

빙해선박 아이스 클래스 루버의 해빙(de-icing) 성능평가 및 설계기준에 관한 연구

정영준·서영교[†]
한국해양대학교 해양공학과

A Study on the De-icing Performance Evaluation and Design Guide for Ice Class Louver of the Vessels Operating in Cold Region

Young-Jun Jung·Young-Kyo Seo[†]
Department of Ocean Engineering, Korea Maritime and Ocean University

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.

For the design guide of a vessel operating in cold region, numerical analysis was carried out to evaluate the ice class louver which installed the heating cables by using ANSYS 13.0 CFX. The numerical analysis was performed by considering Unsteady Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS) equation. This study based on the experimental results of 'The Cryogenic Performance Evaluation for the Excellent De-icing Ice Class Louver' in KRISO. For validation of the numerical analysis results, the cold chamber experimental data measured by the heat sensors in certain location of the ice class louver was used. The external environmental temperature which varies from 0°C to -30°C was considered in numerical analysis. Also the design guide for optimum de-icing presented through heating cable power capacity(33 W/m, 45 W/m, 66 W/m), location of the heating cable(front, center, behind on the blade) and relative velocity(1 m/s, 4 m/s, 7 m/s).

Keywords : De-icing(해빙), Heat transfer analysis(열전달해석), Heating cable power capacity(열선용량), Ice-strengthened vessel(빙해선박), Ice class louver(아이스 클래스 루버)

1. 서론

지구 온난화로 인한 북극해의 해빙감소로 인해 북극항로가 개방이 되고, 육상 및 해상의 경제성이 있는 유전들의 자원이 고갈되어 감에 따라 상선 및 유전 개발을 위해 극지방을 항행하는 선박들의 수가 증가하는 추세이다. 빙해역을 항행하는 빙해선박의 경우 극저온의 대기온도, 선박에 대한 상대풍속 및 물보라(sea spray)에 의한 착빙(icing)으로 인해 선박의 안정성 저해 및 선박 외부의 기저재 작동에 영향을 주어 선원들의 안전사고에 영향을 미칠 수 있다. 이처럼 극지방을 항행하는 빙해선박의 경우 빙해역의 극한 환경(low temperature environment) 속에서 안전운항 및 작업이 가능하도록 결빙방지(anti-icing) 설계와 해빙(de-icing) 설계기술이 새롭게 적용되고 있다. 이에 극지방을 항행하는 선박에 대해 미국선급(ABS), 노르웨이선급(DNV), 영국선급(Lloyd's Register), 러시아선급(RMRS) 등에서는 방한기술 부호(winterization notation)를 정의하고 있는데 (Jeong, et al., 2011), 방한기술은 선박의 건

조과정에서 다루어지는 문제로서 강제규정은 아니지만 선박의 안전운항 및 저온 환경에서 선박의 기저재 및 긴급, 구난 장비 등의 성능과 밀접한 관련이 있는 사항이다. 미국선급은 9가지의 section(항목)과 13가지의 부록으로 저온환경에서 운항하는 선박의 재료 및 용접, 코팅부터 시작하여 선원들의 안전 시스템 및 교육에 관한 전반적인 사항까지 다루고 있다 (ABS, 2006). 영국선급은 빙해선박의 북극해 운항 시 대기온도 및 선박에 대한 상대풍속, 수온과 같은 여러 성분들의 상관관계에 따라 선박기저재 및 상부 구조물에서 착빙(icing) 현상이 발생하게 된다. 그러므로 극지방에서 상부 구조물의 착빙에 따른 빙해선박의 안정성 확보 대책과 함께 빙해선박에 탑재되는 의장품들은 북극해의 저온 상태에서 결빙이 발생하더라도 사용이 가능하도록 설계가 되어야 한다 (Lloyd's Resister, 2011). 노르웨이선급은 기저재에 대한 방한기술을 크게 category I, II로 구분하는데, category I은 navigation(항행), steering & propulsion(조향장치 & 엔진), anchoring(계류), lifesaving(인명구조), escape routes(비상탈출로)의 결빙방지 설계에 관련된 사항을 나타내고 category II는

decks & superstructures(갑판 & 상부구조물), helicopter decks (헬리데크), railings(핸드레일), cargo deck area(화물 갑판 구역)의 해빙설계 기술에 관련된 사항을 나타낸다(DNV, 2005). 그러므로 극지해역을 운항하는 선박의 전체 및 외장 기자재에 대한 강제화 코드를 개발해야 될 필요성이 더욱더 증가하고 있다. 이에 현재 국내에서는 방한대책에 관한 강제화 된 코드 개발을 위해 산업원천기술개발사업을 통해 '빙해선박의 극지항로 안전 운항기술 및 극저온 빙성능 시험평가 기법 개발'을 위한 과제가 완료되었다.

