

## 결빙 방지를 위한 저전력 갑판이동로 개발

### Development of a Low-power Walk-way for Anti-Icing

배상은<sup>1</sup>, 조수길<sup>2</sup>, 이운식<sup>3</sup>

Sang-Eun Bae<sup>1</sup>, Su-gil Cho<sup>2</sup>, Woon-Seek Lee<sup>3</sup>

#### 〈Abstract〉

The walk-way means a passage installed on the deck of a ship so that a person can safely move under any circumstances. So, the walk-way has to maintain a temperature of 5° C or more for anti/de-icing even at an ambient temperature of -62° C, a temperature in polar region. At present, the walk-way with heating cable is used, but the anti/de-icing effect is insufficient due to low heat transfer efficiency. Also, it has a construction problem due to heavy weight. In this study, an walk-way with a CNT surface heating element is proposed for the high anti/de-icing effect and the heating value per unit volume. The international standard survey, conceptual design, and simulation for the structural safety and the heat transfer are performed for the development of the proposed walk-way. To enhance the performance, the case studies based on the simulation analysis are conducted. Finally, the final prototype, applying the optimum material and thickness (3.2t of SS400) based on the case study results, is fabricated and experimented.

*Keywords : Carbon Nano Tube, Surface Heating Element, Anti-Icing, Walk-way, Ship Equipment*

1 정회원, 부경대학교, 기술경영협동과정, 박사과정, 부산광역시 남구 용소로 45

E-mail: sebe@cryogen.co.kr

2 정회원, 선박해양플랜트연구소, 해양플랜트산업지원센터 선임기술원, 경상남도 거제시 거제북로 1350

E-mail: sgcho@kriso.re.kr

3 교신저자, 정회원, 부경대학교, 시스템경영공학부 교수, 부산광역시 남구 용소로 45

E-mail: iewslee@pknu.ac.kr

1 Interdisciplinary Program of Management Technology, Graduate School, Pukyong National University, 45, Yongso-ro, Nam-Gu. Busan, 48513, Republic of Korea

2 Senior Engineer, Offshore Industries R&BD Center, Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering, 1350, Geojebuk-ro, Geoje-si, 53201 Republic of Korea

3 Professor, Division of Systems Management and Enigneering, Pukyong National University, 45, Yongso-ro, Nam-Gu. Busan, 48513, Republic of Korea

## 1. 서 론

극지 운항 선박의 경우, 환경적으로 열악한 조건에 따른 성능을 요구받게 된다. 따라서 극지 환경과 관련하여 지역별로 관련 규정을 적용하고 있으며, 각 규정에 따른 설계 변수를 적용한 설계 및 생산이 이루어지고 있다. 본 연구개발 대상인 갑판이동로는 외부 온도 조건인  $-62^{\circ}\text{C}$ 이내의 환경에서 착빙이 되지 않는 성능을 갖추어야 한다.

선박의 갑판에 승조원의 안전한 통행을 위해 필수적으로 설치되는 갑판이동로는 현재 전기케이블을 사용한 발열 방식으로, 구조적으로 굴곡을 부여한 다음 발열 효과를 얻는 형태이다. 그러나 금속 선재를 이용하기 때문에 비교적 중량이 크고, 전력이 많이 소모되는 단점이 있으며, 극저온의 조건에서는 부분 발열 효과만 지속되고, 선재가 통과되지 않는 부분은 얼음 상태로 존재하는 문제점이 있다. 특히 시공시 곡률 반경에 대한 제한(직경의 6~8배의 곡률반경으로 시공해야 안전) 조건과, 내부에 설치되는 전기케이블이 국내 제품인 아니기에 가격 및 시간 등을 고려할 때 유지보수에 어려움이 있다.

선박 발전기의 용량 제한으로 극지용 기자재 개발 시 저전력 성능은 선박 설계시 주요 요구사항이다. 이를 위하여 본 연구에서는 저전력, 고효율, 설치용이성이 확보된 신소재인 탄소나노튜브(CNT, Carbon Nano Tube) 기반의 갑판이동로를 설계하고자 한다. CNT 발열 기술은 저전력으로 최적의 발열 효과를 가지며 그 형태를 자유롭게 변형시킬 수 있는 장점이 있다. CNT 면상발열 기술은 토목건축, 보온플랜트, 도장/도금, 휴대용 발열체 시장, 농수산 작물재배 등 다양한 분야에 적용되고 있으나, 아직 선박에는 실제 적용되어 납품된 실적이 없는 기술이다.

본 연구는 기존의 외국인 히팅케이블이 적용된

갑판이동로에 CNT 면상발열체를 적용하여 시공이 용이하며, 제조원가를 낮출 수 있는 새로운 갑판이동로의 국산화 개발을 목표로 연구를 진행하였다. 제품 개발을 위해 조선소 설계 및 생산 전문가의 인터뷰 및 현장실사를 통해 사전에 갑판이동로에 대한 제품분석과 현재 설치상의 문제점 등을 조사하였고, 국내 선박에 있어서 갑판이동로에 발열체를 적용하는 특허군을 검색하고 주요 특허 10건을 선별하여 특허분석을 실시하였다.

