



북극항로 운항 LNG 운반선의 선실 구역 Winterization 통합 설계 사례 연구

손영택[†]
경상남도청

A Case Study on Integrated Winterization Design of Accommodation Areas for Arctic-Route LNG Carriers

Young-Taek Sohn[†]
Gyeongsangnam-do Provincial Government

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.

This paper presents a systematic documentation of Winterization design practice applied to the accommodation area of an Arctic-route LNG carrier, based on direct design experience with a 170K CBM LNG ICE2 CLASS vessel(Winterization notation: -30°C) ordered by Sovcomflot. In compliance with MSC/Circ.1056 and Lloyd's Register Provisional Rules for the Winterisation of Ships, Heat Tracing using self-regulating cables (20XTV2-CT, 66W/m) was applied to four critical zones along escape routes: (1) weather-tight door frames, (2) accommodation entrance floors, (3) handrails, and (4) under-deck surfaces. Inclined ladders (5) adopted Open Grating as a passive alternative, eliminating Heat Tracing. Three additional passive measures were implemented without supplementary power: Open Grating at 6 locations, Hot Water Lines from engine room supply at 26-28 points, and relocation of a Tilting Lighting Post Power Pack to the elevator machine room. As a further passive measure, HVAC Diffuser Lines from existing air-conditioning systems were applied to winterize accommodation windows and sliding doors, eliminating additional electrical load; incidental material cost savings reached approximately 95-97%. By documenting operational knowledge of Arctic-route vessel owners and on-site design expertise in a structured form, this study provides a reference for Winterization design practice in the accommodation area of polar-route vessels. The conditional branching algorithm presented in Table 9 may provide a reference basis for future Rule Engine development in shipbuilding design automation.

Keywords : Northern Sea Route(북극항로), LNG carrier(LNG 운반선), Winterization, Heat tracing(히트 트레이싱), Polar and arctic engineering(극지 및 북극 공학), Passive design(수동형 설계)

1. 서론

북극해 항로(Northern Sea Route, NSR)는 수에즈 운하 경유 항로 대비 항해 거리를 약 30-40% 단축할 수 있는 전략적 해상 루트이다. Gunnarsson (2021)에 따르면 2016-2019년 사이 NSR 운항 횟수는 58% 증가하였으며, 화물량은 동 기간 약 4배 증가하였다. Muller et al. (2023)은 IMO Polar Code 적용 해역 내에서 NSR이 가장 큰 성장세를 보이는 항로로, 운항일수가 연 평균 7% 증가하고 있음을 확인하였다.

북극해 운항 선박은 최저 외기온도 -40°C 이하의 극한 환경에 노출되며, 이에 따라 승조원의 안전과 장비의 정상 작동을 보장

하기 위한 Winterization 설계가 핵심 기술 과제로 대두되고 있다. 2017년 발효된 IMO Polar Code 제8.3.1조는 탈출 경로, 소집 장소, 생존정 접근로의 착빙·적설 제거 또는 방지 수단을 갖추도록 명시하여 관련 요건을 강화하였다(IMO, 2015). Lloyd's Register (LR)는 'Provisional Rules for the Winterisation of Ships'(이하 본문에서는 Winterization으로 통일 표기) Section 5.9.1을 통해 탈출 경로상 외부 출입문 개방 보조 장치, 실링 동결 방지, 인접 밀폐 공간의 Heating System 설치를 요구하고 있다.

선박 Winterization에 관한 기존 연구는 크게 두 가지 방향으로 분류된다. 첫째, Oldford et al. (2013)은 북극 환경 운항 선박의 Winterization 기술을 Risk 기반으로 체계화하고 방한 기술의 적



Fig. 1 ICE2 CLASS LNG carrier Velikiy Novgorod navigating Arctic ice(Source: Sovcomflot, via High North News, 2023)

용 범위와 한계를 분석하였다. ABS (2008)는 저온 환경 운항 선박을 위한 Guide를 제시하여 구조, 기관, 외장 각 분야의 최소 요건을 규정하였다. 둘째, Brazil et al. (2012)는 극지 운항 선박의 결빙 방지를 위한 전기 Heat Tracing 설계 방법론을 제시하였으며, 외기온도와 케이블 사양에 따른 전력 산출 방법을 체계화하였다. 그러나 동 연구는 선실 구역 외장 설계에의 구체적 적용 방안과 전기 부하 최소화를 위한 Passive 대안 설계 측면은 다루지 않았다. 이와 같이 기존 연구는 선체 구조 및 열해석 중심에 집중되어 있으며, 선주의 실운항 경험을 설계 원칙으로 체계화하고 규정 요건 충족과 전기 부하 최소화를 동시에 달성하는 의사결정 체계를 제시한 사례는 문헌상 부재하다. 실제로 Sovcomflot 보유 ICE2 CLASS LNG 운반선 Velikiy Novgorod(Significant Ships of 2014 선정, RINA, 2014)는 2023년 8월 NSR을 경유한 최초의 비북극권 LNG 수송을 완수하였으며(Humpert, 2023)(Fig. 1 참조), 이는 ICE2 CLASS 최소 등급 선박도 최적화된 Winterization 설계를 갖출 경우 NSR 상업 운항이 가능함을 실증한다. 한편 Ice Class 미보유 선박의 NSR 투입에 따른 안전 우려(Chambers, 2023)는 적정 등급 취득과 Winterization 설계의 중요성을 역설적으로 방증한다.

