대한조선학회논문집
Journal of the Society of Naval Architects of Korea
pISSN:1225-1143, Vol. 56, No. 2, pp. 135-142, April 2019
eISSN:2287-7355, https://doi.org/10.3744/SNAK.2019.56.2.135

극지운항용 선박에 적용되는 방한기술 동향 분석

정성엽† · 강국진 · 장진호
한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소

A Review of Winterization Trend for Vessels Operating in Ice-covered Waters

Seong-Yeob Jeong† · Kuk-Jin Kang · Jinho Jang
Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering

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.

Ice accretions on the ship equipment and areas are the most common issues for vessels operating in cold climate and ice-covered waters and it has effect on the vessel safety and operability of equipment and systems, thus ship machineries and structures exposed to low temperature environments should satisfy the winterization requirements specified in ice class rules. The main objective of this study is to review the state-of-the-art of winterization trend for vessels navigating in ice-covered waters. The hazard of icing and how ice accretions affect operations and safety are investigated firstly, and then winterized notations for each classification are summarized. In addition, winterization methods currently used in vessels operating in ice-covered waters are investigated for a better understanding of effective approach and its application. This information will provide a framework for future winterization issues to mitigate the ice accretion phenomena.

Keywords : Ice accretion(착빙), Ship equipment(선박 장비), 빙해역(Ice-covered waters), Low temperature environment(저온 환경), Winterization (방한기술)

1. 서 론

최근 국립설빙자료센터(National Snow and Ice Data Center, NSIDC)에 따르면 2018년 8월 15일 기준 북극 해빙(sea ice) 면적은 5.7백만 제곱킬로미터 정도로써 지난 2012년 보다는 크지만, 1981년부터 2010년까지의 평균 해빙 면적보다 1.58백만 제곱킬로미터 줄어든 상황으로 해빙 면적이 전반적으로 줄어들고 있는 추세이다(URL: http://nsidc.org). 이와 같이 북극 해빙 면적의 감소는 지구 환경시스템에 적지 않은 영향을 미치고 있지만 조선·해양 산업의 측면에서는 여름철 북극항로의 개방으로 신규 빙해선박 또는 극지 해양플랜트의 수요로 이어질 수 있어 새로운 기회를 제공하고 있다. 특히 2017년 1월부터 극지 운항 안전 규정(Polar Code)이 발효되면서 신규로 건조되는 모든 선박은 극지 운항 안전 규정의 적용을 받게 되어 극지방을 운항하는 선박의 안전에 대한 관심 또한 높아지고 있으며, 방한기술(winterization)도 선박 설계 및 운용 관점에서 매우 중요한 사항으로 여겨지고 있는 추세다. 일반적으로 극지해역을 운항하는 선박의 경우 상부 구조물 또는 각종 기기에 착빙(ice accretion or icing) 현상이 발생하게 된다. 이러한 착빙 현상은 공기 중에 있는 습기 또는 눈, 비, 안개 등과 선박 운항 시 바다로부터 불어오는 해수 분무(sea water spray) 현상에 의해 발생하게 되는데, 그 중에서도 해수 분무 현상이 착빙 현상을 발생시키는 가장 큰 요인으로 여겨지고 있다. 이처럼 해수 분무에 의해 착빙이 발생하는 조건은 풍속이 9 m/s 이상인 경우 대기 중 온도가 -1.7 ℃ 이하이고, 수온이 7 ℃ 이하일 때 형성된다. 그 외에도 운항 시 선박의 속도, 바람과 너울, 파도에 대한 선박의 항해방향, 배의 길이, 건현의 높이, 선체 외부 강재표면의 온도 등에 의해서도 착빙이 발생하게 된다. Fig. 1에는 선박의 운항 시 해수 분무에 따른 착빙 현상의 특징을 보여주고 있다. 여기서 보면 해수 분무에 의한 물 입자들이 선수부와 선교 등으로 이동하면서 잠열(latent heat) 변화에 의해 강재 표면에 달라붙어 착빙을 발생시키게 되고 선미부로 갈수록 착빙 현상은 선수부 보다 완화되게 된다. 따라서 방한기술은 주로 선수부 구역과 상부 구조물 등에 집중되는 특징을 가지고 있다.

