

# 빙해선박 풍우밀문의 결빙방지 성능평가 및 설계기준에 관한 연구

서영교<sup>1</sup>·정영준<sup>1,†</sup>  
한국해양대학교 해양공학과<sup>1</sup>

## A Study on the Anti-Icing Performance Evaluation and Design Guide for Weather-Tight Door of the Vessels Operating in Cold Region

Young-Kyo Seo<sup>1</sup>·Young-Jun Jung<sup>1,†</sup>  
Department of Ocean Engineering, Korea Maritime & Ocean University<sup>1</sup>

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 weather-tight door which installed the heating cables by using ANSYS 13.0 Transient Thermal. The numerical analysis was performed by considering Advection-Diffusion equation. This study based on the experimental results of 'A study on Anti-Icing Technique for Weather-Tight Door of Ice-Strengthened Vessels' (Jeong, et al., 2011a) in KIOST. For validation of the numerical analysis results, the cold chamber experimental data measured by the heat sensors in certain location of the weather-tight door was used. The external environmental temperature which varies from 5°C to -55°C was considered in numerical analysis. Also three different heating cables which have the heat capacity of 33 W/m, 45 W/m and 66 W/m were adapted for the design parameters to be the most efficient and guidelines for anti-icing design of the weather tight door.

**Keywords** : Anti-icing(착빙방지), Heat transfer analysis(열전달해석), Ice-strengthened vessels(빙해선박), Weather-tight door(풍우밀 문), Heating cable power output(열선용량)

### 1. 서론

지구 온난화로 인한 북극해의 해빙감소로 인해 북극항로가 개방이 되고, 육상 및 해상 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 기자재 작동에 영향을 주어 선원들의 안전사고에 영향을 미칠 수 있다. 이에 극지역을 운항하는 빙해선박에 대해 미국선급(ABS), 노르웨이 선급(DNV), 영국선급(Lloyd's Register), 러시아선급(RMRS) 등에서는 방한기술 표기법(winterization)을 정의하고 있는 사항이다 (Jeong, et al., 2011b). 그러므로 극지해역을 운항하는 선박의 전체 및 의장 기자재에 대한 강제화 코드를 개발해야 할 필요성이 더욱더 증가하고 있다. 이에 현재 국내에서는 방한대책에 관한 강제화 된 코드 개발을 위해 산업원천기술개발 사업을 통해 '빙해선박의 극지항로 안전 운항기술 및 극저온 빙성능 시험평가 기법 개발'을 진행 중에 있다.

본 논문에서는 KIOST에서 선행 연구된 '극저온 설계 및 동결방지처리 평가 기술 개발' (Ministry of Knowledge economy, 2013)의 일환으로 진행된 빙해선박용 풍우밀 문(weather-tight door)의 결빙방지를 위한 성능평가 실내실험을 바탕으로 이루어졌다. 풍우밀 문은 선박의 구획 사이에 설치되어 두 구획이 수밀 및 방열되게 해주는 것으로, 풍우밀 문의 문틀에 착빙방지(anti-icing) 및 해빙(de-icing)을 위해 사용되고 있는 열선(heating cable)을 시공하여 문틀과 문의 주변 온도가 0°C 이하로 내려가지 않게 하여 문의 개폐성능에 영향을 미치지 않게 하는 것을 목적으로 한다. 그러나 이러한 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 설계 변수의 데이터베이스 구축이 필수적이다 (Lee, et al., 2012). 본 논문에서는 선행 연구된 실내실험에서 확보한 실험 데이터와 수치해석 결과를 비교하여 신뢰성을 확보한 후, 효율적인 열선시공을 위해 열선의 전력용량을 변경하여 수치해석을 수행하였다.

## 2. 실 내 실험

본 실내실험은 KIOST에서 선행 연구된 ‘극저온 설계 및 동결 방지처리 평가 기술 개발’ (Ministry of Knowledge economy, 2013)의 일환으로 진행된 빙해선박용 풍우밀 문의 결빙방지를 위한 성능평가 실내실험으로 실험방법은 아래와 같다.

저온챔버(4,700mm × 2,500mm × 3,300mm)에 내빙선박용 풍우밀문을 설치하여 다양한 온도조건(5°C, -10°C, -20°C, -30°C, -40°C)을 적용하여 결빙방지 기술을 평가하였다. 풍우밀 문틀의 끝단에 두께 1mm의 강관을 설치한 후, 그 속에 33 W/m의 열선을 삽입한 후, 가열하여 문과 문틀에서의 온도를 측정하였다.