또한, 제품 개발을 위한 외부설계의 온도기준을 마련하기 위해 극지운항 선박 적용 국제규격(러시아, 노르웨이, 독일, 한국 선급)을 조사하였고, 최종 조선소에서 실 선박에 탑재되는 기자재의 성능에 맞춘 기준을 마련하였다. 최적의 재질과 두께를 적용하기 위한 개념설계, 시뮬레이션을 통해 구조안전성 및 필요 발열량의 도출, 도출된 값을 기반으로 한 발열체 적용 발열모듈 설계 및 최종 시제품 제작을 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제1장 서론 이후 제2장에서는 극지운항선박의 조건 및 탄소나노튜브 면상발열체에 대한 기술개요를 서술한다. 제3장에서는 갑판이동로에 대한 1차 시제품 설계, 구조 및 열 전달 시뮬레이션 결과를 기반으로 한 최적안을 도출한다. 제4장에서는 최종 시제품 제작에 대해 소개하고, 제5장은 본 연구의 결론을 기술한다.

## 2. 극지 운항 선박의 갑판이동로

### 2.1 극지 운항 선박

북극의 기후가 온난화되고 북극해의 해빙이 지속적으로 증가되면서, 대형 선박이 지날 수 있을 정도의 북극 항로가 형성되고 있다. 북극 항로를 이용하면 네덜란드 로테르담까지의 운항 일수

가 30일에서 20일로 단축될 수 있기 때문에 그 경제적 효과가 매우 크다. 이러한 이유로 북극 항로의 이용이 활발해지고 있으며, 최근 러시아 북극해 천연가스 개발사업인 “야말 프로젝트”로 인해 극지 운항 LNG운반선이 건조되고 있으며, 향후 안정적 자원 공급을 위한 북극 자원 탐사 및 신규 선박 수주가 증가할 것으로 전망되고 있다.

북극항로 개발에 따라 국제해사기구(International Maritime Organization)에서 극지 해역 운항 선박의 안전과 오염 방지를 위해 설계, 운용, 건조, 운항 등 전반에 걸쳐 의무적으로 적용하는 Polar Code가 2017년 1월부터 발효되었으며, 러시아 선급 및 한국 선급 등 선박 관련 각 선급에서도 Winterization 등급에 따라 Table 1과 같이 운항 조건을 마련하고 있다.

Table 1. Criteria by grade of Winterization

Winterization 등급	외부 환경	외부 설계 대기온도
E3(t)	온화한 상태	-30℃ 이상
E2(t)	보통 상태	-30~-45℃
E1(t)	극한 상태	-46℃ 이하

본 연구에서 외부설계 온도기준은 실제 사업화를 목표로, 대우조선해양(주)에서 건조중인 YAMAL LNG운반선에 적용되고 있는 내부 규정을 기준으로 설정하였다. 실 선박에 탑재되는 기자재의 성능은 외부 온도를 영하 52도로 설정하고, 추가로 눈보라, 비 등 외부의 극한 환경조건을 감안하여 영하 10도를 추가하여 영하 62도에도 견딜 수 있도록 설정한다.

## 2.2 CNT 면상발열체

CNT 면상발열체는 나노탄소 소재를 이용한 액상 코팅 방식의 면상발열체 개발 기술이며, 저항

조절을 통해 200℃ 이하 범위까지 온도 조절이 가능한 유연 면상발열체 구현이 가능하다. 구동원리는 기본 물성이 탄소로 이루어져 있으며, 탄소에 전기를 가하면 탄소의 저항성으로 인해 전기에너지가 열에너지로 변환하여 발열이 구동된다. CNT 면상발열체 제조기술은 우수한 발열 특성을 가지는 CNT의 배합, 발열소재를 균일하게 도포하는 기술, 발열 페이스트 제조, 발열 균일도 유지, 발열체 전력 및 온도제어 그리고 패턴설계 및 인쇄 등이 핵심기술이다.

CNT 면상발열체 기술이 선박 기자재에 적용되어 실제 납품되고 있는 사례에 대하여 국내 조선산업 설계전문가의 인터뷰를 통한 조사 결과 아직 실적이 없는 것으로 조사되었다. 다만 북극항로를 운항하는 선박의 결빙방지를 위한 발열체 적용기술에 대한 연구[1] 및 적용 기자재에 대한 연구가 있었다.[2] 기존 연구 사례는 선박 내 선실 구역에 설치되는 일체형 화장실 바닥재에 적용하는 것으로 제안되었으나, 면상발열체의 설계 및 제작의 어려움보다는 화장실 바닥재 시공방법과 유지보수 측면에서 적용이 어렵기 때문에 선박에 실제 납품이 이루어지지 않은 사례이다.