또한 착빙 문제는 선박의 복원성을 저해시키고 각종 기기의 작동을 방해하며, 승조원들의 작업과 안전성을 저하시키기 때문에 국제해상인명안전협약(SOLAS) 또는 각종 규정들을 만족

Received : 12 September 2018 | Revised : 2 November 2018 | Accepted : 26 November 2018
† Corresponding author : Seong-Yeob Jeong, jsyeop@kriso.re.kr

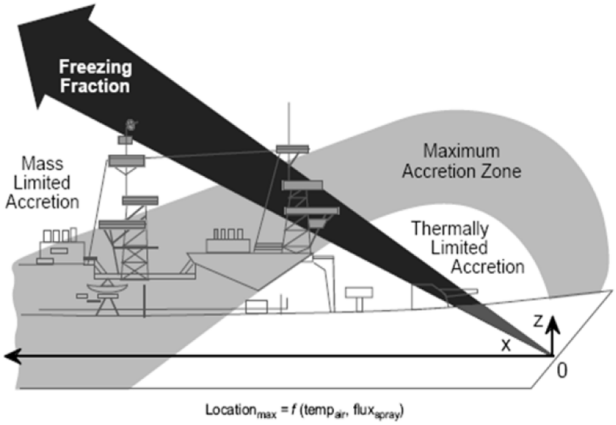

Fig. 1 Ice accretion process by sea water spray on ships (Ryerson, 2008)

시키지 못하게 되어 궁극적으로는 선박의 안전 항해가 불가능하도록 만들기 때문에 선박 설계 시 이러한 착빙 현상을 방지하거나 완화시키기 위한 기술들이 요구된다. 하지만 이러한 방한기술의 경우 대부분 국외에서 기술 경쟁력을 확보하고 있고 관련 시장을 선점하고 있어 국내 조선소 및 기자재 업체가 체감하는 시장 진입장벽은 상대적으로 높아 국내에서도 관련 분야에 대한 핵심기술 개발이 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 빙해역 선급 규정에 따른 방한기술의 개념을 이해하고 빙해선박의 방한기술 관련 연구 동향을 분석하였다. 또한 방한기술이 적용되는 분야를 도출하였고 빙해선박의 실제 적용 사례를 파악하여 현재 실적선에 적용되고 있는 방한기술의 특징 분석과 함께 향후에 수행되어야 할 연구 방향을 제시하였다.

2. 극지운항 선박의 방한기술

2.1 방한기술의 정의 및 선급 부호

빙해역 선급 규정(ice class rules)에서는 극지해역을 운항하는 선박에 대하여 방한기술 부호(winterization notation)를 정의하고 있는데, 방한기술은 선박의 건조과정에서 다루어지는 문제로써 선박의 안전 운항과 저온 환경에서 기자재 및 긴급 · 구난 장비 등의 성능과 밀접한 관련이 있다(Jeong et al., 2011a). Fig. 2는 캐나다 퀘벡지역을 운항하는 화물선에 발생한 착빙 현상을 보여주고 있는데, 갑판과 상부 구조물에 발생한 착빙은 선박의 안정성에 영향을 미치기 때문에 반드시 제거되어야할 사항이다.

따라서, 빙해역 선급 규정에서는 이러한 착빙 현상을 제거하거나 완화시키기 위한 가이드라인을 제시하고 있다. 세계적으로 가장 큰 규모의 선급인 노르웨이-독일 선급(DNV-GL)은 선박의 방한기술 관련 다양한 경험과 노하우를 확보하고 있는데, Table 1에 노르웨이-독일 선급에서 정의하고 있는 방한성능 부호와 이에 따른 환경조건이 정리되어 있다.

Fig. 2 Icing on deck and ice removal process by vessel crews(URL: http://www.groupocean.com)

Table 1 DNV-GL winterization notation and typical design environmental conditions(DNV-GL, 2015)

Notation	Winterization temperature (tw)	Sea water temperature
Basic	-15 ℃	+4 ℃ w/o ice class -2 ℃ w/ ice class
Cold	-30 ℃	+2 ℃ w/o ice class -2 ℃ w/ ice class
Polar	-45 ℃	-2 ℃

영국 선급(LR)은 Table 2와 같이 다섯 가지로 구분하여 방한기술 부호를 정의하고 있다. 여기서 (t)는 설계 외부 온도(external design air temperature)로서 Fig. 3과 같이 운용지역의 대기 중 일일 최저 온도의 평균(mean daily low temperature, MDLT)의 최저치에 -10 ℃를 적용한 값이며, 단위는 ℃ 다. 또한 stability 부분은 ice accretion values와 연관이 있으며, 다른 부호와 혼합해 사용이 가능한 특징이 있다.