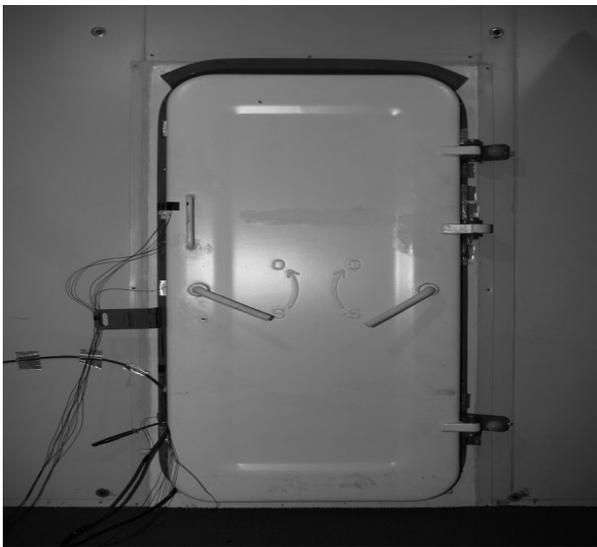


Fig. 1 Photography of the weather-tight door installed heating cable in the cold-chamber



#11	on the door
#12	on the circular bar
#13	on the circular bar
#14	on the door
#15	on the frame
#16	on the heating cable

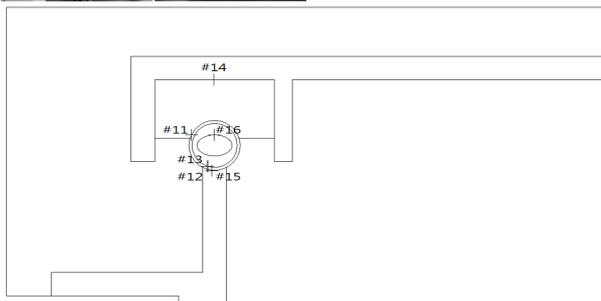


Fig. 2 Sensor location in the weather-tight door

설치된 풍우밀 문에 Fig. 2와 같이 온도센서(6개소)를 부착하여 각각의 온도조건에서의 온도변화를 측정하였다. 시험과정에서 콜드룸 내부의 온도가 시험 온도조건에 도달하더라도 시편에서 계측된 온도가 수렴할 때까지 일정시간동안 콜드룸의 내부온도를 유지시켰다 (Jeong, et al., 2011a).

## 3. 수치해석방법 및 경계조건

### 3.1 지배방정식

본 수치해석 연구는 아래와 같이 이류-확산 방정식(Advection-Diffusion Equation)을 지배방정식으로 적용하였다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\gamma\rho\Phi) + \nabla \cdot (\rho K \cdot U\Phi) - \nabla \cdot (\Gamma K \cdot \nabla\Phi) = \gamma S \quad (1)$$

위의 방정식은 유체와 고체 사이의 유한 온도차이가 있다. 그것은 비열 평형 모델이므로 도메인 내의 각 단계에 대한 별도의 에너지 방정식이 있다.

유체의 경우: (2)

$$\frac{\partial\gamma\rho h}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho K \cdot UH) - \nabla \cdot (\Gamma_c K \cdot \nabla H) = \gamma S_k^h + Q_{fs}$$

고체의 경우: (3)

$$\frac{\partial\gamma_s\rho_s C_s T_s}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho K_s \cdot U_s C_s T_s) - \nabla \cdot (\lambda K_s \cdot \nabla T_s) = \gamma_s S_k^T + Q_{sf}$$

여기서,  $\gamma_s = 1 - \gamma$ , 그리고 유체와 고체 사이의 계면 열전달 (interfacial heat transfer)인  $Q_{fs}$ 를 사용하여 전체 열전달 계수 모델을 결정한다.

$$Q_{fs} = -Q_{sf} = hA_{fs}(T_s - T_f) \quad (4)$$

여기서,  $h$ 는 유체와 고체 사이의 열전달 계수이고,  $A_{fs}$ 는 유체와 고체 사이의 계면 면적밀도이다(ANSYS 13.0 MANUAL).

### 3.2 해석방법

KIOST에서 수행된 실내실험에서 풍우밀 문과 문틀에 설치된 sensor의 높이가 동일하며, 열선의 발열에 의한 공기의 대류가 열선의 직접적인 열전달보다 센서(sensor)의 온도에 미치는 영향은 미미하므로 실제 풍우밀 문의 작동성능에 영향을 줄 수 있는 문과 문틀이 있는 부분만을 2차원 평면으로 수치해석을 수행하였

다. Fig. 3은 풍우밀 문에서 열선이 시공된 부분의 단면도 및 본 수치해석의 개념도이다.