본 연구는 Sovcomflot사 발주 170K CBM LNG ICE2 CLASS 북극항로 운항 LNG 운반선(2014년 인도)의 선실 구역 Winterization 설계 실무를 학술적으로 기록하고 정리하는 것을 목적으로 한다. 해당 설계 사례는 2014년 제40회 선박해양설계 연구발표회에서 발표된 바 있으며(Sohn, 2014), 본 논문은 이를 바탕으로 체계화하고 확장한 것이다.

2장에서는 설계 배경 및 기본 철학, 3장에서는 Heat Tracing 5개 구역의 설계 기준, 4장에서는 전기 부하 최소화를 위한 대안 설계, 5장에서는 HVAC Diffuser Line을 활용한 Passive Winterization 설계를 기술하며, 6장에서 결론을 맺는다.

2. 설계 배경 및 기본 철학

2.1 적용 규정 및 Ice Class Notation



Fig. 2 Sovcomflot's LNG carrier operating on the Northern Sea Route(Source: Sovcomflot, via Splash247, 2023)

본 선박에 적용된 ICE2 CLASS는 극지 운항 선박 등급 체계로, 선주 요청에 의해 WINTERIZATION(-30°C) Notation을 추가 적용하였으며 본 논문의 모든 설계는 -30°C 를 기준 외기온도로 하였다. IMO MSC/Circ.1056 제4.4.3.1조는 거주구의 모든 탈출 수단은 낮은 외기 온도로 인한 오작동 또는 착빙으로 인해 사용 불능 상태가 되어서는 안 된다고 명시한다. LR *Provisional Rules for the Winterisation of Ships Section 5.9.1*은 탈출 경로상 외부 출입문 개방 보조 장치, 실링 동결 방지, 인접 밀폐 공간의 Heating System 설치를 요구한다.

Sovcomflot사는 NSR 실제 운항 경험(Fig. 2 참조)을 바탕으로, ICE2 CLASS 요건 중 선체 Ice Belt와 같이 구조적으로 불가결한 항목과 실운항에서 효과가 제한적이거나 유지관리 부담이 큰 항목을 구분하였다. 이에 따라 선실 구역 Winterization 설계는 선주의 운항 경험(Operational Experience)을 우선적으로 반영하였으며, 최종 설계안은 선급 승인을 득하였다.

2.2 선주 운항 경험 기반 Heat Tracing 재해석

Sovcomflot사는 러시아 국영 해운사(SCF Group)로, NSR 상업 운항을 선도해 온 선사이다. 동사는 다수의 Ice Class 선박을 직접 운항하며 축적한 극지 운항 경험을 설계 단계에 적극적으로 반영하는 것으로 알려져 있다. 설계 과정에서 선주 감독관은 NSR 실운항 경험을 바탕으로 다음의 현장 지식을 제시하였다. 본 선박에 적용된 Self-regulating cable(20XTV2-CT, 66 W/m)은 PTC 특성에 의해 저온에서 발열량이 증가하나, -30°C 환경에서 표면 유지 목표온도 $+5^{\circ}\text{C}$ 는 착빙층 완전 용해가 아닌 계면 액막(liquid film) 형성에 해당하며, 착빙 부착력을 저하시켜 타격 도구에 의한 제거를 용이하게 하는 수준이다(Fig. 3 참조).

또한 선주 감독관은 전기 Heat Tracing 확대 적용에 대해 다음 세 가지 운항 경험을 제시하였다. 첫째, 극지 운항 시 추가 전력 손실 및 전기 부하 증가 문제. 둘째, 회로, Controller, Junction Box 증가에 따른 유지보수 포인트 증가. 셋째, Deck Heating 시 착빙이 완전히 용해되지 않은 상태에서 수막 형성으로 미끄러움 증가 및 재동결 시 더 강한 착빙층 형성의 역효과.



Fig. 3 Ice removal from vessel bow using mallets (Source: USCG, via National Fisherman, 2026)

이러한 운항 경험을 바탕으로, 본 설계에서는 Heat Tracing을 결빙 완전 방지 수단이 아닌 착빙 제거 보조 수단으로 재해석하였으며, 전기 부하 최소화를 핵심 설계 원칙으로 설정하였다.

2.3 설계 기본 원칙

전술한 규정 조건과 선주 실운항 경험(Operational Experience)을 통합하여 세 가지 설계 기본 원칙을 수립하였다. 기존 연구(ABS, 2008; Brazil et al., 2012)가 규정 충족 조건 또는 전기 Heat Tracing 설계 방법론에 집중한 반면, 본 원칙은 Passive 방식을 우선 적용하고 불가피한 경우에 한하여 Active 방식을 채택하는 의사결정 우선순위를 체계화한 것이다. ICE2 CLASS 요건 충족 방식은 설계자와 선주의 판단 영역으로, Sovcomflot사는 전기 부하 증가와 유지보수 부담을 근거로 이 원칙의 채택을 요구하였으며, 최종 설계는 이 의사결정 흐름에 기반한다(Table 1 참조).

