

# 열선을 이용한 해양플랜트 헬리데크의 방한설계에 관한 연구

배소영·강규홍<sup>†</sup>  
(재)한국조선해양기자재연구원

## A Study of Winterization Design for Helideck Using the Heating Cable on Ships and Offshore Platforms

So Young Bae·Gyu-Hong Kang<sup>†</sup>  
Korea Marine Equipment Research Institute

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

In recent years, the demand for ships and offshore platforms that can navigate and operate through the Arctic Ocean has been rapidly increasing due to global warming and large reservoirs of oil and natural gas in the area. Winterization design is one of the key issues to consider in the robust structural safety design and building of ships that operate in the Arctic and Sub-Arctic regions. However, international regulations for winterization design in Arctic condition regulated that only those ships and offshore platforms with a Polar Class designation and/or an alternative standard. In order to cope with the rising demand for operating in the Arctic region, existing and new Arctic vessels with a Polar Class designation are lacking to cover for adequate winterization design with HSE philosophy. Existing ships and offshore platform was not designed based on reliable data based on numerical and experiment studies. There are only designed as a performance and functional purposes. It is very important to obtain of reliable data and provide of design guidance of the anti-icing structures by taking the effects of low temperature into consideration. Therefore, the main objective of this paper reconsiders anti-icing design of aluminum helideck using the heating cable. To evaluate of reliable data and recommend of anti-icing design method, various types of analysis and methods can be applied in general. In the present study, finite element method carried out the thermal analysis with cold chamber testing for performance and capacity of heating cables.

**Keywords** : Artic conditions(극지 환경), Helideck(헬리데크), Winterization(방한기능), Heating cable(열선), Cold chamber(저온 챔버)

## 1. 서론

최근 자원부족 현상에 따른 극지자원개발과 극지용 해양플랜트 구조물 설치 및 선박 통항량 증가로 극지 환경 기술에 대한 필요성이 증가하였다. 그에 따른 저온과 얼음에 대한 특수 기술 및 장비개발, 성능 검증을 위한 안전성 평가가 요구되고 있다. 현재 DnV나 NORSOK, IMO Polar code 등 극지환경에 따른 방한 규정을 제정하고 있지만, 지금 현재는 가이드라인으로 극지환경 방한 설계에 대한 참고는 가능하지만 정확한 설계규정이 정의되어 있지 않다. 따라서 극지용 해양플랜트 및 선박의 방한 설계 시 정보 부족으로 인한 많은 어려움이 따른다.

Winterization은 카테고리 2가지로 정의된다. 첫 번째 Anti-

icing은 항상 얼음으로부터 자유롭도록 유지해야하는 부분이다. 예를 들어, Navigation(항해장치), Steering & Propulsion(조종 및 추진장치), Anchoring(계선), Lifesaving(구명장비), Escape Routes(탈출로)가 있으며, 이 장치들은 항상 얼음이 얼면 안되는 것을 의미한다. 두 번째 De-icing은 얼음의 상태에 따라 합당한 시간 안에 얼음을 제거해야하는 것을 의미한다. 예를 들어 De-icing이 필요한 구역은 deck and superstructures(갑판과 구조물), helicopter decks(헬리데크), railings(난간), cargo deck area(화물칸)이 있으며, 합당한 시간은 대체로 4시간에서 6시간 사이를 의미한다. De-icing은 주로 승무원들이 생활하는 환경 등에 연관이 있으며, 그 중 승무원들의 안전과 가장 연관 있는 helicopter decks(헬리데크)에 대한 Winterization 연구를 본 논문에서 수행하고자 하였다.

Winterization에 대한 선진연구로는 상부갑판 결빙방지를 위한 성능평가 실내시험을 바탕으로 한 극저온 설계 및 동결방지처리 평가 기술 개발에 대한 연구 (Lee, et al., 2012)와 저온환경에서 선박의 방한설계 시 필요한 내용과 규정에 대한 연구 (Kang, et al., 2010, 2011). 그리고 극지를 운항하는 선박에서 발라스트 수 결빙 방지를 위한 열선 및 순환, 버블 시스템에 관한 연구가 있다 (Jeong, 2011). 또한, 촉매를 사용하는 Winterization 기존 방법이 환경규제로 인해 제재되자 최근에는 HSE(안전, 보건, 환경, Health Safety Environment)를 고려한 열선 설계 연구가 진행되고 있다 (The IMO Guidelines for Ships Operating in Artic Ice-Covered Waters, 2007).