## 3. 갑판이동로 설계 절차

### 3.1 제품 분석

극지방을 운항하는 선박의 경우, 갑판에 노출된 작업자의 이동용 통로가 결빙되어 작업자의 안전에 큰 위험을 줄 수 있다. 따라서, 통로에는 발열패드 및 코일 등과 같은 발열체를 설치하여 저온 환경에서도 이동 통로의 상면이 얼지 않도록 해야 한다. 극지운항용 선박의 갑판이동로는 현재 Fig. 1과 같이 히팅케이블을 이용한 갑판이동로가 제작

되어 설치되고 있다. 그러나 낮은 열전달 효율에 따른 Anti/De-Icing 효과가 미흡하고, 히팅케이블 설치 조건 및 특성에 따른 적용 대상 제한(히팅케이블 시공 시 곡률반경에 대한 제한 : 직경의 6~8 배의 곡률반경으로 시공해야 안전)과 케이블 보호 및 단열을 위한 추가 설비 필요 등 시공시 불편한 요소들이 많이 있다.



Fig. 1 Deck walk-way with heating cable

Table 2. Comparison of Characteristics of Heating Cable and Surface Heating Elements

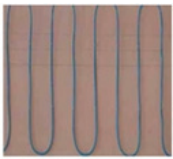
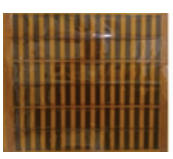
기존 (히팅케이블)	특성구분	개발 (면상발열체)
	발열체 크기 (1m x 1m)	
12.7mm 이상	두께	12.7mm 이상
130℃	발열온도	130℃
16.7	발열면적	16.7%
734Wh	소비전력	344Wh
케이블 직경의 6~8배	발열간격	발열간격 조절가능
접촉면 전달 (선발열)	열전달 방식	접촉면 전달 (면발열)
2.1kg	중량	0.25kg
100%	가격	70~80%

Table 2는 기존에 적용되고 있는 히팅케이블을 적용한 갑판이동로와 CNT 면상발열체를 적용했을 때의 특성을 비교·분석하였다.

### 3.2 개념 설계 수행 및 1차 시제품 제작

CNT 면상발열체가 적용되는 갑판이동로의 제작에 대한 다양한 사례를 조사하여, 아이디어를 도출한 결과, Fig. 2와 같이 갑판이동로에 적용 가능한 디자인을 제안하였다. 발열체의 Heating Element는 갑판이동로 상부 Steel Plate에 빠른 열전달과 필름 형태의 발열체를 보호하기 위해 Module 형식으로 구성되었다. Module은 열전도가 빠른 알루미늄 케이스로 제작되었으며 내부는 CNT 면상발열체 그리고 하부로 빠져 나가는 열을 차단하기 위한 단열재가 적용되어 있다. 내부 Module은 갑판이동로 하부에 밀착 고정시켜 열을 발생시키고 극지에서 결빙이 되지 않도록 영상 5℃를 유지하도록 설정되었으며 환경에 따라 변경될 수 있다.

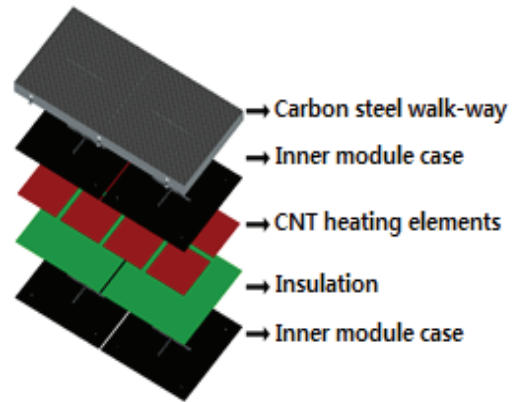


Fig. 2 Deck walk-way map

갑판이동로의 초기 개념설계는 설치 및 구조의 내구성을 높이기 위해 Fig. 3과 같이 베이스 판을 갑판 상부에 고정하고, 베이스 판 내부에 상부 처짐에 대한 보강재를 적용하여, 상부 판 하부에 발열체를 직접 고정시켜 발열온도 상승 시간을 감소시킬 수 있도록 설계하였다.

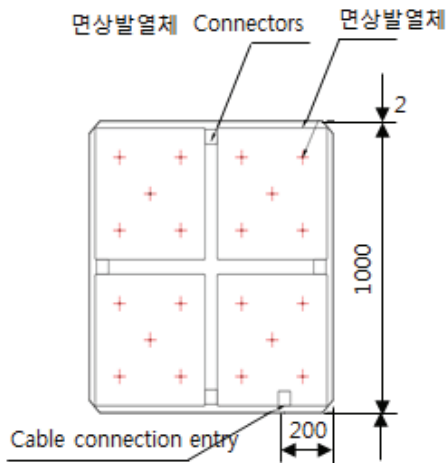


Fig. 3 Design drawing of the initial deck walkway

1차 설계 디자인은 하부판이 선박의 갑판 상부에 고정되는 타입으로 제작되었고 그 위에 조립되는 상부판에 면상발열체가 부착되어 선박 갑판의 발열 이동로가 되는 것이다. 면상발열체를 상부판 하부에 고정하기 위해 Stud Bolt를 부착하고 발열체를 그 고정부 위치를 통과시켜 Nuts를 사용하여 밀착 고정하도록 하였다.