2.4 IMO Polar Code(2017) 요건과의 비교

본 선박의 설계 및 인도(2014년)는 IMO Polar Code (International Code for Ships Operating in Polar Waters, Resolution MSC.385

Table 1 Design principles for accommodation area Winterization

No.	Content	Design Principle
1	Limit heat tracing to the minimum regulatory requirements	Minimize design complexity by applying only direct LR/IMO requirements
2	Prioritize passive methods (structural/mechanical alternatives with zero electrical consumption)	Prioritize zero-additional-load alternatives: Open gratings, hot water lines, and natural thermal environments
3	Minimize maintenance burden through electrical system simplification	Suppress increases in circuits and controllers by branching from existing HVAC and E/R hot water systems

Table 2 Comparison of regulatory requirements

Polar Code	Description	This Design
Ch.8.3.1	Means for clearing or preventing icing and snow accumulation on escape routes, muster stations, and survival craft access routes	Applied Zone 1-5 / Heat Tracing (Zone 1,2,3,4), Open Grating (Zone 5), Hot Water Line, HVAC Diffuser
Ch.8.3.2	Escape means must not become inoperable due to malfunction or icing in low-temperature environments	Applied Zone 1-5 / Self-regulating Cable, Passive structural alternatives

(94)) 발효(2017년 1월 1일) 이전에 완료되었다. 따라서 본 설계에 직접 적용된 규정은 IMO MSC/Circ. 1056(2002) 및 LR Provisional Rules for the Winterisation of Ships(2010)이다.

Polar Code 발효 이후 선실 구역 Winterization과 관련하여 강화된 주요 요건을 Table 2에 정리하고, 본 설계와의 부합 여부를 분석하였다.

Table 2에서 확인되는 바와 같이, 본 설계는 Polar Code 발효(2017년) 이전에 완료되었음에도 불구하고, MSC/Circ.1056 및 LR Provisional Rules에 기반한 설계 원칙이 Polar Code Chapter 8의 핵심 요건인 탈출 경로 착빙·적설 제거(Ch.8.3.1) 및 탈출 수단의 작동 보장(Ch.8.3.2)과 실질적으로 부합한다. 이는 Sovcomflot사의 NSR 실운항 경험이 설계에 반영됨으로써, 사후적으로 Polar Code 수준의 안전 요건을 선취한 결과로 해석할 수 있다.

특히 Ch.8.3.1이 요구하는 탈출 경로의 착빙·적설 제거 수단으로서 Heat Tracing(Zone 1-4)과 Open Grating(Zone 5)을 병행 적용한 것은, 단일 방식에 의존하지 않는 이중 안전 체계를 구현한 것으로 해석할 수 있다. 또한 Hot Water Line 및 HVAC Diffuser의 활용은 추가 전기 부하 없이 Ch.8.3.2의 탈출 수단 작동 보장 요건을 충족하는 Passive 방식의 실증 사례로서 의의를 갖는다.

3. Heat Tracing 적용 구역 및 설계 기준

3.1 Heat Tracing System 개요

본 선박 선실 구역에는 주변 온도 변화에 따라 발열량이 자동 조절되는 Self-regulating 방식 Heating Cable(20XTV2-CT, 66 W/m)을 채택하였으며, 설계 기준 외기온도 -30°C , 표면 유지 목표온도 $+5^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였다.

시스템 계통은 Fig. 4와 같이 Main Power(440 V AC 3Ph) → Distribution Panel → Temperature Controller → Junction Box → 각 구역의 폐루프(Closed-loop) 제어 구조로 구성되며, Zone 1(Door Frame), Zone 2(Entrance Floor), Zone 3(Handrail Top), Zone 4(Under Deck)의 4개 구역에 적용하고 Zone 5는 Inclined Ladder Step에서 Open Grating으로 대체하였다.

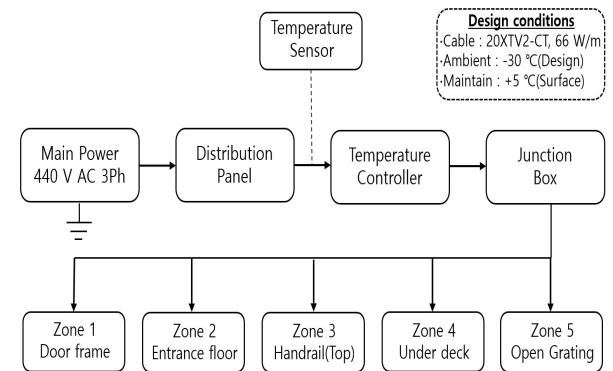


Fig. 4 Electric heat tracing system diagram for Accommodation area

3.2 적용 구역별 설계 기준

3.2.1 Zone 1 – Weather-tight Door Frame

탈출 경로상 모든 외부 출입문 Frame에 Heating Cable을 시공하였다(LR Sec. 5.9.1). SUS Door는 Frame 재질 특성상 내부 배선이 가능하므로 Frame 내부 배선 후 Silicone Sealant로 마감하였다. Steel Door는 구조적 특성상 내부 배선이 불가하여 15A SPP #80 Cable Pipe에 Heating Cable(13×80 Insert Hole)을 삽입하는 방식을 적용하였다(Fig. 5 참조).