하지만, 현재 운항하고 있는 선박 및 해양플랜트에 설치되어 있는 Winterization 열선들은 신뢰할만한 데이터를 기준으로 설계되어있지 않기 때문에 최소한의 전기적 용량만을 제시하였다. 따라서 광범위한 헬리데크 표면에 제빙기능을 완벽히 수행하기엔 부족하였고, 이러한 문제들은 긴급사항 시 선원 및 작업자들의 안전에 위협을 초래하고 있다.



Fig. 1 Helideck on artic condition

Fig. 1의 왼쪽 그림은 극지에 위치한 헬리데크 상부에 눈이 쌓여 제빙기능을 수행하고 있는 중이다. 따라서 중간 부분부터 열에 의해 눈이 녹고 있는 것을 보여주고 있으며, 오른쪽 그림은 왼쪽 그림에서 녹아있는 중간그림을 확대한 그림이다. 열전달이 고르게 되지 않아 완벽하게 제빙기능이 되지 않고 있는 것을 볼 수 있다. 열선의 적절한 배치 설계가 이루어져야 하는데 정확한 열선의 용량과 면적 대비 방한 설계가 이루어지지 않았기 때문에 열선과 열선 사이에 열 전달이 이루어지지 않아 제빙이 완벽하게 기능을 수행하지 않은 것을 의미하는 그림이다.

실제 필드에서 열선을 배치할 때는 규정을 만족하고 수많은 경험을 토대로 설치를 하고 있지만, 명확한 기준과 설계방법에 대한 가이드라인이 없기 때문에 극지 환경을 운항할 때 Winterization 기능이 제 역할을 수행하지 못하는 경우가 빈번하게 발생하고 있다. 따라서 타당한 해석 및 실험을 이용해 공학적 설계가 필요하고 나아가 빙해역 운항 선박 및 해양플랜트의 위험성과 표준화된 규정이 필요할 것으로 생각된다. 따라서, 본 논문에서는 공학적 설계를 위한 열 해석과 저온챔버실험을 병행하여 공학적 설계를 위한 해석 결과의 타당성과 신뢰성을 검증하는 연구를 수행하였다. 저온 챔버를 이용해 실제 저온환경에서의 열선 온도와 발열량 등을 측정하고, 해석을 기반으로 한 공학설계에 반영하고자 하였다. 필드에서 헬리데크 방한설계 시 사용되고 있

는 열선의 온도와 전기적 입력 값을 실험을 통해 측정하고, 측정 한 최고 온도와 단위길이(m)당 입력값(W)들을 해석에 입력하여 좀 더 정확한 해석 결과와 결론을 도출하고자 하였다.

## 2. 국제 규정 및 가이드라인

DnV 규정은 DnV-OS-A201 (Winterization for Cold Climate Operations, Tentative, 2013) 을 참고하였다. DnV선급에서는 방한설계온도를 세 가지로 분류하였으며 Basic이 -15°C, Cold가 -30°C, Polar가 -45°C로 정의하였다. 본 실험 및 해석은 Basic 기준으로 수행하였다. 헬리데크는 Winterization category 1에 해당하며, 헬기 착륙 4~6시간 전에 얼음을 녹여야 한다. 하지만 극지에서는 얼음이 5~15 cm 쌓일 수 있음을 고려하여 설계하여야 한다. DnV 규정에서 Anti-icing and Deicing Arrangements and Equipment를 보면 헬리데크에서는 최소 300 W/m<sup>2</sup>이상의 heating power capacity(열 용량)가 필요하다고 정의되어있다.