미국선급(ABS)에서는 저온 환경에서 운용되는 선박에 대한 가이드라인을 확보하고 있는데, 이는 주로 선박의 설계, 운용, 유지 보수 등에 관한 전반적인 사항을 다루고 있다. 미국선급에서도 Fig. 3과 유사한 개념으로 설계온도를 정의하고 있는데, 여기서 Design Service Temperature(TDST)는 운용지역의 대기 중 일일 평균 온도의 평균(Mean Daily Average Temperature, MDAT)의 최저치를 따르며, 최소 20년간의 통계적 평균(mean),

Table 2 LR winterization notation(LR, 2018)

Notation	Intended for
Winterization H(t)	Hull construction materials
Winterization M(t)	Equipment and system materials
Winterization MEn(t)	Equipment and system materials enhanced
Winterization A(t) Winterization B(t) Winterization C(t)	Equipment and systems
Winterization S(A) Winterization S(B) Winterization S(C)	Stability

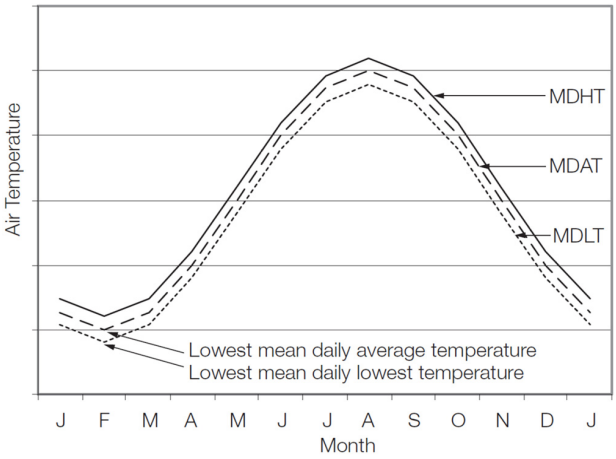

Fig. 3 Definition of design air temperature(LR, 2018)

Table 3 ABS winterization notation(ABS, 2015)

Notation	Intended for
CCO (TDST, TMAT)	Basic notation for vessels operating in a low temperature(Sections 2 through 7)
CCO-POLAR (TDST, TMAT)	Notation available for those vessels intended to operate in Polar Regions on a continuous basis(Sections 2 through 7)
(HR HOURS)	Notation can be appended to the CCO-POLAR(TDST, TMAT) notation, HR in parentheses with the total number of hours
DE-ICE	Ice removal and prevention of ice accretion

일일 평균(average), 연간 최저치(lowest) 등의 정의가 적용된다. 또한 Fig. 4와 같이 미국해양대기청(NOAA)에서 정의한 풍속, 대기 온도, 해수 온도에 따른 착빙률(icing rate)도 함께 고려하고 있다.

여기서 the minimum anticipated temperature(TMAT)는 설계자, 또는 선주, 조선소 등에 의해 정의되는데, 앞서 언급한 TDST 또는 Fig. 3에서 정의된 온도에서 특정 온도 값을 차감하는 형태로 적용된다.

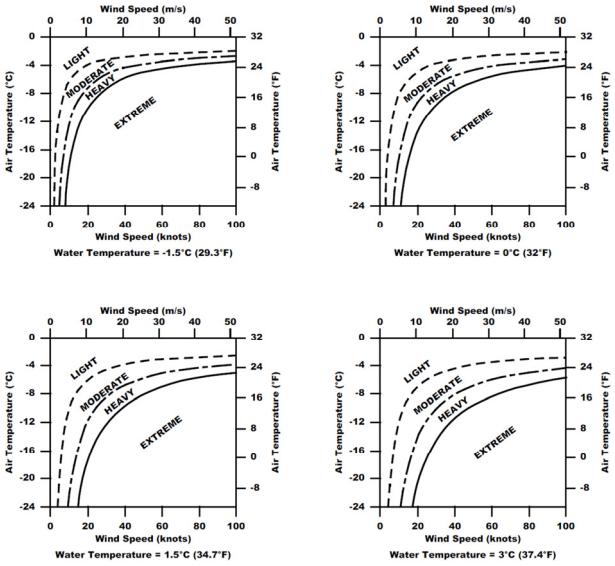

Fig. 4 Icing rate for wind speed, air temperature and water temperature conditions(Guest, 2005)