본 논문에서는 KRISO에서 선행 연구된 '극저온 설계 및 동결 방지처리 평가 기술 개발 (Ministry of Trade, Industry & Energy, 2013)의 일환으로 진행된 빙해선박용 아이스 클래스 루버(ice class lower)의 결빙방지를 위한 성능평가 실내실험을 바탕으로 이루어졌다. 루버는 길고 가는 평판을 수평이나 수직 혹은 격자 모양으로 개구부의 앞면에 설치하여 직사광이나 비를 막고, 통풍이나 환기를 목적으로 설치하는 것으로 루버가 착빙으로 인해 그 기능을 상실할 경우를 대비하여 루버의 날개에 열선(heating cable)을 부착하여 열선에 전력을 공급하여 루버를 해빙(de-icing)시켜 기능을 할 수 있게 한다. 해빙성능을 평가하고 열선을 이용한 공법의 시행기준은 저온챔버(cold-chamber)를 이용한 온도분포를 측정하는 제한적인 실험에 의존되어 왔다. 하지만 실내 실험은 극한 환경의 제한적 구현으로 인하여 제대로 된 극한 환경 구현이 불가능한 것이 사실이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 열전달 해석을 통한 다양한 설계변수의 데이터베이스 구축이 필수적이다(Lee, et al., 2012). 본 논문에서는 선행 연구된 실내실험에서 확보한 실험 데이터와 수치해석 결과를 비교하여 신뢰성을 확보한 후, 효율적인 열선시공을 위해 외부환경 온도, 상대풍속(relative velocity), 열선의 부착위치 및 열선의 전력 용량을 변경하여 수치해석을 수행하였다.

2. 수치해석방법 및 경계조건

2.1 지배방정식

본 수치해석 연구는 아래와 같이 RANS 방정식(unsteady Reynolds averaged Navier Stokes equation)을 지배방정식으로 적용하였다.

연속방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad (1)$$

운동량방정식

$$\frac{\partial (\rho U)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \otimes U) = -\nabla p + \nabla \cdot \tau = S_M \quad (2)$$

여기서, τ 는 분자응력텐서이고 S_M 은 운동량 항(momentum source)이다. 연속방정식은 변환되지 않지만 운동량방정식과 스

칼라 수송방정식은 분자확산유동에 추가되는 난류 유동항을 포함한다.

추가된 난류 유동항 S.S.T.(Shear Stress Transport)모델은 다음과 같이 표현할 수 있다(ANSYS, 2010).

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \omega U_j) \\ &= \alpha \rho S^2 - \beta \rho \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) \\ &+ \frac{2\rho}{\sigma_\phi} \left(\frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} - \frac{k}{\omega^2} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) \\ &+ \tilde{\zeta}_2 k \rho S^2 \frac{L}{L_{\nu k}} \end{aligned} \quad (3)$$

레이놀즈 평균에너지 방정식(the Reynolds average energy equation)은 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial (\rho U)}{\partial t} - \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U h_{tot}) \\ &= \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + \nabla \cdot (U \cdot \tau) + U \cdot S_M + S_E \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, λ 는 열전도계수, S_E 는 에너지 항을 나타낸다. 또한 평균 총 엔탈피(Enthalpy, h_{tot})는 다음과 같다.

$$h_{tot} = h + \frac{1}{2} U^2 + k \quad (5)$$

여기서, 운동에너지(k)는 다음과 같다.

$$k = \frac{1}{2} \overline{u^2} \quad (6)$$

따라서, 변수들이 추가된 방정식은 식 (7)과 같다.

$$\frac{\partial (\rho \phi)}{\partial t} - \nabla \cdot (\rho U \phi) = \nabla \cdot (\Gamma \nabla \phi - \overline{\rho u \phi p}) + S_\phi \quad (7)$$

2.2 해석방법

KRISO에서 수행된 실내모형실험과 동일한 제원의 저온챔버, 루버 및 열선을 모델링하여 수치해석을 수행하였다. Fig. 1은 측면에서 본 수치해석의 개념도이다. 실험환경을 재현에 있어서 지속적으로 저온챔버 내부의 온도가 환경온도 즉, 0, -15, -30°C로 유지할 수 있음과 동시에 순환될 수 있도록 open 경계조건을 설정하였다. 또한 열선용량에 따른 heat flux 값을 적용하여, 강제시편에 전달된 열량은 경계면에 fan inlet에 의해 형성된 유동장에 의하여 지속적으로 전열현상이 이루어진다. 따라서 특정시간 이후 정상상태가 지속적으로 유지될 때 저온챔버의 온도를 변화시킴으로써 각각의 경우에 대해 수렴되는 온도를 도출하였다.