Heat Loss from Flat Surface in w/m<sup>2</sup>:

Wind (m/s)	Ambient (deg C)			
	-5	-10	-15	-20
no wind	300.0	300.0	300.0	300.0
5	300.0	300.0	334.0	432.2
10	300.0	378.1	535.7	693.2
15	300.0	506.3	717.3	928.2
20	365.2	626.1	886.9	1147.8

recommending minimum heat load of 300 w/m<sup>2</sup> in accordance with DNV

Fig. 2 Heat loss from surgeace in w/m<sup>2</sup> (DnV rules)

Fig. 2 는 온도와 바람에 따른 단위 면적 당 Heating cable의 최소 입력 값 W/m<sup>2</sup>을 도시하였다. 그림을 보면, 온도가 낮아지더라도 바람이 불지 않으면 필요한 입력 값은 동일하다고 되어있다. 또한, 온도가 -5°C로 일정한 경우, 바람이 15 m/s까지 불더라도 필요한 입력 값은 같다고 되어있다. 하지만 실제로 이러한 부분에서 오차가 많이 발생한다. 실제로 같은 온도 일 때 풍속에 따라 열선의 열을 많이 뺏기기 때문에 전기적 방한 설계 시 온도 뿐 만 아니라 바람도 큰 영향을 미친다.

이 부분에 대한 근거를 확보하기 위해 저온 챔버를 이용한 실험 및 시뮬레이션을 수행하였다. 수행 결과 모두 온도가 낮아짐에 따라 바람이 없어도 필요로 하는 최소 입력 값은 증가하였다. 또한, 같은 온도라도 풍속이 커짐에 따라 필요로 하는 입력 값이 온도가 낮아질 때 비율보다 훨씬 크게 증가하였다. 아마도 DnV에서 제공하는 가이드라인은 최소요건을 의미하는 것으로 실제 얼음의 두께와 환경 요소에 따라 입력 값을 조절해서 사용해야 될 것으로 보인다. 입력 값이 최대인 경우는 -20°C에서 20 m/s의 바람으로 불 때 약 1,148 W/m<sup>2</sup>이 필요하고, 이는 최소 요구 조건인 300 W/m<sup>2</sup>보다 약 4배이다. 하지만 이 부분도 실제 극지 환경에서 정상적인 winterization 기능을 수행하기 위해서는 더 많은 heating power capacity(열 용량)가 요구된다.

### 3. 저온챔버실험

#### 3.1 열선 선정

Highly Accelerated Limit Test(초가속수명시험) 장비는 시뮬레이션 시험이 아니며, 제품의 강건함을 확보하기 위한 최신의 신뢰성 시험기법을 적용한 장비이다. 또한, 소수의 시료를 사용하여 설계 및 공정의 문제를 찾는 시험 기법이다. 이 장비를 사용하여 챔버 내부 온도를 -15°C로 유지하고 heating cable 별 발열 온도를 측정하였다. 총 12가지 종류의 heating cable를 실험하였고 그 중 가장 온도가 많이 올라가는 1종을 선정하였다. 12종 모두 Self-Regulating cable(SR cable)이다. 케이블 발열 실험을 수행한 그림을 Fig. 3 과 같이 나타내었다.

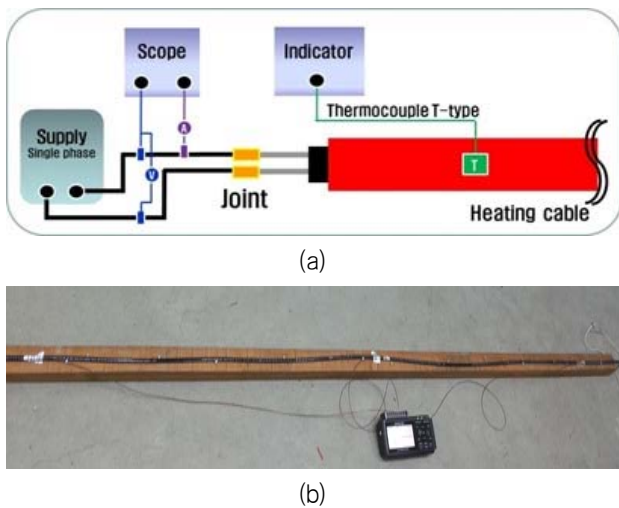


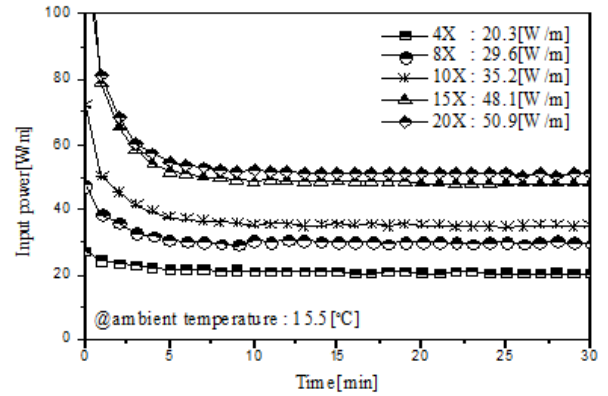
Fig. 3 (a) Heating test of heating cable (b) Experiment picture