러시아 선급(RS)은 방한기술 관련해 Table 4와 같이 두 개로 구분하고 있는데, Anti-Ice 부호는 Winterization 부호를 가지고 있지 않는 선박에도 적용되지만, Winterization 부호를 가지고 있는 선박에 대해서는 Anti-Ice 부호가 강제사항인 특징이 있다. 특히 Anti-Ice 부호는 anti-icing과 de-icing, icing protection으로 구분하고 있으며, Winterization 부호는 DAT 개념을 적용시키고 있고 DAT는 5년 동안 일일 대기온도 평균의 최소를 의미하는데, 주로 선체 및 장비의 강재 재료를 선정할 때 사용된다. 또한 러시아 선급의 경우 다수 선박의 극지해역 운항 경험과 실적을 바탕으로 규정 개발 시 기반 자료로 활용하고 있어 타 선급 규정보다는 다소 엄격한 기준을 제시하는 부분도 존재한다.

Table 4 RS winterization notation(RS, 2017)

Notation	Intended for
Anti-ice	Requirements for equipment of a ship by icing protection means
Winterization	Requirements for ship equipment to ensure long-term operation at low temperature

언급한 바와 같이 지난 2017년 1월 1일부터 새롭게 발효된 극지 운항 안전 규정에 따라 모든 신규 건조 선박은 이 규정의 적용을 받게 되므로 이를 만족하지 못할 경우 극지해역에서의 운항이 불가능하다. 특히 본 규정은 Part I과 Part II로 구분되는데, Part I은 다시 Part I-A와 Part I-B로 구성되며, Part I-A는 안전조치에 관한 강제사항을 포함하고 있고 Part I-B는 안전조치에 관한 권고사항을 포함하고 있다. 또한 Part II도 Part II-A와 Part II-B로 구성되어 있는데, 전자는 해상보호조치에 관한 강제사항을 포함하고 있으며, 후자는 권고사항을 포함하고 있다(Table 5 참조). 그리고 이 규정에서는 Polar Service Temperature (PST)를 정의하고 있는데, 이는 Fig. 3에서 운용지역의 대기 중 일일 최저 온도의 평균(MDLT)의 최저치보다 10 ℃ 정도 낮은

Table 5 IMO Polar Code (IMO, 2017)

Content	Intended for	Remark
Part I	• Part I-A: Mandatory provisions on safety measures in accordance with the relevant SOLAS chapter • Part I-B: Recommendations on safety	Included through a new chapter XIV in SOLAS
Part II	• Part II-A: Mandatory provisions on pollution prevention in accordance with relevant MARPOL Annexes • Part II-B: Recommendations on pollution prevention	Included in MARPOL Annexes I, II, IV and V

조건을 의미하며, 모든 시스템과 장비는 PST 조건에서 운용이 가능해야 한다. 아울러, 방한기술은 Part I-A의 4장~10장까지의 내용과 관련 있다.

2.2 방한기술 관련 국내·외 연구 동향

국제해사기구(IMO)의 극지 운항 안전 규정에서는 극지해역을 운항하는 선박에 대한 설계, 건조, 운항, 유지 보수 등의 전반적인 사항이 다루어지고 있다. 특히 저온 환경에서 선박의 항해 시 각종 기기나 안전 장비의 운용, 승조원들의 안전을 위해 착빙 방지 대책과 제빙(de-icing) 기술, 보온(insulation) 대책, 저온용 강재 개발 등에 관한 연구가 필요하다. 국내에서는 기자재 업체에서 갑판통로(walkway)와 난간(hand rail), 대기 순환장비(louver, P/V valve), 캔버스 커버(canvas cover), 풍우밀 문(weather-tight door) 등을 주력 상품으로 선정하여 제품 개발에 집중하고 있고 일부 제품들에 대해서는 선박해양플랜트연구소(KRISO) 빙해수조의 저온 콜드룸(cold room) 시설을 활용해 방한성능 평가시험을 수행한 바 있다(Fig. 5 참조). 아울러, 내빙선박용 풍우밀 문과 밸러스트 수의 착빙 방지를 위한 방한기술 연구 및 빙해선박용 선급 강재의 저온 특성에 관한 연구와 해양플랜트 헬리데크의 방한설계에 관한 연구도 수행된 바 있다(Jeong et al., 2011a; Jeong et al., 2011b; Min et al., 2011; Bae & Kang, 2017). 또한 Clear View Screen(CVS)과 선교 창문의 설치된 와이퍼에 대한 저온 성능 평가 연구도 수행된 바 있다(Fig. 6 참조).