3.2.2 Zone 2 – Accommodation Entrance Floor

탈출 경로상 거주구 외부 출입구 바닥의 기존 고무 매트(1,000×1,000 mm, 15 t)를 Heating Cable 시공 Unit으로 완전히 대체하였다. Heating Cable은 SUS316L 소재 Channel(20×15×1.2 t) 내에 삽입하고, Non-skid Checkered Plate 상부에 Pitch 150 mm 간격으로 설치하였다. 적용 Unit 크기는 1,000×1,000 mm이다(Fig. 6 참조).

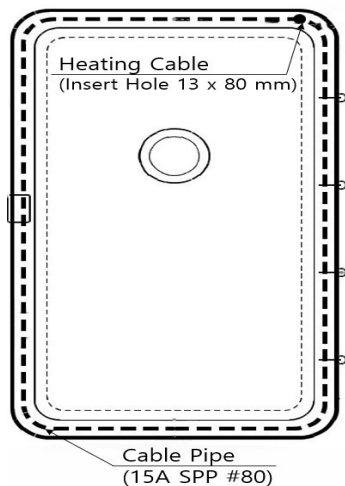


Fig. 5 Weather-tight steel door with heating cable

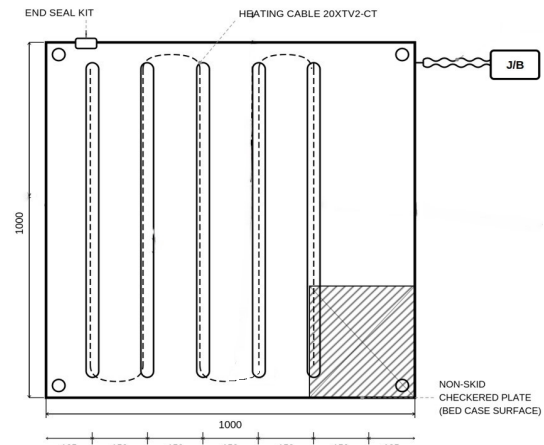


Fig. 6 Non-skid checkered plate with heating cable

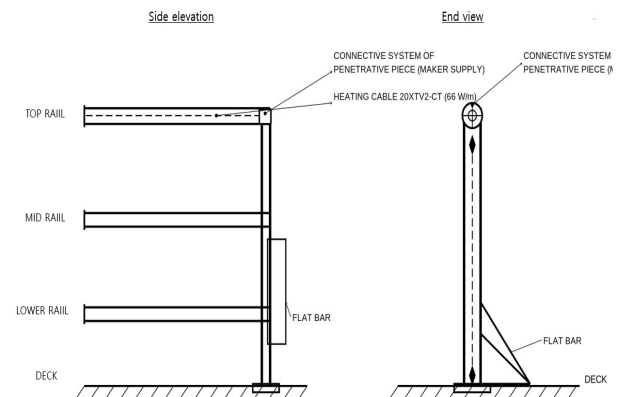


Fig. 7 Handrail with heating cable

3.2.3 Zone 3 – Handrail

탈출 경로상 외부 Handrail의 착빙으로 인한 파지 불능 상태를 방지하기 위해, Heating Cable(20XTV2-CT, 66 W/m)을 Top Rail 내부에 통과시키는 방식으로 시공하였다(Fig. 7 참조). Top Rail 내부 배선 방식은 외부 노출 배선 대비 Cable을 결빙·충격으로부터 보호하고, Handrail 외관을 유지하면서 열전달 효율을 높이는 이점이 있다. 또한 탈출 경로 전 구간의 Handrail에 연속 적용함으로써 승조원이 어느 지점에서든 안정적인 파지 상태를 확보할 수 있도록 하였다.

3.2.4 Zone 4 – Under Deck

Heating Cable을 AT-180 Al. Foil Tape로 Deck 하부면에 고정하고 300 mm Pitch로 U자형 배열하였다. 일반적인 시공 방식에서는 Aluminum Tape 처리만으로 마감하나, 본 선박에서는 Cable과 Deck 사이에 K-Flex(19 t, HYPALON Jacket)를 삽입하여 열손실을 차단하였다. 이를 통해 동일 사양 Cable로 더 높은 표면 유지온도를 확보하였다(Fig. 8 참조).

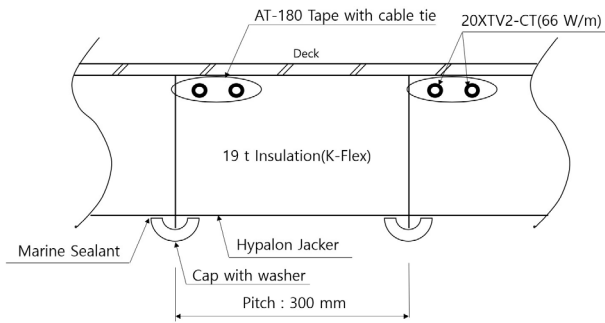


Fig. 8 Under deck for heating cable

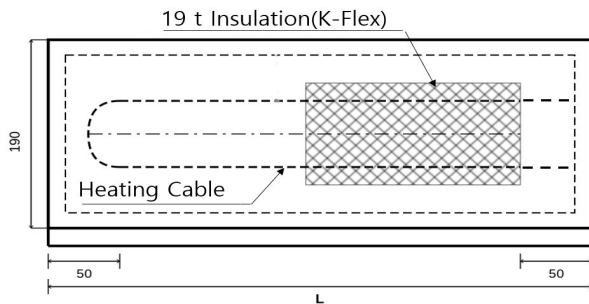


Fig. 9 Under deck heating cable detail (similar to Zone 4, initial design for Zone 5)