Heater cable model No.	3B	5B	8B	10B	15Q	20Q	4X	8X	10X	15X	20X
Temperature [°C] Startup : 15.5(°C)	31.1	36.4	40.7	39.8	53.3	72.9	54.2	70.1	69.0	87.1	93.9
ΔTemperature [°C]	15.1	20.4	24.7	23.8	38.1	57.7	38.7	54.6	53.5	71.6	78.4
Input[W]	25.76	31.51	39.79	49.91	83.5	83.0	191.1	55.4	60.7	171.1	211.3
Length[m]	2.64	2.66	2.41	3.34	3.10	2.65	3.77	2.73	2.05	4.85	3.94
Input per length[W/m]	9.75	11.84	16.51	14.94	26.9	31.3	46.0	20.3	29.6	35.2	50.9
Δ[°C]/[W/m]	1.54	1.72	1.49	1.59	1.41	1.84	1.35	1.90	1.84	1.51	1.48

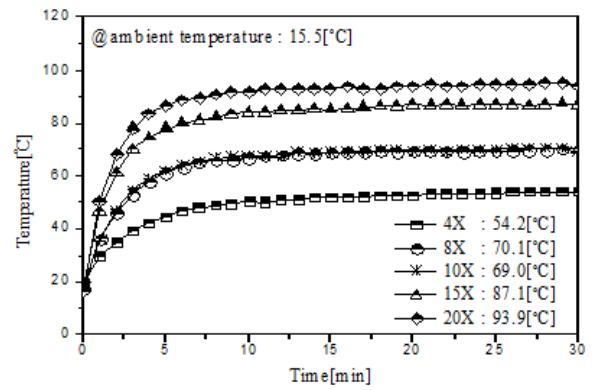
Fig. 4 Results of heating test for 12 kinds of heating cable

실험 결과인 Fig. 4는 열선 모델 별(3B, 5B, 8B, 10Q, 15Q, 20Q, 4X, 8X, 10X, 15X, 20X) 시작 온도 15.5°C에서부터 온도 변화량(Δ°C), 전기적 입력 값(W), 케이블 길이(m), 단위길이 당 입력 값(W/m), 단위길이 당 입력 값에 비례한 온도 변화량(Δ°C / (W/m))을 나타내었다. Fig. 5는 열선 12종 모델의 input power, temperature를 측정한 그래프이며, 이 중 가장 온도가 높이 올라

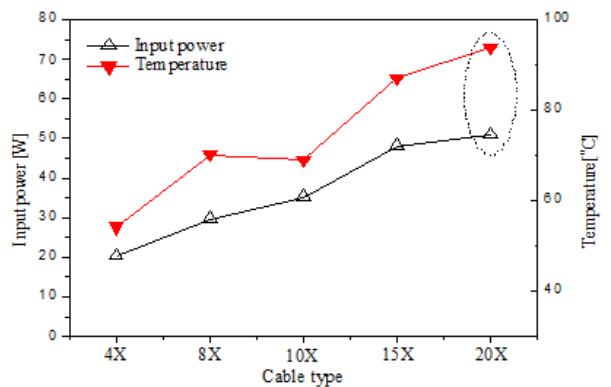
가는 20X 모델을 선정하였다. 따라서 열 해석 시 20X모델의 발열 온도와 input power 값 등 전기적 입력값을 이용하였다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 5 (a) Input power per unit length (b) The final convergence temperature (c) Comparison of heating cable type

#### 3.2 저온 챔버 사양

본 실험에 이용한 저온 챔버 장비는 HALT(Highly Accelerated Life Test) 장비이다. 이는 조선, 자동차, IT정보통신, 우주항공, 군수산업 등 다양한 산업분야에서 적용되는 효과적인 신뢰성 확

보 기술이며, 신뢰성 조기 확보를 통한 개발비용 및 서비스 비용 절감, 기업이윤 향상에 근본적인 개발여건을 제공하고 전장품의 설계 및 제조 취약부분을 단기간 내에 검출하고 개선하여 전장품의 신뢰성을 향상시키는데 이용한다. HALT 장비로 실험 가능한 온도 시험 종류는 Fig. 6에 나타내었다.