국외의 경우 주로 노르웨이, 미국 등의 기자재 업체에서 항해·통신 장비와, 항해등, 갑판장비 등에 대한 제품 개발 연구를 수행하고 있으며, 개발된 제품들은 해양플랜트 작업 지원선(Offshore Supply Vessel, OSV) 또는 내빙선박에 적용한 후 피드백을 통해 성능 검증 및 설계 개선을 진행하고 있는 상황이다. 특히 노르웨이의 Tranberg 社는 열선을 이용해 선박용 기자재의 방한기술을 주도하고 있는 회사로서 다양한 경험을 확보하고 있는데, 주로 항해등과 갑판 통로, 계단, 난간 등에 착빙을 방지하는 제품을 개발해 유럽 시장을 선점하고 있다(Fig. 7 참조).

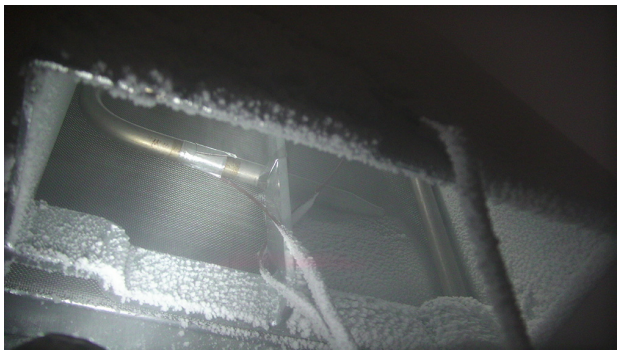

Fig. 5 Winterization test for pipe-form type air vent head in KRISO cold room facility

Fig. 6 CVS and window wiper installed on icebreaker Araon

Fig. 7 Winterization methods of deck machinery(URL: http:// www.tranberg.com)

GMC Maritime 社 또한 노르웨이에 위치한 회사로 2011년부터 주로 방한기술 장비에 관한 성능 시험 및 제품 개발을 통해 극지운항용 선박에 제품을 납품하고 있는데, Fig. 8과 같이 개발된 제품의 방한성능 시험을 위한 저온 챔버를 자체적으로 확보하고 있어 개발된 제품에 대한 성능 평가도 함께 진행하고 있다. 특히 저온 챔버의 경우 온도제어는 0 ℃ 에서 -40 ℃ 까지 제어가 가능하고 풍속은 25 m/s 까지 조절이 가능하기 때문에 열악한 환경에 노출되는 갑판장비 등에 관한 성능 평가시험이 가능하다.

Fig. 8 Cold room facility of GMC for winterization test(URL: http://www.gmc.no)

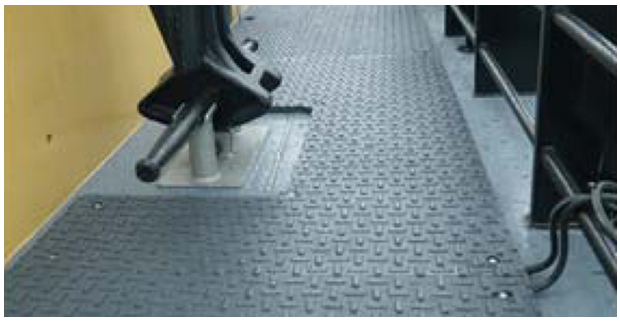

Fig. 9 Design aspects of winterized deck-way to decrease ice accretion(URL: http://www.gmc.no)

2.3 방한기술 적용 사례 분석

일반적으로 극지해역을 운항하는 선박의 설계 시에는 다음과 같은 잠재적인 위험성들이 고려되어야 한다. 그 중에서도 착빙 문제는 선박기기나 시스템 등의 작동성능과 밀접한 관련이 있고 승조원들의 생존성, 거주성, 작업성에 결정적인 영향을 미치기 때문에 반드시 고려되어야하며, 이에 대한 대비책 또한 요구된다. 대표적으로 방한기술이 적용되는 대상은 Table 6과 같이 구분할 수 있다. 본 장에서는 실적선에 적용되고 있는 방한기술의 사례를 조사 · 분석하여 그 특징을 파악하였다.