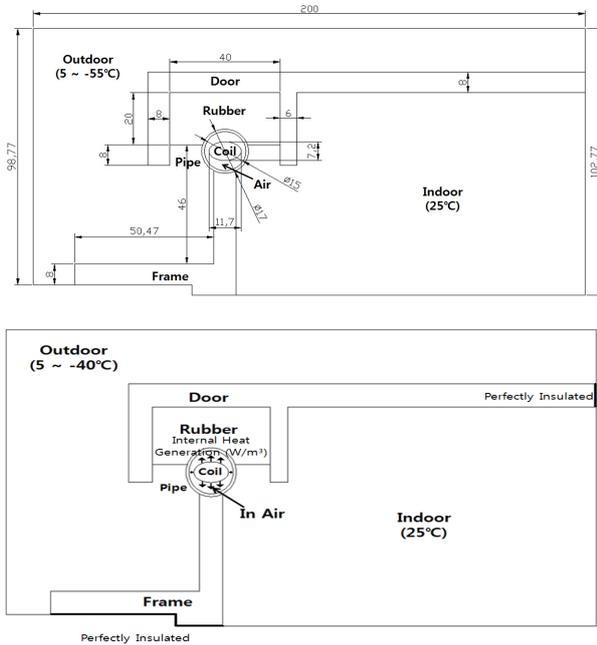


Fig. 3 Cross-sectional diagram of weather-tight door in the cold-chamber

실험환경을 그대로 구현하기 위해서 지속적인 외부환경온도를 유지해주었고, 2차원 평면 해석이므로 단면의 상면과 Door와 Frame에서 Outdoor와 Indoor가 만나지 않는 부분은 온도에 의한 영향을 받지 않도록 완전단열(perfectly insulated)로 지정하였고, Coil 전체에 각각의 열선 용량에 따라 Table 3에 표기한 Internal heat generation을 적용하였다. 또한 풍우밀 문을 구성하는 각 재료마다의 열전도계수(thermal conductivity)가 다르기 때문에 공기와의 접촉면은 재료에 따라 각각의 다른 대류(convection) 값을 지정해주었다. 본 수치해석에서의 격자의 크기는 0.5mm로 일정하게 주었으며, node의 개수는 909,498개이며, 격자의 개수는 161,896개로 수행되었다

### 3.3 수치해석항목 및 재료 물성치

#### 3.3.1 수치해석항목

풍우밀 문과 문틀의 결빙방지 및 해빙의 기준을 검토하기 위한 해석은 총 18회(열선의 용량 3 Case × 외부 온도조건 6 Case)의 수치해석이 수행되었으며, 각각의 항목에 동일한 재료의 물성치 및 경계조건을 적용하고, 항목별로 동일한 센서의 위치를 적용하여 풍우밀 문과 문틀이 결빙방지 조건 즉, 0°C 이상의 온도를 유지할 때의 열선의 용량을 선정하여 효율적인 열선의 용량을 도출하였다.

#### 3.3.2 재료 물성치

Table 1, 2, 3은 본 수치해석에 적용된 재료의 물성치다. Table 1은 온도변화에 따른 공기의 물성치를 나타내며, Table 2는 풍우밀 문과 문틀, 열선, 그리고 문과 문틀이 만나는 부분의 고무에 적용된 물성치이며, Table 3은 시공된 열선의 용량에 따른 내부발열량을 나타낸 것이다.

Table 1 Properties of air

Temp.	Density ( $kg/m^3$ )	Specific heat capacity ( $kJ/kg.K$ )	Thermal conductivity ( $W/m.K$ )	Expansion coefficient ( $1/K$ )	Dynamic viscosity ( $kg/m.s$ )
5°C	1.267	1.005	0.024	0.0035	1.80e-05
-10°C	1.350	1.005	0.023	0.0037	1.68e-05
-20°C	1.420	1.005	0.022	0.0039	1.62e-05
-30°C	1.480	1.005	0.021	0.0041	1.56e-05
-40°C	1.520	1.005	0.020	0.0044	1.51e-05
-55°C	1.534	1.005	0.020	0.0045	1.44e-05

Table 2 Properties of material

Material	Density ( $kg/m^3$ )	Specific heat capacity ( $kJ/kg.K$ )	Thermal conductivity ( $W/m.K$ )
Copper	8933	3.85e+02	401.0
Rubber	1190	4.86	0.16
Steel	7923	4.34e+02	60.5

Table 3 Information of heating cable and heat generation

Cable type	Nominal power output ( $W/m$ at 10°C)	Internal heat generation ( $W/m^3$ )
10XTV2_CT-T2	33	4.9836e+8
15XTV2_CT-T3	45	6.7959e+8
20XTV2_CT-T2	66	9.9674e+8

## 4. 타당성 검토

본 수치해석의 타당성 검토를 위해 KIOST에서 수행된 ‘내빙선박용 풍우밀 문의 결빙방지 기법 연구’ (Jeong, et al., 2011b)의 실내모형실험결과(Table 5)를 토대로 타당성 검토를 실시하였다. 타당성 검토를 실시한 실험 항목은 열선 용량이 33  $W/m$ 이고, 외부환경온도가 변하는 경우이다.