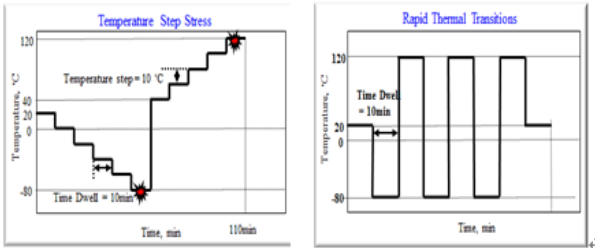


Fig. 6 (a) Temperature stress test (b) Rapid thermal transitions

## 4. 열 해석을 이용한 방한 설계

### 4.1 열 해석 조건

열 해석은 유한요소해석(Finite Element Analysis) 상용코드 ANSYS를 이용하여 수행하였다. 바람은 고려되지 않았으며, 열선의 입력값(W)과 온도를 이용하여 전체 deck frame에 미치는 열 분포를 확인하였다. 선정된 열선(20X모델)의 해석 수행 시 입력된 값은 다음과 같다. 저온챔버 실험을 통해 측정된 최대 발열 온도는 약 94°C이며, 최대 단위 길이당 입력 값은 50.9 W/m이다.

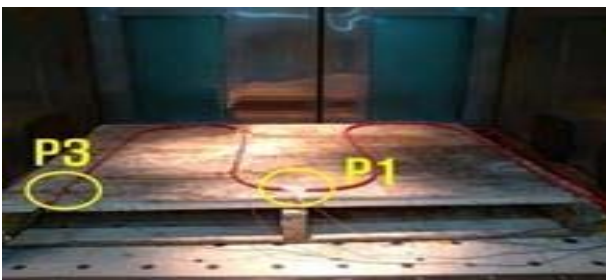


Fig. 7 Temperature of heating cable area

케이블을 Fig. 7과 같이 목재 시료에 케이블을 배치하여 -15°C에서의 부위 별 온도를 측정하였다. 하나의 케이블이지만 위치 별 약간의 온도 전도 차이가 있었다. 따라서, P1은 케이블의 곡선부, P3는 끝단부로 -15°C에서의 발열 온도를 각각 측정하여 P1과 P3의 평균값을 해석 시 케이블 온도로 사용하였다. 저온 챔버 온도는 -15°C로 설정하였으며, Fig. 8과 같이 약 1~1.5°C의 챔버 내부 온도 차이가 있었다.

Fig. 8을 보면 P1과 P3의 평균온도는 20.6°C이며, 수렴 될 때까지 충분한 시간(40min)을 두고 측정하였다. 영상에서는 발열온도가 94°C이지만, -15°C에서는 약 20.6°C로 약 70°C 가량의 온

도가 감소하였다. Fig. 9는 유한요소해석(Finite Element Analysis) 시 사용한 3D 모델과 mesh를 수행한 그림이다. 1deck frame에 5줄의 Heating cable을 삽입하여, 총 2 deck frame에 10줄의 Heating cable을 삽입한 모델링을 이용하여 해석하였다. 2 deck frame을 사용한 이유는 deck frame 연결 시 온도 전도 능력이 떨어져 최저 온도가 발생할 수 있기 때문이다.