1) 저온(low temperature)
2) 해빙(sea ice)
3) 착빙(icing, equipment functionality)
4) 가시성(visibility, storm, ice fog, darkness)
5) 작업성(crew operation, safety, search and rescue)
6) 환경오염(emission to air, discharge to water, oil spill)

근래 들어 러시아 Yamal LNG 사업으로 인해 대형 LNG 선박의 북극항로 운항이 빈번할 것으로 예상된다. 주로 LNG 선박의 화물창은 멤브레인형과 모스형으로 구성되는데, 이들 모두 넓은 갑판면적을 가지고 있어 착빙 현상이 발생하기 쉽다. 특히 이러한 부분에서의 착빙 현상으로 인해 두껍게 착빙된 얼음 층들이

Table 6 Winterization items of ice-going vessels

Equipment	Item
항해 관련 장비	navigation radar, antenna, satellite system, etc.
선박 계류 장비	anchor, chain stopper windlass, mooring winch, hawse pipe, etc.
선박 안전 장비	life raft/boat, fire hydrant line, hose box, marine doors, life boat davits, etc.
선박 운용 장비	cargo handling system, ballast system, inert gas system, cargo monitoring system, hydraulic oil system, engine room control unit, etc.
갑판 장비	walkway, handrail, stairway, helicopter deck, valve system, cargo loading manifold, pipeline, drainage, crain, etc.

갑판으로 낙하하는 경우 하부 갑판 표면에 충격 하중을 발생시키게 된다. 일반적으로 갑판 표면은 이러한 부가적인 하중에 견딜 수 있도록 설계되지만, 어떠한 경우에는 갑판의 설계 하중을 초과하는 경우도 있어 구조물의 안전성과 밀접한 관련이 있다. 따라서 이러한 위험성을 감소시키기 위해 화물창 노출을 최소화시키거나 갑판 표면을 경사진 수평면 형태로 설계하여 착빙 현상이 사전에 누적되는 것을 방지하는 설계가 적용되고 있는 추세이다(Fig. 10 참조).

항해 통신 장비의 경우 주로 선교 위에 설치되는 경우가 많은데, 이 때 안테나와 레이더 스캐너 또는 위성통신을 위한 수신기에 착빙이 발생하게 되면 신호의 교란 및 왜곡이 발생하거나 구동성능에 영향을 끼치게 된다. 따라서 이를 해결하기 위해 레이더 스캐너의 회전부 주위에 열선 코일을 삽입시켜 구동부가 결빙되는 현상을 방지하는 방법이 적용되고 있는 추세이다. 선박의 갑판에도 착빙이 발생할 경우 선원들의 작업 및 안전에 영향을 미치게 된다. 특히 승조원들이 이동하는 계단 또는 갑판 통로에 착빙이 발생하게 되면 이곳을 통과하는 승조원들의 안전성에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 이를 방지하기 위해 갑판 통로의

Fig. 10 The world's first ice-breaking LNG carrier for Yamal LNG project(URL: http://www.ship-technology.com)

상부 표면에는 표면 거칠기를 증가시킬 수 있도록 설계하면서 하부 또는 계단 뒤편 등에 정온전선(self regulating cable)을 삽입해 일정 온도를 유지함으로써 착빙을 방지하는 기술이 적용되고 있다(Fig. 9와 11, 12 참조). 또한 Fig. 13과 같이 러시아 페초라 해(Pechora Sea) 부근 원유 터미널에서 원활한 선박의 급유를 위해서는 매니폴드 부분에 적절한 방한기술 적용이 필요한데, 이때 갑판에 밀폐형 데크하우스를 설치해 기기의 외부 노출을 차단하여 착빙을 방지하는 설계가 적용되고 있다(Fig. 14 참조).