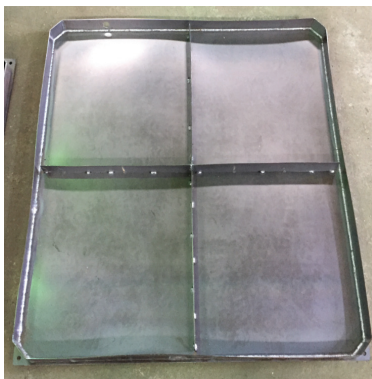


Fig. 4 Prototypes production

초기 설계도에 따라 Fig. 4와 같이 시제품을 제작하였고, 발열체 사이의 이격이 있는 경우, 발열

체 사이로 외부 공기가 순환하여 상판의 발열 상승 시간이 늘어나게 된다. 이를 방지하기 위해 시제품을 상부판 하부에 밀착 조립하였다

### 3.3 성능 검증을 위한 시뮬레이션 모델 구축

발열체는 이동 통로의 상면을 상온으로 유지시킬 만큼 충분한 발열 성능을 가짐과 동시에 작업자 및 중량물로 인한 하중으로 인해 구조적 손상이 발생하지 않도록 구조 안전성을 확보해야 한다. 이에 따라 발열체의 제작, 설치 및 테스트에 앞서 발열 성능 및 구조적 안전성을 검증하기 위해 ABAQUS를 이용하여 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 구조해석을 수행하기에 앞서, 발열판 도면을 기반으로 Fig. 5와 같이 열전달 및 구조해석용 3D 모델을 설계하였다.

#### 3.3.1 ABAQUS 해석용 모델 구축

열전달 및 구조해석은 상용 S/W인 ABAQUS를 이용하여 수행하였다. 해석용 모델 구성 시, Mesh 요소 타입은 ABAQUS에서 제공되는 DS4(Heat Transfer, 4-node shell) 및 S4(Structural, 4-node

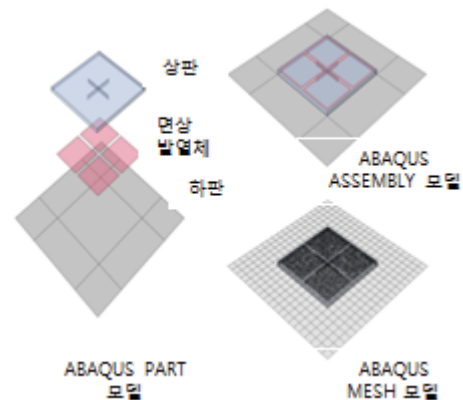


Fig. 5 Analytical model of ABAQUS

shell)를 사용하였고, 면상발열체(Heating Plate)와 상·하판(Top & Base Plate)에 사용된 요소 개수는 10,457개이다. Fig. 5는 ABAQUS 해석용 모델을 나타낸다.

### 3.3.2 면상발열체 사용 재질

면상 발열체 및 상·하판에 사용된 재질은 상판은 3가지 재질(AL3003, SUS316, SUS400)을 각각 사용하였고, 면상발열체 모듈은 AL3003, 하판은 SS400 재질을 사용하였다. Table 3과 4는 각 Part별 적용 재료 및 물성치를 보여주고 있다.

### 3.3.3 경계 및 하중 조건

#### 1) 열전달 해석 조건

열전달 해석은 면상 발열체의 발열 온도와 발열판 내·외부의 대기 온도 및 대류 조건 등을 고려하여 상판의 상면이 전체적으로 5° C 이상이 되도록 하기 위한 면상발열체 발열온도 및 목표온

도까지의 도달 시간을 비교하였다. Fig. 6은 해석을 위한 발열판의 하중 및 경계 조건을 나타낸다.