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

		Numerical analysis data			Experimental data
		Cable power output( W/m)			
Temp.	S.P.	33	45	66	33
5°C	#11	33.4	42.8	59.3	29.0
	#12	28.5	35.0	46.5	31.1
	#13	27.4	33.7	44.6	31.0
	#14	17.4	20.6	26.4	17.8
	#15	28.2	33.9	43.8	31.2
	#16	103.3	135.8	192.7	99.7
-10°C	#11	20.3	29.7	46.2	25.0
	#12	17.7	24.2	35.6	27.5
	#13	16.4	22.7	33.6	27.2
	#14	4.8	8.1	13.9	10.6
	#15	19.0	24.7	34.6	27.7
	#16	95.0	127.5	184.3	97.0
-20°C	#11	11.6	21.0	37.5	9.4
	#12	10.4	17.0	28.4	11.8
	#13	9.1	15.3	26.2	11.5
	#14	-3.5	-0.2	5.5	-6.0
	#15	12.9	18.5	28.4	12.3
	#16	89.4	121.9	178.8	89.4
-30°C	#11	2.9	12.3	28.8	1.0
	#12	3.2	9.7	21.2	3.6
	#13	1.7	8.0	18.9	3.7
	#14	-11.9	-8.6	-2.8	-13.7
	#15	6.7	12.4	22.3	4.4
	#16	83.9	116.4	173.2	85.2
-40°C	#11	-5.8	3.6	20.0	-6.7
	#12	-4.0	2.5	13.9	-4.1
	#13	-5.6	0.6	11.5	-4.0
	#14	-20.2	-16.9	-11.2	-22.2
	#15	0.6	6.2	16.1	-3.3
	#16	78.3	110.8	167.7	81.7
-55°C	#11	-18.9	-9.5	6.9	
	#12	-14.9	-8.3	3.1	
	#13	-16.6	-10.4	0.5	
	#14	-32.7	-29.4	-23.7	
	#15	-8.7	-3.0	6.9	
	#16	70.5	98.9	148.6	

Fig. 4~9는 수치해석 결과 값과 KIOST에서 수행된 실내모형 실험 결과 값을 비교한 그래프(왼쪽)와 외부환경온도가 -10°C일 때의 실내모형실험 결과 값 및 수치해석 결과 값을 제외한 그래프(오른쪽)이다. 여기서, 실선은 실내모형실험 결과 값을 나타내며, 점선은 수치해석 결과 값을 나타낸다.

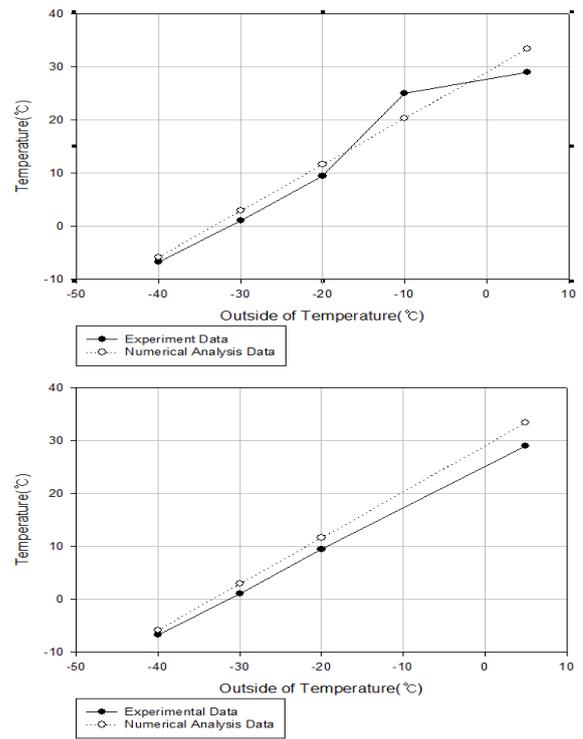


Fig. 4 Numerical analysis data of #11: Compared with experimental data(left). Numerical analysis data of #11: Compared with experimental data except in the -10°C(right)

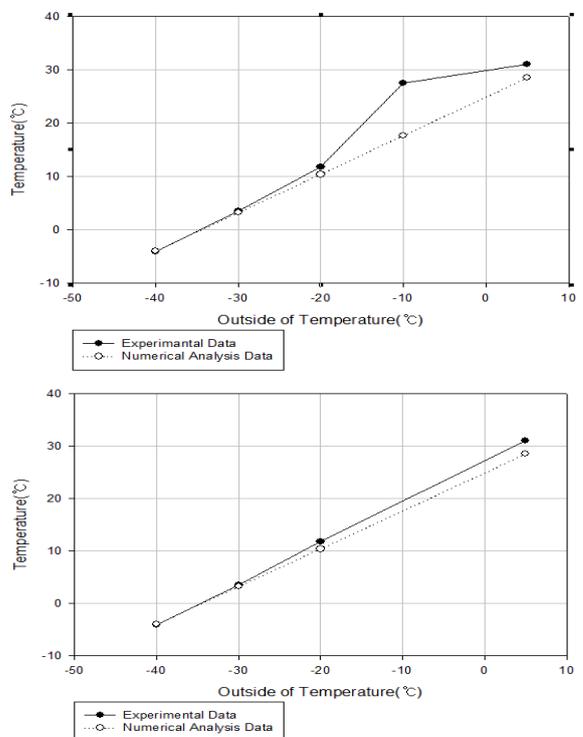


Fig. 5 Numerical analysis data of #12: Compared with experimental data(left). Numerical analysis data of #12: Compared with experimental data except in the -10°C(right)