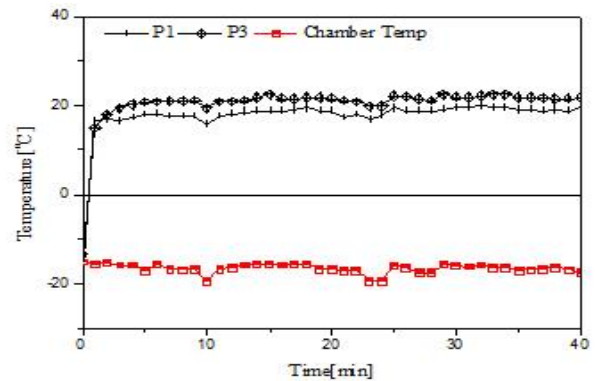
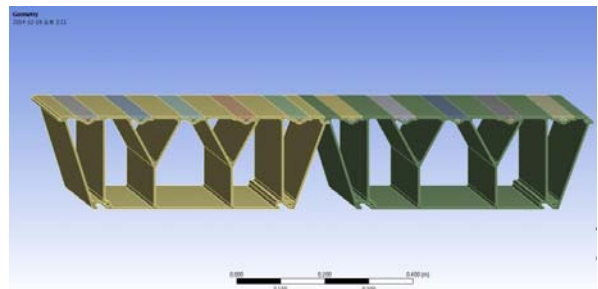
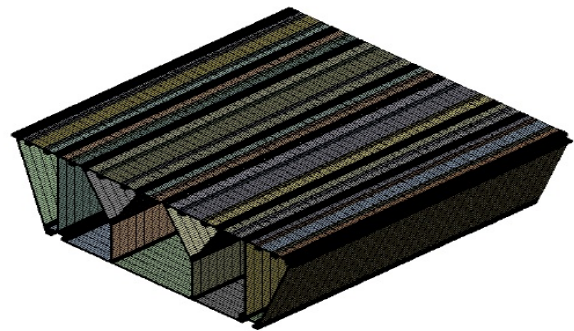


Fig. 8 Temperature of cold chamber and P1 & P3



(a)



(b)

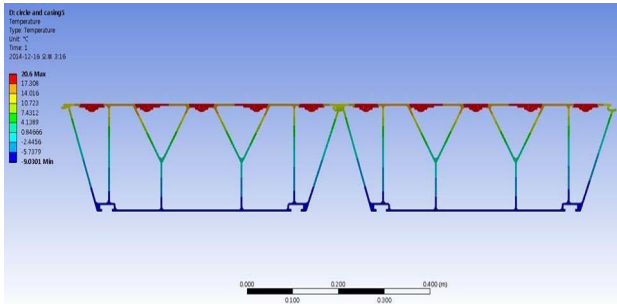
Fig. 9 (a) 3D modeling of helideck (b) mesh modeling of helideck

실험 및 해석 수행 시 발생했던 문제점은 2deck frame을 압착하여 연결하더라도 온도 전도 능력에 차이가 발생하였다. 따라서 방한 설계 시 가장 중요하게 고려해야 할 부분이 deck frame끼리의 연결부위이며 실제 필드에서 열선 사용 시 winterization 기능이 잘 수행되지 않는 부분도 이 부분이다. 따라서 연결 부위의 온도를 고려하기 위해서 최소 2deck frame 이상의 열 전도해석을 수행하고 그에 따른 설계가 반드시 필요하다고 판단된다.

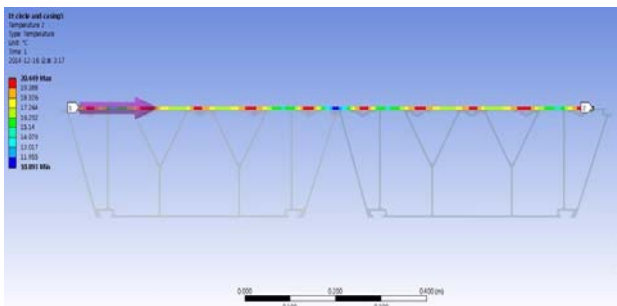
### 4.2 열 해석 결과

열 해석 방법은 Steady-state Thermal Analysis(정적 열 해석)을 수행하였으며, 열이 완전히 전도되고 온도가 수렴된 상태에서의 deck frame 온도 분포를 확인하였다.