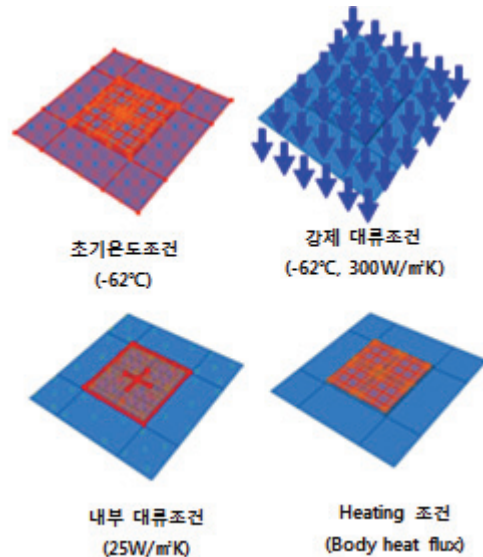


Fig. 6 Prototypes production condition of heat transfer analysis

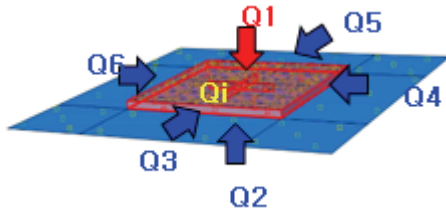
Table 3. Thermal properties

Part	Material	Thermal Conductivity [W/mm · K]	Thermal Expansion Coefficient [mm/mm · K]	Specific Heat [J/kg° C]
상판	AL3003	0.18	2.3E-5	900
	SUS316	0.0163	1.8E-5	502
	SS400	0.05	1.1E-5	470
면상발열체	AL3003	0.18	2.3E-5	900
하판	SS400	0.05	1.1E-5	470

Table 4. Mechanical properties

Part	Material	Density [kg/m³]	Elastic Modulus [GPa]	Possion ratio
상판	AL3003	2,650	72	0.3
	SUS316	8,000	193	0.3
	SS400	7,850	206	0.3
면상발열체	AL3003	2,650	72	0.3
하판	SS400	7,850	206	0.3

면상발열체 발열 시 상판 내부의 공기 온도를 계산하기 위하여 면상발열체가 설치되고 상·하판으로 둘러싸이는 영역을 하나의 시스템으로 가정하였고, 해당 시스템의 외부 유입 열량과 내부 공기의 엔탈피 증가량을 이용하여 열평형 방정식을 도출하였다. 계산식을 이용하여 면상발열체의 발열 온도에 대응하는 내부 공기 온도를 도출하였고, 내부 공기 온도를 상판의 재질별로 분류하였다. 면상발열체의 발열온도는 상판의 재질에 따라 Fig. 7과 같이 부과되었다.



1) 외부 유입 열량  
 $Q(W) = h(W/m^2C) \times A(m^2) \times \Delta T(C)$

2) 내부 공기 열량  
 $Q(kJ) = c(kJ/kgC) \times m(kg) \times \Delta T(C)$

- Q = 열량
- h = 대류열전달계수
- A = 단면적
- c = 공기 비열
- m = 공기 질량
- ΔT = 온도

<외부 유입 열량>

열량 (W)	열전달계수 (W/m <sup>2</sup> C)	면적 (m <sup>2</sup> )	경계면 온도 (°C)	내부온도 (°C)
Q1	1,000	1	80 (Heating plate 온도)	X
Q2	300	1	-62	
Q3	300	0.04	-62	
Q4	300	0.04	-62	
Q5	300	0.04	-62	
Q6	300	0.04	-62	

<내부 공기 열량>

열량 (kj)	공기 비열 (kl/kg°C)	공기 질량 (kg)	초기온도 (°C)	최종온도 (°C)
Q1	1.005	0.052	0	X

$$Q1 + Q2 + Q3 + Q4 + Q5 + Q6 = Qi$$

$$1W = 0.001Kj/s$$

재료	Heating plate 온도 (°C)	내부공기온도 X (°C)
AL3003	40	13.16
SUS316	260	164
SS400	150	92

Fig. 7 Calculation of air temperature inside top

2) 구조 해석 조건

구조해석의 경우 발열판 상면에 중량물이 놓이는 상황을 가정하여 Fig. 8과 같이 상판의 중앙 보강재를 기점으로 4분면으로 나누고, 300mm x 200mm 사이즈의 JIG를 4분면 각 중앙에 위치시켜 하중을 가하였다.

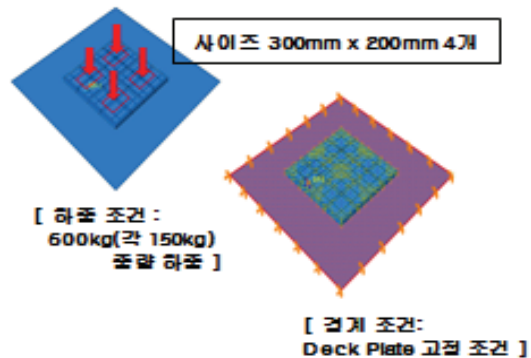


Fig. 8 Condition of structural analysis

### 3.4 성능 개선을 위한 Case Study

열전달 해석과 구조 해석은 상판의 재질과 두께에 따라 Table 5와 같이 총 15개의 시뮬레이션 Case들에 대해 수행되었다.

열전달은 상판 재질에 따라 100~900초 동안 Transient 해석을 수행하였다. 해석 결과, 상판 두께에 따른 목표 도달시간은 AL재질이 가장 빠른 속도로 도달하였고, SS400 재질도 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 면상발열체가 설치된 영역은 빠른 속도로 목표 온도(5° C이상)에 도달하였으나 발열체 사이 영역의 경우, 발열체에 의한 직접적인 열전달이 없고, 상판 내부 공기와 외기의 대류 영향만을 받기 때문에 다소 더딘 속도로 목표 온도에 도달하였다.