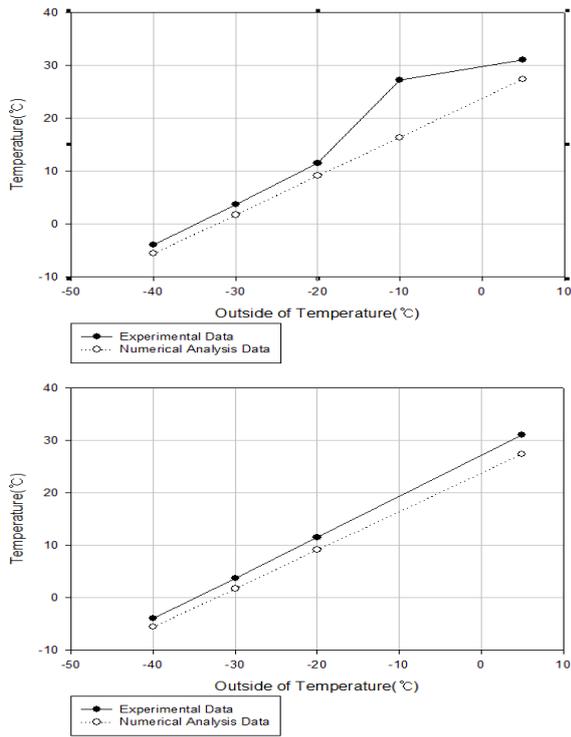


Fig. 6 Numerical analysis data of #13: Compared with experimental data(left). Numerical analysis data of #13: Compared with experimental data except in the  $-10^{\circ}\text{C}$ (right)

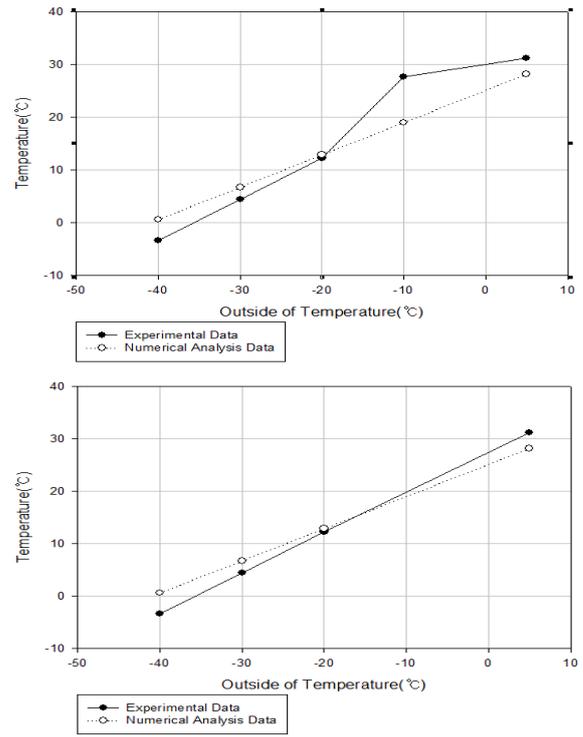


Fig. 8 Numerical analysis data of #15. Compared with experimental data(left). Numerical analysis data of #15. Compared with experimental data except in the  $-10^{\circ}\text{C}$ (right)

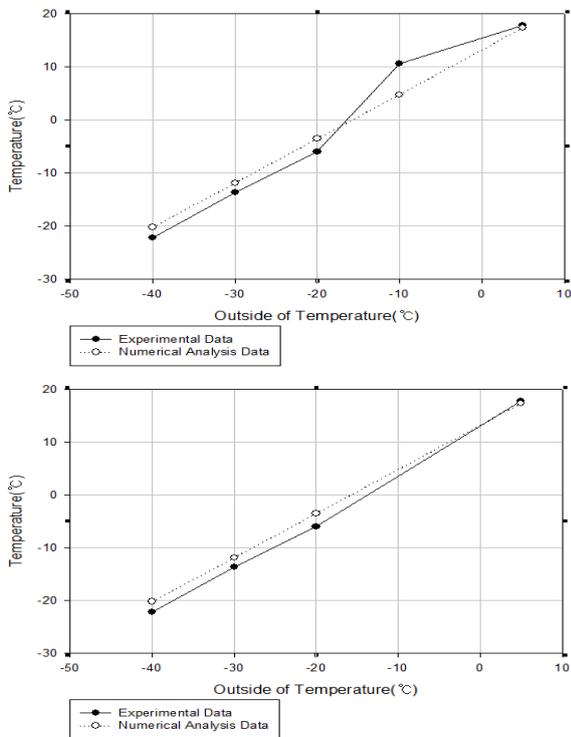


Fig. 7 Numerical analysis data of #14: Compared with experimental data(left). Numerical analysis data of #14: Compare with experimental data except in the  $-10^{\circ}\text{C}$ (right)