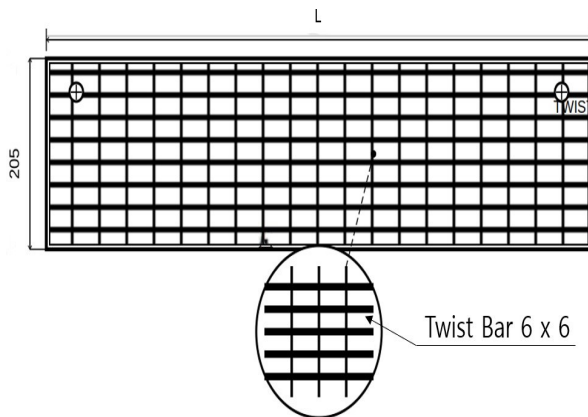


Fig. 10 Twist Bar 6x6 Open Grating (Zone 5, revised design)

3.2.5 Zone 5 – Inclined Ladder

당초 Heating Cable (Fig. 9 참조) 적용으로 설계하였으나, 선주의 Open Grating (Fig. 10 참조) 적용 요청에 따라 Inclined Ladder Step을 함께 검토하여 Twist Bar 6x6 Open Grating 방식으로 도면을 개정하고 선주 및 선급 승인을 득하였다.

3.3 적용 구역 요약

Table 3에 5개 Zone의 설계 기준을 정리하였다. 설계 외기온도 -30°C , 표면 유지 목표온도 $+5^{\circ}\text{C}$ 이상, Heating Cable 20XTV2-CT (66 W/m)을 전 구역에 공통 적용하였으며, Zone 5는 Open Grating으로 대체하였다.

Table 3 Summary of Heat Tracing design criteria by zone

Zone	Application / Cable Spec.	Installation Method and Notes
1	Weather-tight Door frame / 20XTV2-CT, 66 W/m	SUS door: Internal frame wiring with silicone sealant Steel door: Inserted into 15A SPP #80 cable pipe (LR Sec.5.9.1)
2	Accommodation Entrance Floor / 20XTV2-CT, 66 W/m	SUS316L Channel (20x15x1.2 t) + Non-skid checkered plate, Pitch 150 mm (Replacing conventional rubber mats)
3	External Handrail / 20XTV2-CT, 66 W/m	Internal routing through top rail (along entire escape route)
4	Under-Deck surface / 20XTV2-CT, 66 W/m	Secured with AT-180 Al. foil tape, U-shape layout at 300 mm pitch with K-Flex 19 t insulation
5	Inclined Ladder Step (Converted to Open Grating)	Converted to Twist Bar 6x6 open grating (Passive alternative, zero additional electrical load)

4. 전기 부하 최소화를 위한 대안 설계

4.1 Open Grating 적용

본 장의 대안 설계는 Table 1의 설계 원칙에 따라 ‘규정 요건 충족 → Passive 적용 가능 여부 판단 → 불가 시 Heat Tracing 적용’의 3단계 의사결정 흐름에 기반한다. 2.2절에서 기술한 바와 같이, 전기 Deck Heating 방식은 부분 용해에 의한 수막 형성과 재동결 시 착빙층 강화의 역효과가 있다. 이에 따라 본 설계에서는 전기 에너지를 일절 소비하지 않으면서 적설을 자중에 의해 자연 낙하시키는 Open Grating 방식을 적극적인 대안으로 검토하였다 (Fig. 11 참조).

Open Grating은 강재 격자 (Twist Bar) 구조로 구성되어 적설이 격자 사이를 통해 자중에 낙하하는 원리를 활용한다. 이 방식은 전기 배선, Controller, 유지보수 포인트가 전혀 없으며, NSR 운항 중 결빙 조건이 가변적인 환경에서도 일정한 제설 효과를 발휘한다. 특히 IMO Polar Code 제8.3.1조가 탈출 경로의 적설·착빙 제거 수단을 요구하는 바, Open Grating은 이를 Passive 방식으로 충족하는 구조적 대안이다.