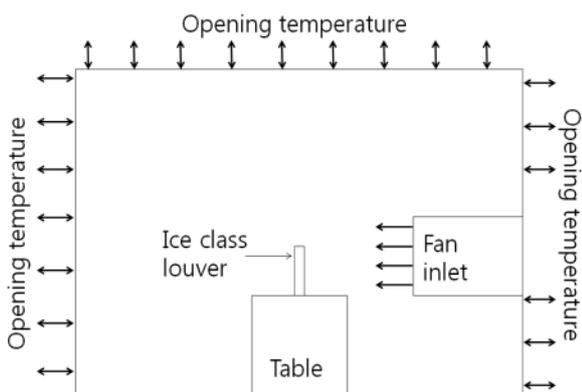


Fig. 1 Longitudinal section of the cold-chamber experiment



Fig. 2 Location of the heating cable(front)

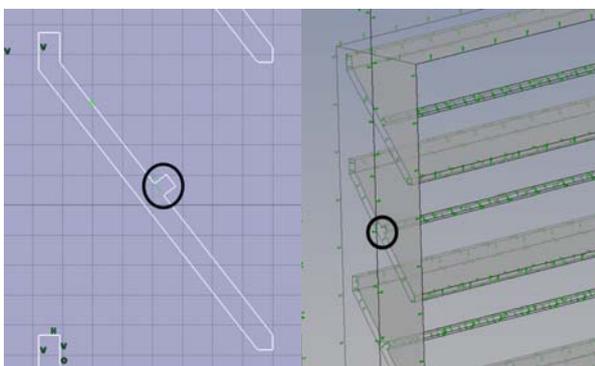


Fig. 3 Location of the heating cable(center)

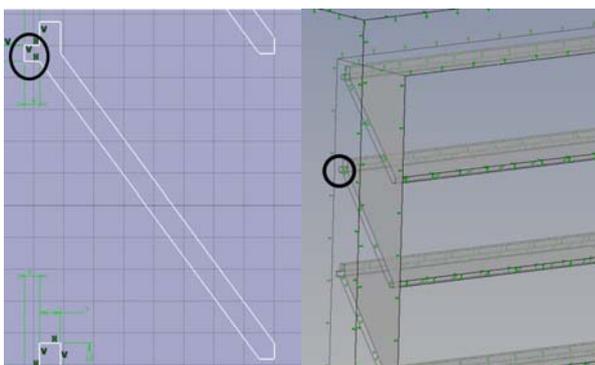


Fig. 4 Location of the heating cable(behind)

본 수치해석이 풍속에 비하여 실내모형실험의 환경이 협소하고 자연대류에 의한 열손실보다는 풍속에 의한 강제대류로 인한 열손실이 상대적으로 클 것을 예상하여 풍속에 직접적인 영향을 줄 것으로 판단한 table과 fan inlet을 Fig. 1과 같이 모델링하였다. Fig. 2~4는 루버의 날개에 부착된 열선의 부착위치를 나타내었다.

수치해석에 사용된 루버의 각 도메인은 해석결과의 타당성 평가를 위하여 실제 실내모형실험의 환경과 같은 규격으로 모델링하였으며 해석의 정확성과 시간의 효율성을 높이기 위하여 경계면과 밀접한 부분에 대한 격자의 크기를 0.0001 m를 기준으로 체적증가율(growth ratio: 1.2)을 적용하였다. Fig. 5는 전체모델 및 ice class louver의 격자를 나타내고 있으며, node의 개수는 177,118개이며, 격자의 개수는 902,401개로 수행되었다.

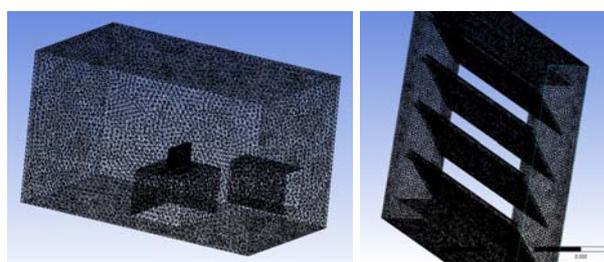


Fig. 5 Grid generation of the ice class louver for analysis

2.3 수치해석항목 및 재료 물성치

2.3.1 수치해석항목

아이스 클래스 루버의 해빙 성능평가를 위한 해석을 총 81회 (외부 온도조건 3 Case × 열선의 용량 3 Case × 열선의 부착 위치 3 Case × 상대풍속 3 Case)의 수치해석이 수행되었으며, 각각의 항목에 동일한 재료의 물성치 및 경계조건을 적용하고, 항목별로 동일한 센서의 위치를 적용하여 아이스 클래스 루버의 해빙 성능을 평가하여 빙해선펙의 항행조건에 효율적인 열선 시공을 목표로 수행하였다.

