한 BOR 테스트 및 계산을 수행함으로써 제시한 BOR 테스트 절차에 대한 타당성 및 유효성을 검증하였다. 연구 결과는 아래와 같이 정리하였다.

(1) BOR 테스트를 통해 15일 간의 온도, 압력, BOG량의 변화를 측정하였다. 이 결과 21m<sup>3</sup> IMO Type C Double shell LNG Tank의 평균 BOR은 0.142%/day임을 확인하였다.

(2) 계산을 통한 BOR 예측 결과, 21m<sup>3</sup> 용량의 IMO Type C Double shell type LNG Tank는 BOR은 약 0.103%/day임을 확인하였다.

(3) 실험에 의한 BOR값 및 계산에 의한 BOR값을 비교한 결과, 실험치가 계산치보다 0.039%/day 크게 나타나고 있으나 외부 실험 조건을 고려하면 이는 실험 오차 정도로 생각할 수 있다. 이런 오차는 실제 탱크의 경우 LNG로 인한 대류, 복사, 전도 등의 열전달 현상이 발생하지만 복합적인 열적 현상을 정확하게 계산에 적용하는 것은 한계가 있다는 점이다. 하지만 전체적인 수치에서는 큰 차이를 보이지 않기 때문에 본 연구에서 제안한 Type C LNG Tank의 BOR 테스트 절차는 관련 표준 절차 및 기준을 정립하는 연구 활동에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

(4) 향후 BOR의 양을 보다 정확하게 측정하기 위해서는 LNG 탱크의 전체 무게와 더불어 연료소모조건을 모사하기 위해 방출되는 가스의 유량 측정 방법 병행도 필요할 것으로 판단되며, 추후 진행

하는 BOR 테스트에 반영할 계획이다.

## 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 지역특화산업육성사업 “중소형 LNG 추진선박용 통합제어형 연료공급모듈 기술개발 및 사업화사업”의 연구비 지원에 의해 수행된 결과입니다.

(과제번호 : R0002903)

## REFERENCES

- [1] International Code of Safety for Ship Using Gases or Other Low flashpoint Fuels, IMO. Res. MSC.391 (95), (2015)
- [2] Code for Facilities, Technology and Inspection for Manufacturing of High-Pressure Gas Tanks Fixed on Vehicles, (2017)
- [3] J. U. Heo, Transient Heat Transfer Analysis of Liquid-Structure Interaction System, department of mechanical design engineering, Pusan national university, korea, (2002)
- [4] <http://www.lngbunkering.org> LNG fuelled vessels
- [5] <https://encyclopedia.airliquide.com> Gas Encyclopedia Air Liquide
- [6] 2017 GIIGNL LNG Custody Transfer Handbook, [http://giignl.org/system/files/giignl\\_cthb\\_5.0.web\\_.pdf](http://giignl.org/system/files/giignl_cthb_5.0.web_.pdf), Accessed March, (2017)
- [7] Wordu, A. A, Peterside, B, "Estimation of Boil-off Gas BOG from Refrigerated Vessels in Liquefied Natural Gas Plant," International Journal of Engineering and Technology, vol. 3, no. 1, pp. 44-49, (2013)
- [8] J. O. Han, Y. W. Lee, "Study on Abiabetic Performance of LNG Storage Tank for Vehicles," Journal of the Korean Institute of Gas, vol. 12, no. 1, pp. 31-35, (2008)
- [9] S. Y. Hwang, J. H. Lee, "Comparative Study on the Thermal Insulation of Membrane LNG CCS by Heat Transfer Analysis," Journal of the computational structural engineering institute of Korea, vol. 29, no. 1, pp. 53-60, (2016)
- [10] K. C. Han, S. W. Hwang, J. R. Cho, J. S. Kim, J. W. Yoon, O. K. Lim, S. B. Lee, "A Study on the BOIL-off Rate Prediction of LNG Cargo Containment Filled with Insulation Powders, Journal of the computational Structural Engineering Institute of Korea, no. 2, pp. 193-200, (2011)
- [11] M. S. Zakaria, "Boil-off Gas Formation Inside Large Scale Liquefied Natural Gas(LNG) Tank based on Specific Parameters," Applied Mechanical and Materials, vols. 229-231, pp. 690-694, (2012)