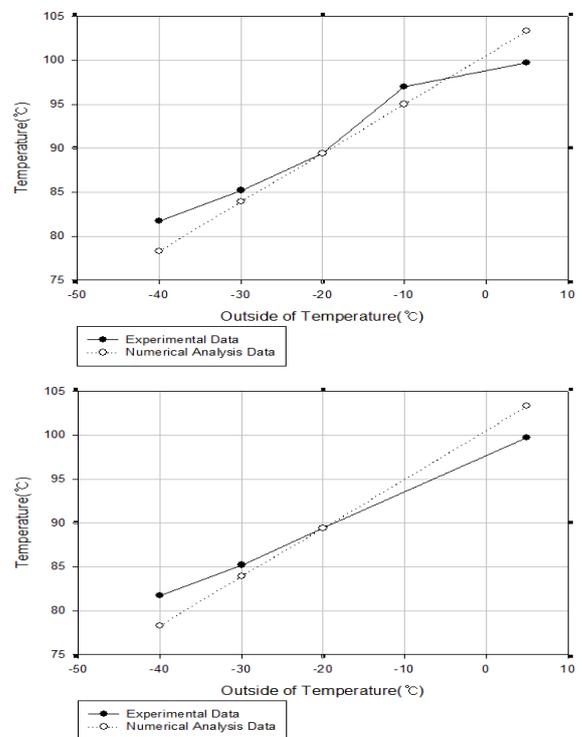


Fig. 9 Numerical analysis data of #16: Compared with experimental data(left). Numerical analysis data of #16: Compared with experimental data except in the  $-10^{\circ}\text{C}$ (right)

먼저, Fig. 4~9의 왼쪽에 위치한 그래프의 분석결과를 보면 외부환경온도가 -10°C일 때를 제외한 다른 온도에서는 실내모형 실험 결과 값과의 오차 범위가 최대 ±4.4°C이나, 외부환경온도가 -10°C에서의 수치해석 결과 값은 실내모형실험 결과 값과 차이가 최대 11°C가 난다. 다른 외부환경온도에서는 이러한 오차가 나타나지 않는데, 이는 실내모형실험의 결과 그래프인 Fig. 10에서 보면 #14의 결과 값은 외부환경온도가 -20°C로 바뀌기 직전의 온도는 10°C 이하를 가리키는 반면, Table 4의 실내실험 결과에서는 #14의 온도가 10.6°C를 나타내는 것을 볼 수 있다. 이처럼 Table 4의 실내실험 결과에 작성된 온도는 실내모형실험의 종료시점의 결과 값이 아니라 외부환경온도가 유지될 때의 평균 온도 값을 나타낸 것으로 볼 수 있다. 하지만 이는 외부환경온도가 -10°C일 때만 적용된 것임을 Fig. 10과 Table 4의 실내실험 결과를 분석한 결과로 알 수 있었다.

그리고, Fig. 4~9의 오른쪽에 위치한 그래프는 외부환경온도가 -10°C일 때의 결과 값을 제외한 그래프로, 이를 분석한 결과를 Table 5에 나타내었다. 수치해석 결과 값과 -10°C의 결과 값을 제외하고 그린 그래프에서 -10°C에서의 결과 값을 분석한 결과 값과의 오차가 최대 0.4°C로, 수치해석의 결과가 선형적으로 나타나고 있고, 신뢰성이 있다고 판단하여 외부환경온도가 -10°C일 때의 실내모형실험 결과 값을 동일한 방법으로 추정하였다.

Table 5 Numerical analysis data: Compared with numerical analysis data except in the -10°C: External environmental temperature -10°C

	Numerical Analysis Data	Numerical Analysis Data except in the -10°C
#11	20.3	20.1
#12	17.7	17.3
#13	16.4	16.2
#14	4.8	4.5
#15	19.0	18.7
#16	95.0	94.8

Table 6 Estimated experimental data. Compare with experimental data except in the -10°C: External environmental temperature -10°C

	Estimated Experimental Data	Experimental Data except in the -10°C
#11	19.0	17.2
#12	22.3	19.4
#13	22.4	18.8
#14	6.6	3.2
#15	22.5	19.5
#16	95.0	93.5

추정 결과는 Table 6에 나타내었으며, 최대 3.6°C ~ 최소 1.5°C 차이를 보이며, KIOST에서 수행된 ‘내빙선박용 풍우밀 문의 결빙방지 기법 연구’의 실내모형실험에서 나타난 외부환경온도 -10°C일 때의 결과 비교 값보다 현저하게 적은 오차를 보인다.