2.3.2 재료 물성치

Table 1, 2, 3은 본 수치해석에 적용된 재료의 물성치이다. Table 1은 온도변화에 따른 공기의 물성치를 나타내며, Table 2는 루버 및 열선에 적용된 물성치이며, Table 3는 시공된 열선 용량에 따른 내부발열량을 나타낸 것이다.

Table 1 Properties of the air

Temp.	Density (kg/m^3)	Specific heat capacity ($kJ/kg.K$)	Thermal conductivity ($W/m.K$)	Expansion coefficient ($1/K$)	Dynamic viscosity ($kg/m.s$)
0°C	1.293	1.005	0.0243	0.00367	1.78e-05
-15°C	1.385	1.005	0.0225	0.0038	1.65e-05
-30°C	1.480	1.005	0.021	0.0041	1.56e-05

Table 2 Properties of the material

Material	Density (kg/m^3)	Specific heat capacity ($kJ/kg.K$)	Thermal conductivity ($W/m.K$)
Copper	8933	3.85e+02	401.0
Steel	7923	4.34e+02	60.5

Table 3 Information of the heating cable and heat generation

Cable type	Nominal power output (W/m at $10^{\circ}C$)	Heating power capacity (W/m^2)
10XTV2_CT-T2	33	1650
15XTV2_CT-T3	45	2250
20XTV2_CT-T2	66	3300

3. 실내 실험

본 실내실험은 KRISO에서 선행 연구된 ‘극저온 설계 및 동결 방지처리 평가 기술 개발’의 일환으로 진행된 아이스 클래스 루버의 해빙성능평가 실내실험으로 실험 방법은 아래와 같다.



Fig. 6 Photography of the ice class louver installed heating cable in the cold-chamber

저온챔버 (4,700 mm×2,500 mm×3,300 mm) 에 루버를 설치하여 $-15^{\circ}C$ 의 환경온도조건과 4 m/s의 상대풍속을 적용하여 해빙 기술을 평가하였다. 루버의 날개 끝단에 열선용량 33 W/m의 열선을 설치한 후, 가열하여 루버의 날개에서의 온도를 측정하였다.

실험을 위해 설치된 루버에 Fig. 7과 같이 온도센서(7개소)를 부착하여 루버의 날개의 온도변화를 측정하였다. 해빙 기술을 평가하기 위해 저온챔버의 온도가 환경온도($-15^{\circ}C$)에 도달한 후, 열선에 전원을 공급하여 착빙에 대한 변화과정을 확인한다.

Location of sensors	
Ch1	the first line from the top on the blade
Ch2	the second line from the top on the blade
Ch3	the second line from the top on the blade
Ch4	the third line from the top on the blade
Ch5	the third line from the top on the blade
Ch6	the last line from the top on the blade
Ch7	on the heating cable of blade

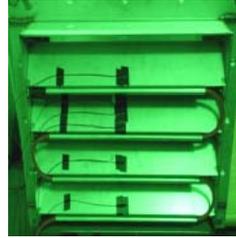


Fig. 7 Sensor location on the blade of ice class louver

4. 타당성 검토

본 수치해석의 타당성 검토는 KRISO에서 수행된 ‘Ice Class Louver의 De-icing 저온 성능 시험 보고서’ (Korea Research Institute of Ocean Science & Technology, 2012)의 실내모형실험결과를 토대로 타당성 검토를 하였다. 타당성 검토를 수행한 실내실험의 환경은 외부온도 $-15^{\circ}C$ 에 열선용량 33 W/m, 열선의 부착위치는 루버의 날개의 전면부이고, 상대풍속이 -4 m/s이다.

여기서, Ch1은 가장 위의 날개에 부착하였고, Ch2, Ch3은 2번째 날개에 부착하였고, Ch4, Ch5는 3번째 날개에 부착하였고, Ch6은 마지막 날개에 부착하였고, Ch7은 열선에 부착하였다.