Fig. 11 Heat tracing technique of deck walkway(Koren, 2006)

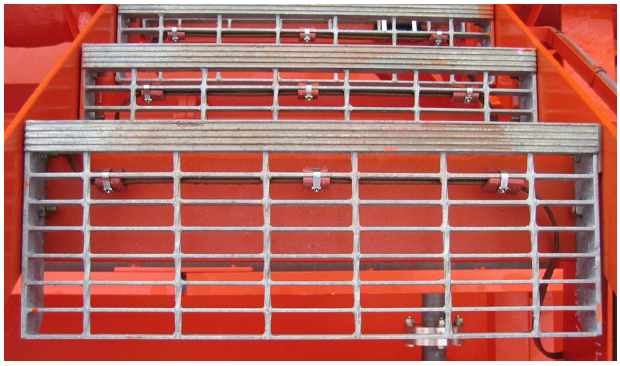

Fig. 12 Heat tracing technique of stairway(Koren, 2006)

Fig. 13 Winterized manifold system of M/T Mikhail Ulyanov (URL: http://www.gazprom.com)

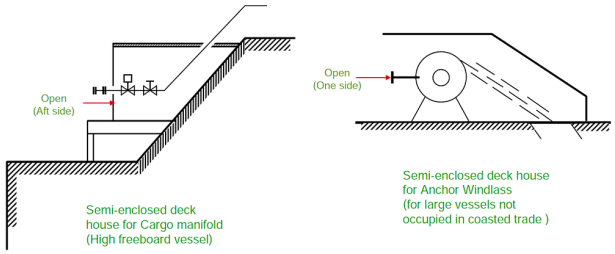

Fig. 14 Winterization for cargo manifold and anchor windlass (DNV, 2008)

아울러, Fig. 15와 같이 구명정의 경우에도 외부에 노출될 경우 체인 연결부에 착빙이 발생할 수 있기 때문에 보호용 천막 또는 열선이 삽입된 캔버스 커버(canvas cover)를 이용해 덮는 형태로 설계되고 있다. 또한 선교의 bridge wing을 완전 밀폐형으로 설계하며, Fig. 16처럼 화물창 윗부분도 착빙이 쌓이는 현상을 방지하기 위해 경사진 형태로 설계하는 방법이 고려되고 있다.

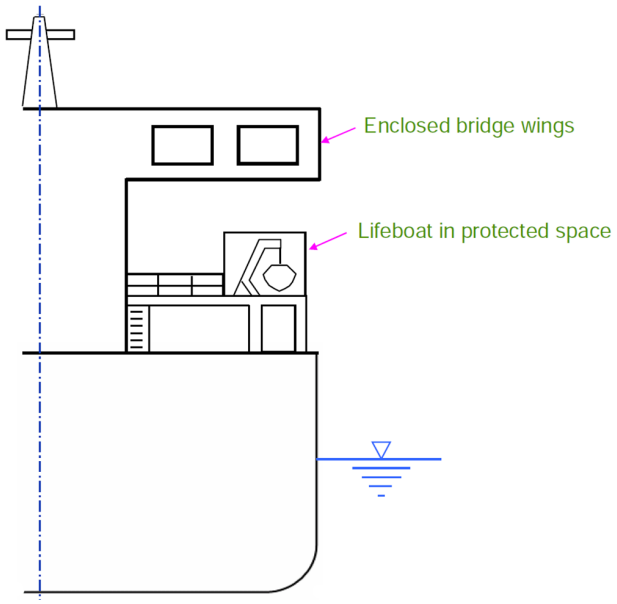

Fig. 15 Winterization for lifeboat and bridge wings(DNV, 2008)

Fig. 16 Conceptual design of Arctic LNG carrier(Legland et al., 2006)

또한 해수의 결빙 온도는 -1.9 ℃ 정도인데, 겨울철 극지해역의 대기온도는 이보다 훨씬 낮기 때문에 극지해역을 운항하는 선박의 경우 Fig. 17과 같이 밸러스트 탱크에서도 결빙이 발생하는 경우가 빈번하다. 특히 밸러스트 수의 결빙은 선박의 복원성능뿐만 아니라 운항 효율성에 심각한 영향을 미치기 때문에 이에 대한 방한기술도 요구되고 있다. 현재까지 밸러스트 수의 결빙 방지를 위한 기술로는 밸러스트 탱크 내부에 선박의 폐열 또는 뜨거운 증기 등을 이용하여 탱크 내부의 온도를 상승시켜 결빙을 방지하는 기술이 적용되고 있으며, 밸러스트 수 순환 시 밸브배관 주변에 열선을 설치해 해수의 온도를 상승시켜 순환시키는 방법도 사용되고 있다. 또한 미세공기방울(micro air bubble)을 발생시켜 결빙이 발생하는 것을 지연시키는 방법도 적용되고 있으며, Fig. 18과 같이 해수 흡입구의 위치를 가능한 낮게 설계하여 유빙이 유입되지 않도록 하고 흡입구에 주변에 baffle plate를 설치하여 많은 유빙의 유입을 차단하는 방법도 적용되고 있는 추세이다.