또한 2.2절에서 기술한 선주 감독관의 세 번째 운항 경험, 즉 Deck Heating에 의한 수막 형성과 재동결 위험은 탈출 경로에서 승조원의 대피 안전을 직접적으로 위협하는 요인이다. Open Grating은 이러한 역효과를 구조적으로 원천 차단하며, ICE2 CLASS 요건 충족 범위 내에서 전기 부하 최소화 원칙에 가장 부합하는 방식으로 평가된다. 본 설계에서는 이 방식을 설계 원칙

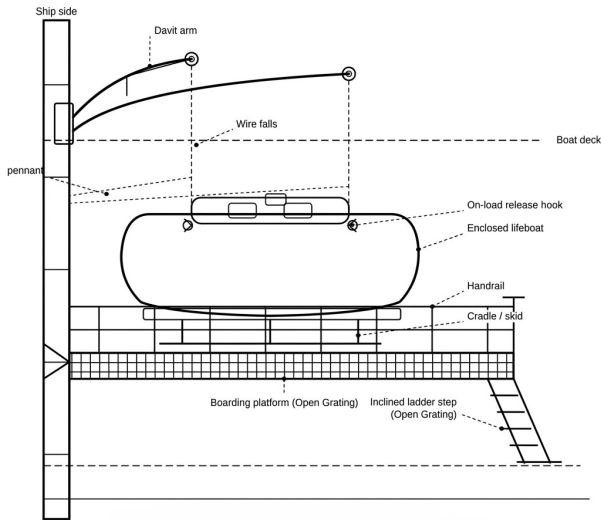


Fig. 11 Open Grating for lifeboat boarding platform and Inclined ladder

2(Passive 우선)의 핵심 적용 사례로 채택하였다.

거주구 외부 선체 Platform 전체에 대한 Open Grating 적용을 검토하였으나, 다음 세 가지 이유로 전면 적용이 불가하였다. 첫째, Scantling 재계산 필요. 둘째, 선급 재승인 요구. 셋째, Cargo 시스템 Main 가스관 Supporting Bracket 설치 공간 미확보. 이에 따라 B-Deck-Cargo Deck 연결부 2개소, Accom.-Engine Casing 연결부 4개소에 부분 적용하였다(Table 4 참조).

4.2 Hot Water Line 활용

Engine Room 주기관 냉각 계통의 온수를 기존 배관 System에서 분기하여 추가 에너지 소비 없이 활용하는 방식으로, 배관설계 부서가 제안하였다. 선주 감독관은 온수를 직접 공급하면 착빙이 즉각적으로 박리된다는 실운항 경험을 제시한 바 있으며(2.2절 참조), 이를 설계에 반영하였다. 적용 구역은 Table 5와 같다.

4.3 Tilting Lighting Post Power Pack 이설

본 선박에는 북극항로 운항을 위해 Tilting Type Lighting Post 1기가 적용되었으며, Power Pack을 외부 노출부에서 Elevator Traction Machine Room으로 이설하였다(Fig. 12 참조).

Elevator Traction Machine Room은 주수직 트렁크 구조로 Sheave 및 Rail이 통과하는 대형 Opening을 통해 거주구 내부 난방 열기가 지속적으로 유입되어 상시 Positive Temperature가

Table 4 Application zones for Open Grating platform

Application Zone	Q'TY	Dimension(mm)	Remarks
B-deck-Cargo	2	1,200×1,200	Twist Bar 6×6 (Pitch 30 mm)
Accomm.-Engine Casing	4	2,000×1,200	Twist Bar 6×6 (Pitch 30 mm)

Table 5 Application zones for hot water line

Application Zone	Q'TY	Remarks
Accomm. Main Entrance	24	Ice removal around entrance
Lighting Post Tilting Point	1	Prevention of cylinder icing
Air Horn Sheave Point	1-3	Prevention of sheave icing

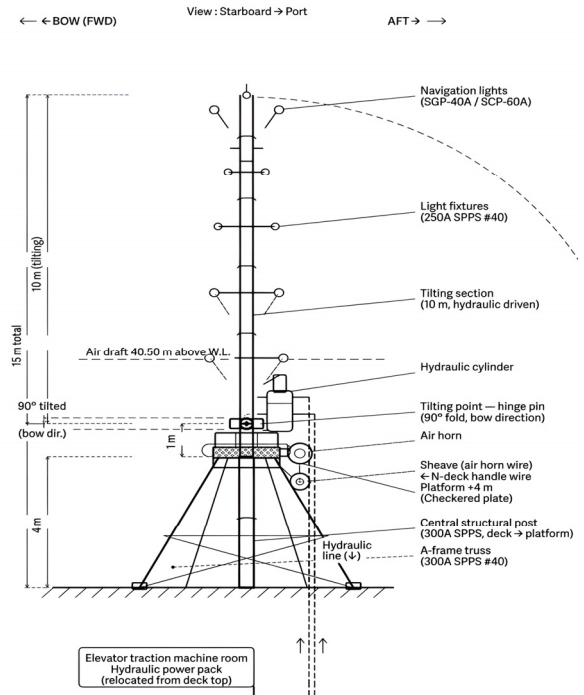


Fig. 12 Hyd. power pack relocated to elevator traction machine room

유지된다. 이 자연 발생 열환경을 활용함으로써 Power Pack을 위한 별도 Heating System을 생략하였다(Table 6 참조).

5. HVAC Diffuser Line 활용 Passive Winterization 설계

5.1 전면창 Winterization

선장실 및 기관장실 전면창(1,000×800 mm, 4개)의 방한 방

Table 6 Comparison of Winterization methods for Tilting post Power Pack

Item	General	This Vessel
Power Pack Location	Weather deck (Compass deck)	Elevator Traction Mach. (N-deck)
Winterization Method	Additional Heating System	Utilization of natural thermal environment
Additional Electrical Load	Generated	None

식으로, Heated Glass 대신 공조 System의 기존 Diffuser Line을 천장에서 분기하여 Window Box에 직접 연결하고, 창문당 상부 Nozzle 2개를 통해 온풍을 창면에 공급하는 방식을 채택하였다.