Table 4는 실내모형실험에서 얻은 결과 값과 수치해석을 통해 얻은 각 온도센서에서 얻은 수렴온도이다. Ch7을 제외한 나머지 온도센서에서의 결과 값을 비교했을 때 최대 오차 값이 $0.39^{\circ}C$ 로 거의 오차가 없다고 보기 무방하나, 열선에 부착된 온도센서인 Ch7에서의 온도 차이가 약 $10^{\circ}C$ 정도로 나타나는데, 이는 실내모형실험에서 사용된 열선은 열선의 온도손실을 줄이기 위해 열선의 곁에 프레임을 덧대어 실험을 수행한 결과 값을 얻은 것이고 수치해석에서도 실내모형실험과 동일한 환경으로 모델링을 수행하여 수치해석을 하고자 하였으나, 격자생성 과정 중에 격자 깨짐 현상이 발생해 수치해석을 수행할 수 없어 본 수치해석은 열선에 프레임을 모델링하지 않고 결과를 도출하였기 때문에 이와 같은 오차가 발생한 것으로 분석하였다.

Table 4 Numerical analysis data and experimental data of the sensor temperature

	Numerical analysis data	Experimental data
Ch1	-14.08	-13.77
Ch2	-12.75	-13.14
Ch3	-12.75	-12.76
Ch4	-13.52	-12.43
Ch5	-13.52	-12.84
Ch6	-11.81	-11.52
Ch7	2.11	12.10
Aver.	-13.07	-12.74

Fig. 8은 소요시간 별 각 온도센서에서의 실내모형실험 결과 값을 나타낸 그래프이고, Fig. 9는 소요시간 별 각 온도센서에서의 수치해석 결과 값을 나타낸 그래프이다. 여기서, 루버의 날개의 온도를 측정하는 온도센서 Ch1~6의 온도분포는 거의 유사한 결과를 보이나, 열선의 온도는 fan off를 한 상태에서 실내모형 실험 결과 값과 수치해석의 결과 값의 수렴온도 차이가 약 30°C 정도 나는 것을 볼 수 있는데 실내모형실험에서는 fan off를 했다 하더라도 이미 차가워진 프레임 때문에 열선의 온도가 더 낮게 측정된 것으로 분석하였다 (Jeong, et al., 2014). 즉, 본 수치해석 결과 값은 타당성이 있고, 선박의 작업 환경과 열선용량을 변경하여 수치해석을 수행해도 타당할 것으로 판단된다.

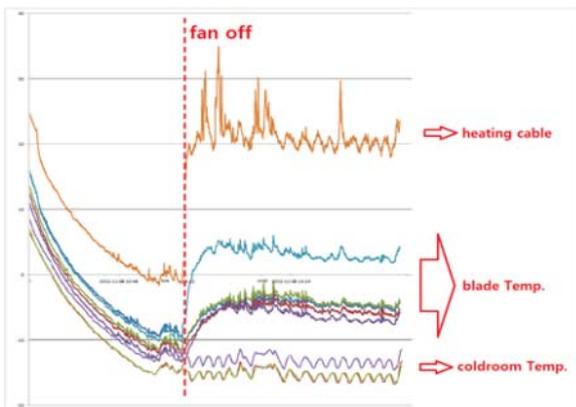


Fig. 8 Time history of temperature (experiment)

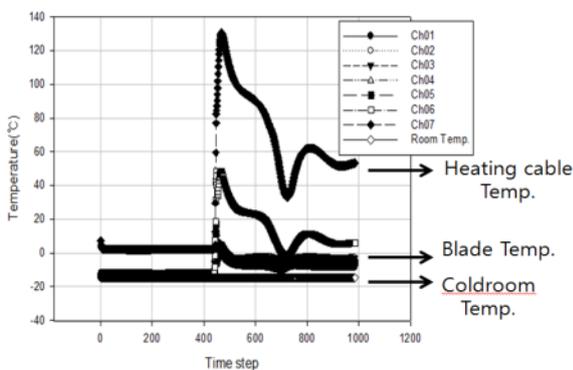


Fig. 9 Time history of temperature (numerical analysis)

5. 수치해석 수행결과 및 분석

아이스 클래스 루버의 최적 해빙성능을 나타내는 열선의 부착 위치를 도출하기 위해 온도 센서의 위치, 재료의 물성치 등의 조건은 동일하게 적용하고, 열선의 부착 위치, 외부환경온도, 상대 풍속 및 열선 전력용량을 변경하여 수치해석을 수행하였다.

Fig. 10~12는 외부환경온도는 -30°C, 상대풍속은 1 m/s이고, 열선의 전력용량은 33 W/m로 해석을 수행했을 때 time step별 열선의 온도를 측정하는 Ch7을 제외한 Ch1~6의 평균값을 나타내었다. 이를 분석하였을 때, 열선을 날개의 전면부에 부착했을 때가 상대적으로 높은 온도를 나타내었고 이는 중면부에 비해서는 약 10°C 가 높으며, 후면부에 비해서는 약 7°C 정도 높은 것으로 나타났다.