구조 해석 결과, 상판 중앙의 십자 보강재 끝단 부에서 최대 응력이 발생하였으며, JIG 하중이 작용하는 각 4개의 분면 중앙부에서 최대 처짐이 발생하였다. SUS 재질 및 3.2T 이상 두께에서 평

균적으로 처짐량이 적게 발생하였다.

열전달 해석 결과, Fig. 9와 같이 AL3003 재질의 3.2T 상판(Case 2)을 사용한 경우, 발열체의 발열량이 가장 적어 열효율이 가장 높았으며, SUS316 재질의 열효율이 가장 낮은 것으로 나타났다.

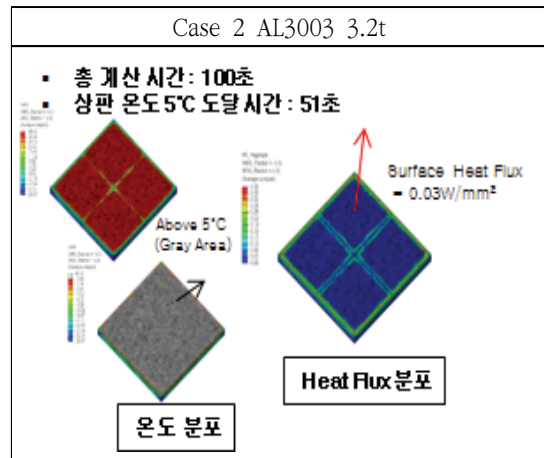


Fig. 9 Result for analysis of heat transfer (case 2)

Table 5. Result of case study

Case	재질	상판 두께 (mm)	온도 (° C)	상판 목표온도 도달 시간(초)	최대 주응력 (MPa)	최대 처짐 (mm)
1	AL3003	2	40	90	147.59	5.13
2	AL3003	3.2	40	51	98.99	2.51
3	AL3003	4	40	42	63.19	1.40
4	AL3003	4.5	40	39	49.50	1.00
5	AL3003	6	40	32	27.28	0.42
6	SUS316	2	280	809	181.69	2.87
7	SUS316	3.2	280	307	97.64	0.97
8	SUS316	4	280	242	61.79	0.50
9	SUS316	4.5	280	217	48.61	0.35
10	SUS316	6	280	172	27.07	0.15
11	SS400	2	105	195	237.77	2.75
12	SS400	3.2	105	117	97.50	0.91
13	SS400	4	105	96	61.73	0.47
14	SS400	4.5	105	87	48.58	0.33
15	SS400	6	105	71	27.06	0.14



구조 해석 결과, Fig. 10과 같이 강도가 가장 높은 SS400 재질의 3.2T(Case 12)인 경우, 최대 응력 및 처짐량이 가장 작은 것으로 나타났다.

열 효율과 구조 강도 등을 종합적으로 검토하였을 때, SS400 재질의 3.2T가 가장 적합한 재질인 것으로 판단되었다.

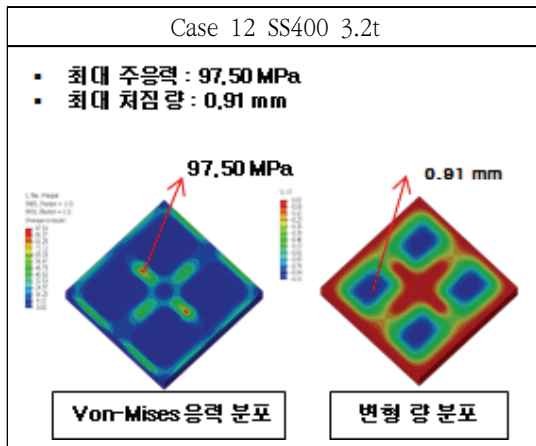


Fig. 10 Result for analysis of structure (case 12)

## 4. 최종 시제품 제작

### 4.1 1차 시제품 제작 후 개선 요구사항

1차 설계 후 시제품을 제작하는 과정에서 드러난 문제점은 현장 작업 시 용접 포인트 과용으로 작업시간이 오래 걸렸고, 하부 베이스 구조에 온도 차로 인하여 습기가 발생하여 이로 인한 물고임 현상이 발생하여 내부 결빙이 발생할 수 있을 것으로 판단되었다. 또한 베이스 구조 용접 시 고온의 열로 인한 플레이트가 변형되어 차후 상·하판 조립 시 이음부 결합 간격이 밀착되어 페인트 손상이 확인되었으며, 해수에 의한 부식이 발생할 수 있을 것으로 판단되었다.