본 방식은 공조 온풍의 대류 열전달(Convective Heat Transfer)을 직접 활용하여 창면 결빙을 방지하는 메커니즘으로, 기존 공조 계통을 분기하므로 추가 전기 배선 및 Controller가 불 필요하다. 이는 2.3절 설계 원칙 2(Passive 방식 우선) 및 원칙 3(전기 System 간소화)에 직접 부합하는 설계이다.

Heated Glass 방식은 창 단가 400~500만원/개에 더하여 별도 전기 배선 및 Controller가 요구되는 반면, Diffuser Nozzle 방식은 기존 공조 계통 분기로 추가 전기 부하가 발생하지 않으며 재료비는 Nozzle 비용(10~20만원/개)만 소요된다. 재료비 기준 약 1,520~1,960만원(95~97%) 절감은 부수적 정량 효과이며, 본 방식의 핵심은 추가 전기 부하 없이 기존 설비를 활용한 Proven Design으로서, 발주처(Sovcomflot) 검토를 득하였다(Table 7 참조).

5.2 Wheelhouse Sliding Door Frame Winterization

본 선박은 Post Panamax Rule 요건에 따라 Wing Side 견시 확보를 위한 Slanted Window 및 Sliding Door를 설치하였다. 또한 건조사양서에 따라 외부와 직접 접하는 모든 부위에 복층 구조(Air Gap)를 적용하도록 규정되어 Sliding 이중도어가 채택되었다.

Sliding Door는 구조적 특성상 Heated Glass를 적용할 수 없으므로, 공조 System 기존 Diffuser Line을 분기하여 Door Frame 상부에 Nozzle(2개/개소, 총 4개)을 설치하고 온풍을 Frame 및 Sealing부에 직접 공급하는 방식을 채택하였다. 이 역시 추가 전기 부하 없이 기존 공조 계통을 활용하는 Passive 대안으로, 5.1절과 동일한 설계 원칙에 기반한다.

Post Panamax Rule을 적용한 Ice Class LNG 운반선에서 Sliding Door Winterization에 대한 선행 설계 기준이 없는 상황에

Table 7 Comparison of window winterization methods

Item	Heated Glass (Conventional)	Diffuser Nozzle (Applied)
Additional electrical load	Generated (Controller required)	None (Branch from existing HVAC)
Window unit cost	KRW 4~5M / unit	— (Existing window retained)
Nozzle unit cost	—	KRW 0.1~0.2M / unit
Quantity applied	4 units (1,000 × 800 mm)	4 units (8 nozzles)
Subtotal (Material cost)	KRW 16~20M	KRW 0.4~0.8M
Cost reduction effect	—	Approx. KRW 15.2~19.6M (95~97%)

Table 8 Cost comparison of Sliding Door Winterization methods

Item	Conventional Method	Applied Method	Remark
Sliding Door Winterization	Heated Glass not applicable	Diffuser Nozzle (4 units)	Design solution for structural constraints
Additional Electric Load	—	None	Branch from existing HVAC

서 채택된 설계 사례이며, 발주처(Sovcomflot) 검토를 득한 Proven Design이다(Table 8 참조).

5.3 설계 규칙의 구조화

본 연구에서 기술한 Winterization 설계는 규정 요건 충족 여부, 구조적 적용 가능성, 전기 부하 최소화 우선순위에 따른 Rule-based 설계 특성을 갖는다. 이러한 설계는 판단 조건과 결과가 명확한 Conditional Branching 형태로 구조화할 수 있다(Table 9 참조). 본 선박의 설계 결과에 역적용하면, Zone 1~3은 조건 ②·③, Zone 2~5는 조건 ④-1·④-2, Hot Water Line 분기는 조건 ⑤, 전면창 및 Sliding Door는 조건 ⑥, Power Pack 이설은 조건 ⑦의 분기 경로와 각각 일치하여, 알고리즘의 설계 재현성이 확인된다.

6. 결 론

본 연구는 Sovcomflot사 발주 170K CBM LNG ICE2 CLASS 북극항로 운항 LNG 운반선(2014년 인도)의 선실 구역 Winterization 통합 설계 실무를 학술적으로 기록한 것이다. 설계 대상인 Velikiy Novgorod는 2023년 NSR을 경유한 비북극권 LNG 수송을 성공적으로 완수하여(Humpert, 2023), ICE2 CLASS 선박의 최적화된 Winterization 설계에 의한 NSR 상업 운항 가능성을 실증하였다.

Heat Tracing은 MSC/Circ.1056 및 LR 규정이 요구하는 4개 Zone에 한정 적용하였으며, 대안으로 Open Grating 6개소, Hot Water Line 26~28개소, Tilting Lighting Post Power Pack 이설이 추가 전기 부하 없이 적용되었다. 공조 Diffuser Line 활용 Heated Glass 대체 설계로 재료비 기준 약 1,520~1,960만원(95~97%) 절감이 달성되었다(Table 7 전면창 기준). Sliding Door의 경우 Heated Glass 적용 자체가 구조적으로 불가하여 정량 비교는 제시하지 않았다(Table 8 참조). 이상의 Passive 대안은 모두 선주 및 선급의 최종 승인을 득한 Proven Design이다.