Fig. 13~15는 상대풍속에 따른 수치해석 결과를 그래프로 나타낸 것으로, 이를 분석한 결과, 열선의 부착 위치가 전면부일 때 해빙성능이 가장 큰 것으로 나타났으며, 열선의 부착 위치가 중면부일 때 해빙성능 가장 낮은 경향으로 나타났다. 여기서 해빙성능이 가장 뛰어난 전면부의 해석결과를 Table 5에 도식화하였다. 이를 분석한 결과 환경온도가 15°C 낮아질 때마다 온도센서의 데이터 값은 약 14°C 정도 감소하고, 상대풍속이 3 m/s 빨리질 때마다 최저 4.2°C에서 최고 9°C까지 감소하며, 열선용량이 10 W/m 증가할 때마다 약 2°C 정도 상승하였다.

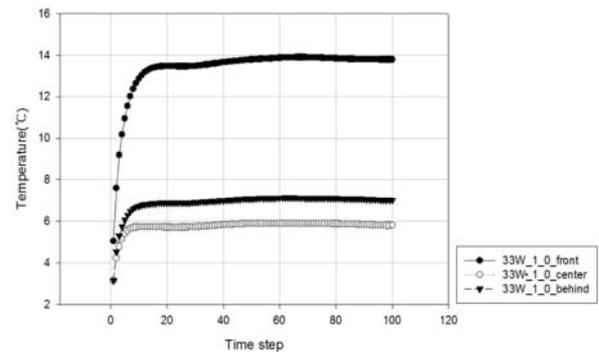


Fig. 10 Numerical analysis: External temperature 0°C, relative velocity 1 m/s, heating cable power output 33 W/m

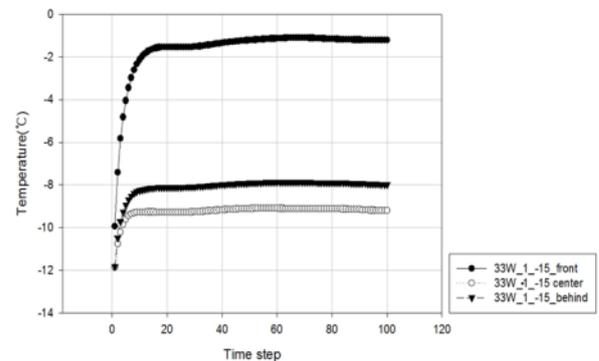


Fig. 11 Numerical analysis: External temperature -15°C, relative velocity 1 m/s, heating cable power output 33 W/m

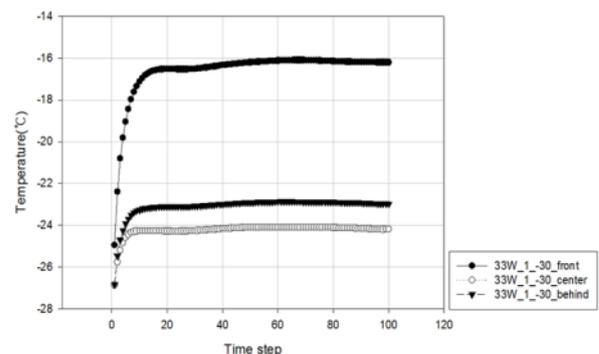


Fig. 12 Numerical analysis: External temperature -30°C, relative velocity 1 m/s, heating cable power output 33 W/m

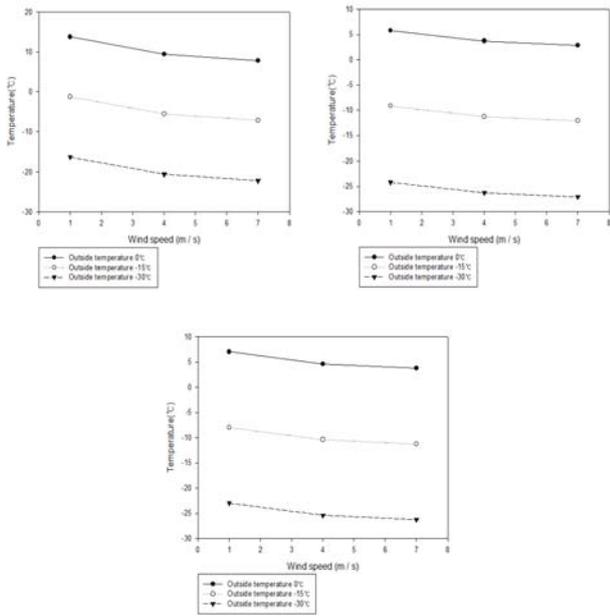


Fig. 13 Numerical analysis according to the relative velocity: Heating cable power output 33 W/m(Location of heating cable: front(top left), center(top right), behind(bottom))