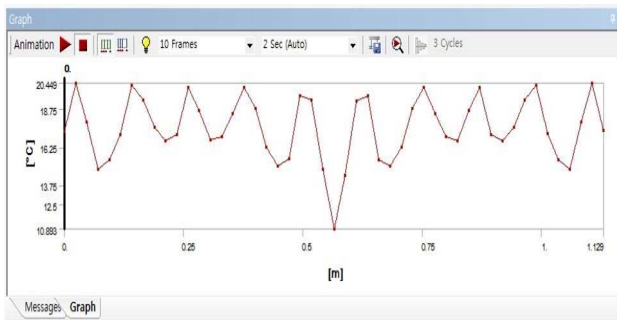
Winterization 기능의 충분한 수행 여부는 DnV 가이드라인에 나와 있는 deck 전체 분포된 온도가 최소 2°C 이상이 되어있는지를 확인하는 것이다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 10 (a) Overall temperature distribution (b) The temperature distribution of central deck (c) Central deck temperature distribution graph

Fig. 10은 열 해석 결과로 (a) 전체 deck frame에 열이 전도되어 수렴된 결과를 보여주고, (b)는 deck frame의 중앙 표면의 온도 분포를 나타낸다. (c)는 중앙표면의 온도 분포를 수치적으로 그래프로 나타내었다. 빨간 부분이 최고온도를 의미하여 파란 부분이 최저 온도를 의미한다.

시뮬레이션 결과 최고 온도는 케이블과 가장 가까운 부위며,

케이블 온도의 20.6°C와 근사한 약 20.5°C이다. 온도가 가장 낮은 부위는 deck frame의 결합 부위이며, 온도는 약 10.9°C이다. Winterization을 만족하는 2°C 보다 높으므로 winterization을 만족한다고 볼 수 있다.

Cable parameters		
Type of cable	Self-regulating cable	
Model /company	20XTV2-CT/raychem	
Available ambient temperature <sup>1)</sup>	-15	[°C]
Startup temperature <sup>2)</sup>	5	[°C]
Needed input power@-15°C	81	[W/m]
Total length of cable	1,382	[m]
Sizing(W · H)	11.7 · 7.6	[mm]
Weight	345.5	[kg]
Max. unjoint cable length	data sheet	
Power source parameters		
Source type	AC single phase	
Input voltage	200~277	[V]
Total input power@220[V]	111.9	[kW]
Frequency	50/60	[Hz]
Deck parameters <sup>3)</sup>		
Width of 1 block	2.4	[m]
Height of 1 block	2.4	[m]
Number of block	36	
Number of piece per 1 block	16	
material of deck frame	Aluminium	
Total length of deck(W · H)	14.4 · 14.4	[m]
Installation conditions		
Length of straight line	14.4	[m]
Number of straight line	96	
Capa. of circuit breaker per line	30	[A]
Number of control panel <sup>4)</sup>	6	
Number of power unit <sup>5)</sup>	6	
Ampere of each panel	85	[A]

Fig. 11 Electrical design data sheet

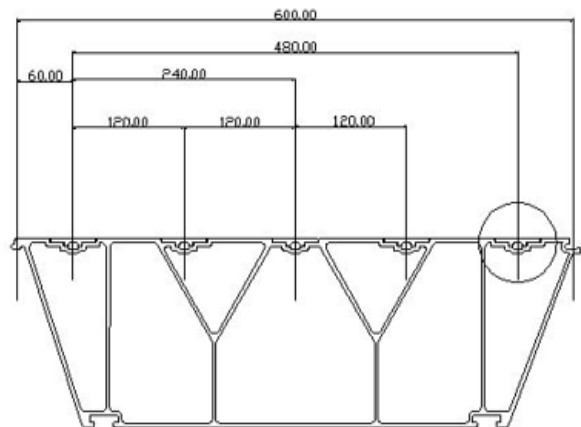


Fig. 12 Dimension of drawing

기존의 열선은 헬리데크에 끼워 넣는 식으로 설치되어 있어 바람이나, 눈에 직접적으로 노출이 되어있다. 따라서 케이블의 열 손실이 크기 때문에, 이를 막기 위해 본 방안설계에서는 케이블을 감싸는 케이스를 함께 설계하였다. 기존 방식에 비해 훨씬 더 열 보존율이 높았으며, 또한, 만족하는 결과로 케이블에 대한 전

기적 설계 데이터 시트와 열선의 자세한 사양을 Fig. 11 에 나타 내었다. Fig. 12는 케이블 배치에 따른 치수를 나타낸 도면이다.