## 5. 수치해석 수행결과 및 분석

풍우밀 문과 문틀의 결빙방지 및 해빙의 기준을 만족하는 최적의 열선의 전력용량을 도출하기 위해 온도 센서의 위치, 재료의 물성치 등의 조건은 동일하게 적용하고, 열선의 전력용량만 변경하여 수치해석을 수행하였다.

여기서, #14의 온도센서는 풍우밀 문의 문틀 부근에 위치하고 센서의 위치가 외부와 4mm 떨어져 있는 반면, 열선과의 거리가 상대적으로 떨어져있어 낮은 환경온도에서는 결빙방지 조건을 충족하기 어렵다. 그래서 본 연구는 #14를 제외한 나머지 센서에서의 온도가 결빙방지 조건을 충족하는지를 알아보았다.

외부환경온도가 5°C, -10°C, -20°C, -30°C일 때는 모든 온도 센서에서는 모두 결빙방지 조건을 만족하기 때문에 본 결과에서는 이에 대한 분석을 생략하도록 한다.

Table 7, 8은 외부환경온도가 -40°C, -55°C 일 때의 각 센서 마다의 온도를 나타내고 있다.

Table 7에서는 열선의 용량이 33 W/m일 때 #11~13이 결빙방지 조건을 충족하지 못하는 것을 알 수 있으며, Table 9에서는 열선의 용량이 66 W/m일 때와 열선의 온도센서 위치를 제외하고는 결빙방지 조건을 충족하지 못하고 있다.

Table 7 Numerical Analysis of sensor temperature: External environmental temperature -40°C

Sensor point Cable power output	Sensor point				
	#11	#12	#13	#15	#16
33 W/m	-5.8	-4.0	-5.6	0.6	78.3
45 W/m	3.6	2.5	0.6	6.2	110.8
66 W/m	20.0	13.9	11.5	16.1	167.7

Table 8 Numerical Analysis of sensor temperature: External environmental temperature -55°C

Sensor point Cable power output	Sensor point				
	#11	#12	#13	#15	#16
33 W/m	-18.9	-14.9	-16.6	-8.7	70.5
45 W/m	-9.5	-8.3	-10.4	-3.0	98.9
66 W/m	6.9	3.1	0.5	6.9	148.6

외부환경온도가  $-40$ ,  $-55^{\circ}\text{C}$ 일 때, 결빙방지에 효율적인 열선의 용량을 도출하기 위해 Fig. 11, 12와 같은 그래프를 나타내었다.  $-40^{\circ}\text{C}$ 의 환경온도에서 결빙방지 조건을 만족하는 열선의 용량은  $45$ ,  $66\text{ W/m}$ 이고,  $-55^{\circ}\text{C}$ 의 환경온도에서 결빙방지 조건을 만족하는 열선의 용량은  $66\text{ W/m}$ 로, 본 연구에서는 고려되지 않은 선박의 상대적인 풍속과 물보라 같은 추가적인 환경조건까지 고려한다면  $-40^{\circ}\text{C}$ 의 환경온도에서는 열선용량이  $66\text{ W/m}$ ,  $-55^{\circ}\text{C}$ 의 환경조건에서는 열선 용량이  $66\text{ W/m}$  이상인 열선을 사용하여 시공하여야 풍우밀 문을 결빙방지 할 수 있다.

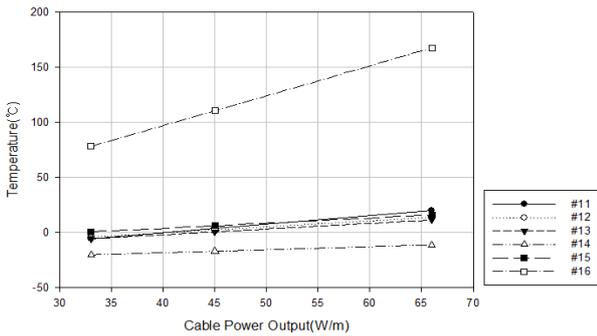


Fig. 11 Numerical Analysis of sensor temperature for each cable power output: External environmental temperature  $-40^{\circ}\text{C}$

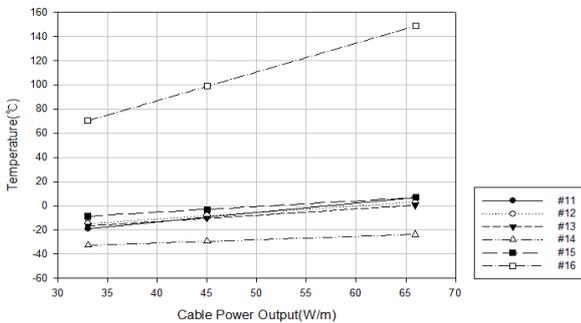


Fig. 12 Numerical Analysis of sensor temperature for each cable power output: External environmental temperature  $-55^{\circ}\text{C}$