선주 감독관의 NSR 실운항 경험에서 도출된 Heat Tracing의 기능적 재해석, Polar Code (2017) 발효 이전 설계임에도 Chapter 8 주요 요건과의 실질적 부합, 그리고 Table 9에 구조화된 Conditional Branching Algorithm이 향후 Rule Engine 구현 시 참고 가능한 분기 구조를 제시한 것은 본 연구의 주요 기여이며, 유사 프로젝트의 참고 자료가 되기를 기대한다. 향후 CFD 기반

Table 9 Winterization design rule algorithm (conditional branching)

Decision Condition	Yes →	No →	Reference
① Ice Class notation assigned to vessel?	Apply Winterization design	Apply Standard design	LR Ice Class
② External door frame on escape route?	Apply heat tracing (Zone 1)	Not applicable	LR Sec.5.9.1
③ Handrail on escape route?	Apply heat tracing (Zone 3)	Not applicable	MSC/Circ. 1056
④-1 Icing risk on external floor?	Proceed to ④-2	Not applicable	MSC/Circ. 1056
④-2 Open grating applicable?	Adopt open grating (Zero power)	Apply heat tracing (Zone 2, 5)	Design Principle 2
⑤ E/R hot water line branchable?	Apply hot water line (Zero power)	Review heat tracing	Design Principle 2
⑥ Window surface protection? HVAC diffuser branchable?	Install diffuser nozzle	Apply heated glass	Proven Design
⑦ Independent equipment? Relocation to positive temp. space possible?	Relocate power pack (Zero power)	Add heating system	Design Principles 2, 3

열성능 정량 검증 및 Table 9 알고리즘의 Rule Engine 실제 구현은 후속 연구 과제로 남긴다.

후 기

본 논문에 수록된 설계 내용은 저자가 (주)STX조선해양 재직 당시(2004~2017) 선실기본설계 업무 경험에 기반하며, IMO MSC/Circ.1056 및 LR Provisional Rules for the Winterisation of Ships 등 공개 규정에 따른 설계 원칙과 방법론을 기술한 것이다. 본 논문은 2014년 제40회 선박설계 연구발표회(Sohn, 2014)에서 공개 발표된 내용을 체계화하고 확장한 것으로, 특정 기업의 미공개 영업비밀에 해당하는 정보를 포함하지 않는다.

References

- ABS, 2008. *Guide for Vessels Operating in Low Temperature Environments*. Houston: American Bureau of Shipping.
- Brazil, T., Truchon, M. and Bjerkan, A., 2012. Electrical heat tracing for surface heating on Arctic and polar vessels to prevent snow and ice accumulation. *In: Proceedings of the Petroleum and Chemical Industry Conference (PCIC)*, New Orleans, September 2012. IEEE.
- Chambers, S., 2023. Russia's decision to deploy non-ice

class tankers in the Arctic comes in for criticism. *Splash247* [Online] 2 October. Available at: <https://splash247.com> [Accessed: 25 March 2026].

- Gunnarsson, B., 2021. Recent ship traffic and developing shipping trends on the Northern Sea Route. *Marine Policy*, 124, 104369.
- Humpert, M., 2023. Gazprom sends first-ever shipment of Baltic LNG to China via the Arctic. *High North News* [Online] 29 August. Available at: <https://en.highnorthnews.com> [Accessed: 25 March 2026].
- IMO, 2002. MSC/Circ.1056-MEPC/Circ.399: Guidelines for Ships Operating in Arctic Ice-Covered Waters. London: International Maritime Organization.
- IMO, 2015. International Code for Ships Operating in Polar Waters (Polar Code), Resolution MSC.385(94). London: International Maritime Organization.
- Lloyd's Register, 2010. Provisional Rules for the Winterisation of Ships. London: Lloyd's Register Group.
- Molyneaux, P., 2026. In winter, ice mallets can keep a vessel afloat. *National Fisherman* [Online] 4 March. Available at: <https://www.nationalfisherman.com/in-winter-ice-mallets-can-keep-a-vessel-afloat> [Accessed: 25 March 2026].
- Muller, M., Ubl, C. and Kim, T.W., 2023. Arctic shipping trends under the IMO Polar Code. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 118, 103705.
- Oldford, D., Smith, T. and Peddle, S., 2013. Risk-based winterization for vessel operations in Arctic environments. *Journal of Ship Production and Design*, 29(4), pp.199-210.
- RINA, 2014. *Significant Ships of 2014*. London: The Royal Institution of Naval Architects.
- Sohn, Y.T., 2014. Case study of accommodation heat tracing for escape measures and improvements (Winterization). *In: The Society of Naval Architects of Korea, Proceedings of the 40th Ship Design Research Conference*, Gwangju, Korea, February 2014. The Society of Naval Architects of Korea: Seoul.

Authorship Contribution Statement

Young-Taek Sohn: Conceptualization, Investigation, Methodology, Writing – original draft, Writing – review & editing.



손 영택