## 5. 결 론

본 연구는 DnV 가이드라인을 준수하면서 실험과 시뮬레이션 을 통해 좀 더 정확한 방한설계에 대한 가이드라인을 도출하고자 하였다. DnV 가이드라인에서는  $-15^{\circ}\text{C}$  기준으로 바람이 없을 경 우 최소 필요한 열 용량이  $300(\text{W}/\text{m}^2)$  이상이라고 명시되어있다. 이 부분에 대해 저온 챔버를 이용한 deck 열전도 실험과 시뮬레 이션 수행을 통해 그 근거를 확인해보았다.

- 1) 실제 필드에서 사용되어지고 있는 12종의 열선 중 발열 시험 을 통해 하나의 열선을 선정하였으며, 상온과  $-15^{\circ}\text{C}$ 에서 케 이블 발열 온도를 측정하였다. 실험 결과, 열선의 전기적 사 양과 상온에서의 온도는 저온에서의 발열온도와 상당한 차이 가 있음을 확인하였다.
- 2) 상온에서의 열선 온도는  $94^{\circ}\text{C}$ ,  $-15^{\circ}\text{C}$ 에서는  $20.6^{\circ}\text{C}$ ,  $-30^{\circ}\text{C}$ 에 서는 약  $6^{\circ}\text{C}$  정도 밖에 되지 않았다. 열선 발열 온도는 바람 이 없어도 주위 환경 온도에 영향을 많이 받는 것으로 확인되 었다.
- 3) 열선 발열온도에 바람도 충분한 영향을 미치겠지만, 극지 지 역 별 온도에 따른 방한 설계 시 정확한 전기적 입력 값에 대 한 가이드라인이 필요할 것으로 생각된다.
- 4) 열 해석 수행 시  $-15^{\circ}\text{C}$ 에서의 deck frame 2개와 heating cable 10개로 deck 표면의 winterization 가능 여부를 확인하여 전기 적 용량 및 열선 사양의 가이드라인을 제시하였다. 이 값은 열 선의 사양과 deck frame의 치수에 따라 달라질 수 있다.
- 5) 하지만 DnV에서 제시하였던  $300(\text{W}/\text{m}^2)$ 보다는 입력 값이 더 필요하다는 것을 알게 되었고 극지를 위한 선박 및 해양플랜 트의 규정과 가이드라인이 계속해서 협의를 통해 수정과 향상 이 되어야 할 것으로 생각된다.
- 6) deck 면적에 따라 필요한 열선의 사양 및 전체적인 전기적 용 량 그리고 설치 가이드까지 설계 데이터 시트에 제시하였으 며,  $-15^{\circ}\text{C}$ 라는 basic 조건에 한정되어있다.
- 7) 향후 실제로 helideck 위에 눈이나 얼음이 쌓이는 경우를 인 공적으로 구현하여 실험하고 본 논문의 해석 결과와 비교해본 다면 더 좋은 연구가 될 거라고 생각한다.

## References

- DnV-OS-A201, 2013. *Winterization for cold climate operations, tentative*. Det Norske Veritas: Veritasveien 11363 HøvikNorway.
- Lee, J.C. Seo, Y.K. & Lee, C.J., 2012. A study on the anti-icing performance evaluating and design guide by heating coil for upper deck of icebreaking vessels. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 49(6), pp.541-549.
- Kang, H.K. Kim, K.P & Kim, D.H., 2010. Requirements for mechanical and environmental conditions on winterization of vessels intended for cold climate operation. *The Korean Society of Marine Engineering*, 2010(10), pp.83-86.
- Kang, H.K. Kim, K.P. Kim, D.H & Ha, T.B., 2011. The rules and winterization technology on ships intended for cold climate operation. *The Korean Society of Marine Engineering*, 35, pp.721-731.
- Jensen, Ø., 2007. *The IMO guidelines for ships operating in arctic ice-covered waters*. Working Paper. The Fridtjof Nansen Institute(FNI), Lysaker.
- Jeong, S.Y. Lee, C.J. & Cho, S.R., 2011. A study on anti-icing technique for ballast water of icebreaking vessels operating in ice-covered water. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 48(1), pp.93-97.



배 소 영



강 규 홍