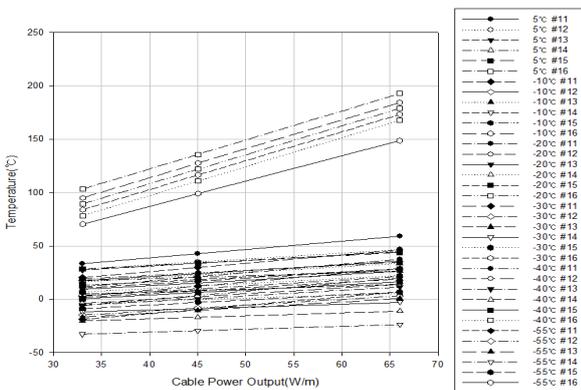


Fig. 13 Design guide of heating cable power output

그리고 Fig. 13과 같이 열선의 전력용량을 시공기준안 그래프 로 만들어 빙해선박의 항행 환경에 따라 효율적인 열선시공을 유도할 수 있도록 하여 선박의 전력사용량을 줄이고, 과도한 열선 용량의 시공을 피할 수 있다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 ANSYS Transient Thermal을 이용하여 빙해선박의 풍우밀 문(weather-tight door)의 효과적인 열선용량을 도출하기 위해 수치적으로 모사하였고, 이를 KIOST에서 수행한 실내 모형실험과 비교, 분석하였다. 본 논문의 결론은 아래와 같이 요약할 수 있다.

[1] 본 연구는 선박에 사용되는 풍우밀 문을 극지역에서도 사용할 수 있도록 문틀에 열선을 시공하여 문틀과 문이  $0^{\circ}\text{C}$  이하로 내려가지 않도록 하여 문의 개폐성능에 이상이 없도록 하면서, 효율적인 열선 시공을 통해 경제적이고 효율적인 설계가 가능하게 하고자 수행되었다.

[2] 본 연구에서 대상으로 한 풍우밀문은 KIOST에서 실내모형 실험으로 연구되었던 자료를 바탕으로 구현되었으며, 온도 측정을 위한 온도센서의 위치 및 본 연구의 열전달 특성상 공기의 대류에 의한 온도의 영향이 미비할 것이라 예상하고 2차원 평면으로 모델링하여 해석을 수행하였다. 실험 결과 값과 수치해석 결과 값을 비교한 결과 강제시편의 온도는 발산하지 않고 특정한 도로 수렴함.

[3] 외부환경온도가  $-10^{\circ}\text{C}$ 인 경우, 수치해석 결과와 실내모형 실험 결과 값의 오차가 최대  $11^{\circ}\text{C}$ 가 나는데 그 원인을 분석한 결과, 실내모형실험 결과 값이 외부환경온도가  $-20^{\circ}\text{C}$ 로 변하기 직전의 온도가 아닌  $-10^{\circ}\text{C}$ 에서의 실내모형실험 결과 값의 평균을 산출해 놓은 값이고, 수치해석 결과 값과 외부환경온도가  $-20^{\circ}\text{C}$ 로 변하기 직전의 결과 값과는 유사하므로 수치해석의 오류는 없는 것으로 보인다.

[4] 외부환경온도가  $10^{\circ}\text{C}$  감소할 때, 센서의 온도는 약  $9^{\circ}\text{C}$  정도 감소하고, 열선의 용량이  $10\text{ W/m}$  올라갈 때마다 약  $8^{\circ}\text{C}$  정도 올라가는 것을 확인할 수 있다.

[5] Fig. 7과 같은 시공기준안 그래프를 작성하여 빙해선박의 항행 환경에 따라 효율적인 열선 시공이 가능하도록 하여 경제적이고 효율적인 시공으로 한국의 빙해선박 경쟁력 강화에 큰 도움이 될 것으로 생각된다.

## 후 기

본 논문은 지식경제부 산업원천기술개발사업인 “빙해선박의 극지항로 안전운항기술 및 극저온 빙성능 시험평가 기법 개발” 중 “극지용 저온 설계 및 Winterization 평가기술(PNS133C)” 과제 및 산업자원통상부의 “해양플랜트 특성화대학 지원사업”의 지원으로 수행된 결과이다.

## References

- ANSYS Inc., 2010. *ANSYS CFX-Solver Theory Guide*. RELEASE 13.0., ANSYS Inc.: USA(Canonsburg)
- Jeong, S.Y. Chun, E.J. Cho, S.R. & Lee, C.J., 2011a. A Study on Anti-Icing Technique for Weather-Tight Door of Ice-Strengthened Vessels. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 48(6), pp.575-580.
- Jeong, S.Y. Lee, C.J. & Cho, S.R., 2011b. 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.
- 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.

Ministry of Knowledge and Economy, 2013. *A Development of the Safe Operation Methodology of Ice-Class Vessel at Arctic Sea Route and the Cryogenic Evaluation Techniques for the Ice Performance*, Gwacheon: Ministry of Knowledge and Economy.



서 영 교

정 영 준