### 4.2 시뮬레이션 기반 개선 설계사항

갑판이동로의 1차 설계 및 제작과정에서 변형 및 무거운 무게로 인한 설치 시공이 어려운 문제점이 발생하였다. 이러한 문제점을 개선하고자 발열 Module이 이동로 하부에 밀착 고정될 수 있는 형상으로 Fig. 11과 같이 설계를 변경하였다. 이동로 설치시 제작품 무게 감소를 위한 최적의 두께를 산출하기 위해 개선 설계를 진행하였다.

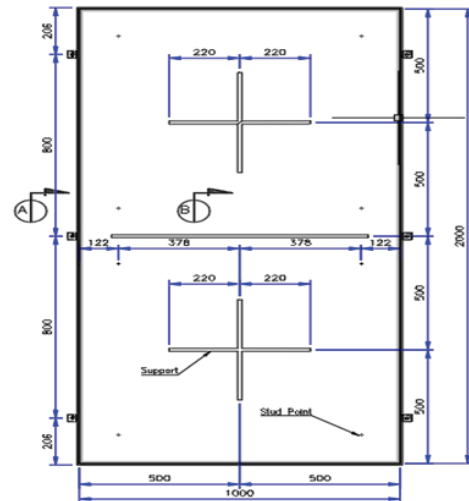


Fig. 11 Design improvement plan

### 4.3 최종 시제품 제작

최종 시제품 제작은 1차 제작 후 문제가 되었던 무게, 시공방법, 시수 등을 해결하고자, 베이스 부재를 삭제하고 상판에만 구조 강도를 견딜 수 있도록 설계 및 제작하였고, Fig. 12와 같이 상판 하부에 보강재를 추가 설치하였다. 제작이 용이하고 효율을 증대시키기 위해 발열 모듈을 이동로 하부에 밀착 고정될 수 있는 형상으로 제작하였고, 발열체 고정 포인트 절감과 하부베이

스 모듈을 제거하여 중량을 감소시켰으며 제작 설치가 용이하도록 보완하였다. 이에 1차 시제품에 비해 용접 및 Stud 포인트도 감소하였고, 변형도 발생되지 않음을 확인하였다. Table 6은 1차 시제품 대비 개선된 최종 시제품의 사양을 나타낸다.



Fig. 12 Fainal Prototyping

Table 6. Improved fainal prototypes

구분	1차 시제품	최종 시제품
재료	Stainless Steel, Aluminum, Carbon Steel	Carbon Steel
두께	2.5t, 3.2t, 4.5t, 6t	3.2t
규격	800~1000mm	1000mm
시공 방법	-상판 내부 Support 사이즈 : 1000mm x 1000mm -Stud bolt 시공 : 16ea -상/하판 결합 방식	-상판 내부 Support 사이즈 : 500mm x 500mm -Stud bolt 시공 : 4ea -상판 단독

## 5. 시험 인증

### 5.1 시험 방법

저온환경에서의 발열성능 확인을 위한 시험방법은 시험편을 하부 지그에 설치한 후 표면온도 측

정용 온도센서 및 챔버 온도센서를 Fig 13과 같이 설치하고, 상부지그를 시험편 상부에 밀착시킨 뒤 챔버에 투입한다.

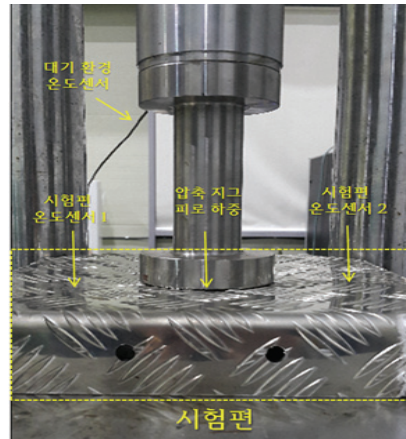


Fig. 13 Scene of installation

시험 제원은 Table 7과 같이 설정하였고, 시험을 실시하기 위해서는 아래와 같은 3가지 조건을 만족해야 하며, 이 조건이 20분간 유지되는 것이 확인되면 시험을 시작하였다.

- ① 저온(-62 ± 10℃) 상태
- ② 하중이 250~350kg의 반복하중이 가해지는 상태
- ③ 감판이동로의 표면온도가 0~20℃로 유지되는 상태

Table 7. Condition of repeated load test in cryogenic environment

조건	설정값	단위
목표 하중	250~350	kgf
반복 횟수	1,000,000	cycle
온도	- 62 ± 10	℃
주파수	10	Hz

시험절차에 따른 챔버온도 조건은 Fig 14와 같

으며, 목표 Cycle까지 가동하였으며, 만능재료시험기의 가동이 종료되면, 시험편 전원을 종료하고 질소가스 주입을 중단한 뒤, 30분간 방치한 후 시험편을 상온에 꺼낸 뒤, 시험편의 전원을 켜고 온도측정기를 이용하여 2포인트의 시험편의 표면온도를 측정하여 정상작동 유무를 확인하였다.