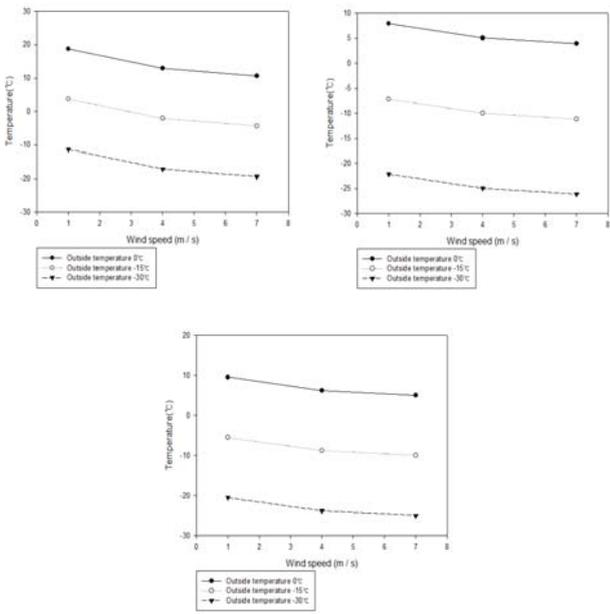


Fig. 14 Numerical analysis according to the relative velocity: Heating cable power output 45 W/m(Location of heating cable: front(top left), center(top right), behind(bottom))

이와 같은 결과를 토대로 빙해선박의 작업환경에 따라 열선의 부착위치 및 전력용량을 고려하여 열선을 시공한다면 더욱더 경제적으로 시공할 수 있는 토대가 될 것이다.

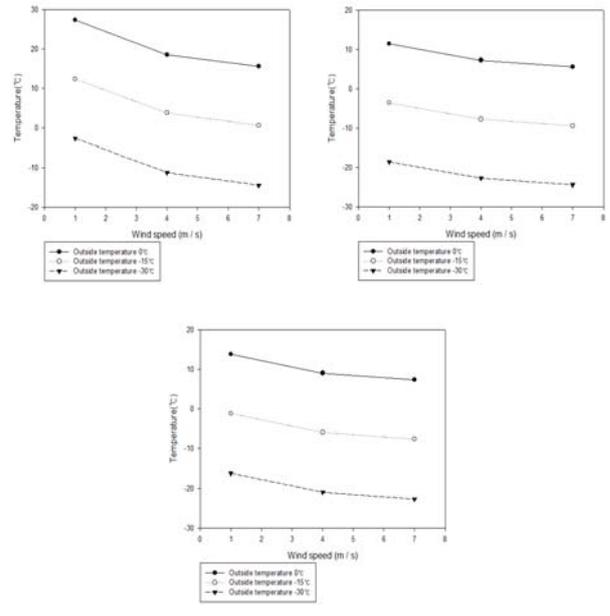


Fig. 15 Numerical analysis according to the relative velocity: Heating cable power output 66 W/m(Location of heating cable: front(top left), center(top right), behind(bottom))

Table 5 Numerical analysis data of the sensor temperature(Location of the heating cable: front)

	Room Temp. (°C)	Wind speed (m/s)	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6	Ch7	Aver.
33 W/m	0	1	2.50	7.26	7.26	4.67	4.67	11.40	58.16	6.29
		4	0.92	2.26	2.26	1.49	1.49	3.20	17.10	1.94
		7	0.56	1.55	1.55	0.99	0.99	1.90	9.38	1.26
	-15	1	-12.50	-7.74	-7.74	-10.33	-10.33	-3.60	43.15	-8.71
		4	-14.08	-12.75	-12.75	-13.52	-13.52	-11.81	2.11	-13.07
		7	-14.44	-13.45	-13.45	-14.01	-14.01	-13.11	-5.63	-13.75
	-30	1	-27.50	-22.74	-22.74	-25.33	-25.33	-18.60	28.16	-23.71
		4	-29.08	-27.74	-27.74	-28.51	-28.51	-26.80	-12.90	-28.06
		7	-29.44	-28.45	-28.45	-29.01	-29.01	-28.10	-20.62	-28.74
45 W/m	0	1	3.18	9.68	9.68	6.15	6.15	14.89	75.63	8.29
		4	1.19	2.99	2.99	1.95	1.95	4.25	23.12	2.55
		7	0.71	2.06	2.06	1.29	1.29	2.52	12.70	1.66
	-15	1	-11.82	-5.32	-5.32	-8.85	-8.85	-0.11	60.63	-6.71
		4	-13.81	-12.01	-12.01	-13.05	-13.05	-10.75	8.12	-12.45
		7	-14.29	-12.94	-12.94	-13.71	-13.71	-12.48	-2.3	-13.35
	-30	1	-26.82	-20.32	-20.32	-23.85	-23.85	-15.11	45.63	-21.71
		4	-28.81	-27.01	-27.01	-28.05	-28.05	-25.75	-6.88	-27.45
		7	-29.29	-27.94	-27.94	-28.71	-28.71	-27.48	-17.3	-28.35
66 W/m	0	1	4.52	13.52	13.52	8.51	8.51	20.13	101.92	11.45
		4	1.64	4.21	4.21	2.73	2.73	6.02	33.49	3.59
		7	0.98	2.95	2.95	1.82	1.82	3.61	18.47	2.36
	-15	1	-10.47	-1.48	-1.48	-6.49	-6.49	5.13	86.92	3.55
		4	-13.36	-10.79	-10.79	-12.27	-12.27	-8.98	18.49	-11.41
		7	-14.02	-12.05	-12.05	-13.18	-13.18	-11.39	3.47	-12.65
	-30	1	-25.47	-16.48	-16.48	-21.49	-21.49	-9.87	71.92	-18.55
		4	-28.36	-25.79	-25.79	-27.27	-27.27	-23.98	3.49	-26.41
		7	-29.02	-27.05	-27.05	-28.18	-28.18	-26.39	-11.53	-27.65

6. 결론

본 논문에서는 건물이나 선박에 사용되는 루버를 극지역에서도 사용할 수 있도록 ANSYS-CFX를 이용하여 아이스 클래스 루버의 해빙성능에 효과적인 열선의 부착위치 및 열선용량에 따른 선박의 해역 환경이 루버의 날개에 미치는 영향을 도출하기 위해 수치적으로 모사하였고, KRISO에서 수행한 실내모형실험의 결과 값과 비교, 분석하여 타당성을 검토하고 설계변수인자를 설정하고 이를 적용하여 수치해석을 수행하고 분석하였다. 본 논문의 결론은 아래와 같이 요약할 수 있다.

- [1] 본 연구에서 대상으로 한 아이스 클래스 루버는 KRISO에서 실내모형실험으로 연구된 자료를 바탕으로 구현했으며, 실험에 사용된 장비의 제원을 토대로 모델링을 하여 해석을 수행하였다. 실내모형실험 결과 값과 수치해석 결과 값을 비교 분석한 결과 강제시편의 온도는 발산하지 않고 특정온도로 수렴하였다.
- [2] 열선의 부착위치를 루버의 날개의 전면부, 중면부, 후면부에 부착하여 수치해석을 수행하였다. 그 결과 전면부에 부착했을 때가 상대적으로 높은 온도를 나타내었고, 중면부 보다는 약 10°C, 후면부 보다는 약 7°C가 높은 결과를 나타내었다.
- [3] 열선의 부착위치가 전면부인 경우 외부환경온도가 15°C 감소할 때, 센서의 온도는 약 14°C 정도 감소하고, 상대풍속이 3 m/s 빨라질 때마다 최저 4.2°C에서 최대 9°C까지 감소하며, 열선용량이 10 W/m 증가할 때마다 약 2°C 정도 상승하는 결과를 나타내었다.

후 기

Our research was supported by the Specialized University for Offshore Plant, a national project sponsored by the Ministry of Trade, Industry & Energy.

References

- American Bureau of Shipping(ABS), 2006. *Guide for Vessels Operating in Low Temperature Environments*. ABS: Houston.
- ANSYS Inc., 2010. *ANSYS CFX-Solver Theory Guide RELEASE 13.0*. ANSYS Inc.: Canonsburg.
- Det Norske Veritas (DNV), 2005. *DNV Rules for Classification of Ships*. DNV: Oslo.

- 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 Society of Naval Architects of Korea*, 49(6), pp.541-549.
- Lloyd's Register, 2011. *Rules for Ice and Cold Operating Winterization of Vessels*. Lloyd's Register: London.
- 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.
- Jeong, Y.J. Seo, Y.K. Lee, C.E. & Chae, A.Y., 2014. A study on the de-icing performance evaluation for ice-class louver. *2014 Symposium on Korean Association of Ocean Science and Technology Societies(KAOSTS)*, Busan, Republic of Korea, 22-23 May 2014.
- Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, 2012. *The Cryogenic Performance Evaluation for The Excellent De-Icing Ice Class Louver*. Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering: Daejeon.
- Ministry of Trade, Industry & Energy, 2013. *A Technology of Arctic design and Winterization Performance Evaluation*. Ministry of Trade, Industry & Energy: Sejong.