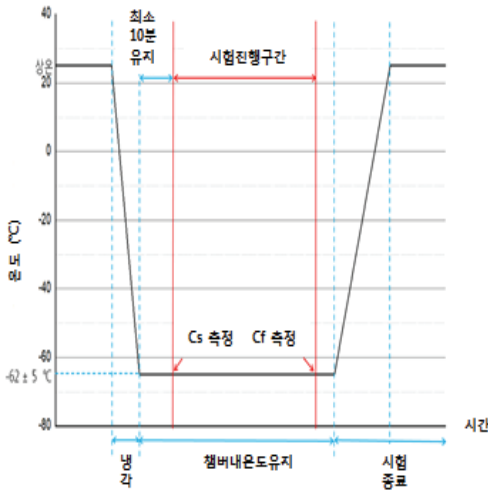


Fig.14 Test procedure on temperature

### 5.2 성능시험 결과

본 성능시험은 극저온 환경에서 발열체 모듈이 적용된 갑판이동로의 성능을 검증하기 위해 저온 반복하중시험을 실시하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 극저온에서 인간이 갑판이동로를 지나가는 환경을 모사하여  $-62 \pm 10^{\circ}\text{C}$ 의 극저온 환경에서 250~300kg의 하중을 갑판이동로 상판에 반복하여 가하였으나, 갑판이동로의 찌그러짐, 크랙 발생 등의 변형이 발생하지 않았고, 발열체 모듈의 발열성능에도 영향

을 미치지 않는 것으로 나타났다.

- (2) 극저온 환경( $-62 \pm 10^{\circ}\text{C}$ )에서 발열체 모듈이 적용된 갑판이동로의 표면온도는 상온을 유지하였다.
- (3) 250~300kg의 하중이 1,000,000cycle 적용되었으나, 하중으로 인한 온도 증감현상이 발견되지 않았다.

## 6. 결론

기존 히팅케이블이 적용된 갑판이동로는 낮은 열전달 효율에 따른 Anti/De-Icing 효과가 미흡하며, 시공상의 문제점을 가지고 있어 이를 개선하기 위해 본 연구에서는 아직 선박에 적용되지 않은 CNT 면상발열체 기술을 적용하여 갑판이동로 설계를 수행하였다. 기존 설계의 문제점 분석으로부터, 설계 요구사항 도출, 개념설계 수행, 1차 시제품 제작, 구조해석 및 열전달 해석을 기반으로 개선 설계를 수행하였고 최종적으로 시제품을 완성하였다.

또한 발열체의 제작, 설치 및 테스트에 앞서 발열 성능 및 구조적 안전성에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 열전달 해석 결과, AL3003(알루미늄) 재질의 상판을 사용한 경우 발열체의 발열량이 가장 적어 열효율이 가장 높았으며, SUS316(스테인레스) 재질의 열효율이 가장 낮은 것으로 나타났다. 구조해석 결과, 강도가 가장 높은 SS400(일반탄소강) 재질이 최대 응력 및 처짐량이 가장 작은 것으로 나타났다.

열효율과 구조강도 등을 종합적으로 검토하였을 때, SS400 재질이 가장 적합한 재질인 것으로 판단되었고, 최종 시제품은 시뮬레이션 결과에 따라 최적의 재질과 두께(SS400의 3.2T)를 적용하여 개선된 설계 및 제작을 진행하였다. 성능 시험 결과,

총 무게 150Kg에도 이동로 보행 시 안전한 것을 확인하였으며, 발열온도 유지 등의 안정적인 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구에서 제안하는 CNT 면상발열체가 적용된 갑판이동로는 기존 제품의 케이블과 추가 단열 등에 비해 설치가 쉽고, 반 영구적으로 유지보수가 용이하며, 전력 소비량의 절감효과가 우수할 것으로 기대된다.

### 참고문헌

- [1] J. G. Lee, A Study on Characteristics of Surface Heating Element for Preventing Freezing in Polar Marine Using CNT-based Advanced Materials. J. Korean Soc. Mech. Technol. Vol. 19 No. 2, p, 274-280, (2017).
- [2] J. H. Jung, Technical Trends of Polar Ship Equipment Materials Using CNT Nanotechnology. Ministry of Science, ICT and Future Planning. (2016).
- (3) S. Park, J. Cho, B. Joo, S. Kim. Reliability Evaluation for Application of Transparent Surface Heating Element. The 46th Winter Annual Conference of the Korean Vacuum Society. p, 473-473, (2014).
- (4) K. Yang, K. Cho, K. Im, S. Kim, Temperature Maintenance of an ITO Nanoparticle Film Heater, Journal of IKEEE. Vol. 20, No. 2, p, 171-173, (2016).
- (5) J. Cho, H. Hwang, Image Processing Technology for Analyzing the Heating State of Carbon Fiber Surface Heating Element. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society Vol. 19, No. 2 p, 683-688, (2018).

(접수: 2019.03.29. 수정: 2019.04.29. 게재확정: 2019.05.29.)