Fig. 17 Freezing of ballast tank water(Upcraft, 2008)

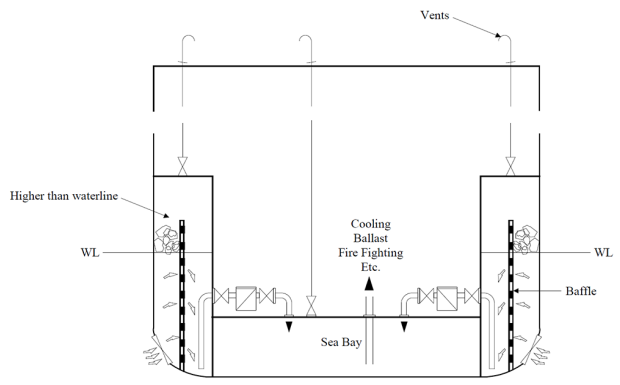

Fig. 18 Reduction of ice ingestion in ballast tank using baffle plates(ABS, 2015)

3. 결 론

러시아 Yamal LNG 프로젝트 1단계에서 2017년 11월 6일 첫 LNG를 성공적으로 생산하였고 같은 해 12월 8일 북극항로를 이용해 첫 수송을 시작한 이후 LNG 수송이 본격적으로 착수됨에 따라 독자적인 쇄빙(icebreaking) 기능과 저온환경에서도 원활한 성능을 발휘하는 선박의 건조 수요 또한 증대되고 있다. 특히 이러한 환경에서 운용되는 선박들의 경우 저온환경에 노출되는 갑판장비 또는 상부 구조물에 착빙 현상이 발생하기 쉬우며, 이는 기기의 구동 성능과 선박의 안정성에 영향을 미치기 때문에 적절한 조치가 요구된다. 따라서, 본 연구에서는 착빙 현상의 생성 원인과 특성을 보다 정확하게 이해하고 각 선급 규정에서 정의하고 있는 방한기술의 개념과 적용 분야를 정리하였으며, 이를 바탕으로 실적선에 적용되고 있는 기술을 조사함으로써 현 기술의 특징 분석과 함께 효과적인 착빙 방지를 위해 향후에 심도 있게 다루어져야할 연구 방향을 제시하는데 그 목적을 두고 있다. 또한 국내 극지운항용 선박기자재의 설계 관련 연구자들의 방한기술 이해 향상에도 그 의의가 있다.

일반적인 방한기술은 주로 열원을 이용해 결빙 또는 착빙을 방지하거나 현상을 완화시키는 기술이 적용되고 있다. 열원의 경우 뜨거운 증기 또는 코일, 정온전선 등을 이용하지만 최근에는 정온전선을 이용하는 방법이 가장 보편적으로 사용되고 있는 기술임을 알 수 있다. 또한 의장 설계 시 보호막 또는 밀폐형 타입을 도입하여 갑판 또는 각종 기기들의 노출을 최소화시키는 방법들도 적용되고 있고 밸러스트 탱크에서도 유빙 유입을 원천적으로 차단하는 방법이 적용되고 있음을 알 수 있다. 언급한 바와 같이 가장 많이 사용되고 있는 방한기술은 정온전선을 이용한 방법인데, 이 경우 넓은 면적과 많은 장비에 열선 설치 시 선박 발전기 용량이 커지게 된다. 따라서 원활한 성능을 확보하기 위해서는 충분한 발전기 용량을 확보해야 하는데, 이를 보다 효과적으로 제어하고 관리하기 위한 별도의 시스템 구성이 필요하며, 이와 같은 모니터링 시스템의 최적화를 위한 연구개발 또한 필요할 것으로 판단된다. 또한 정온전선의 경우 설치 시 최소한의 곡률 반경을 요구하기 때문에 설치 과정에서 모서리 부분에 설치가 어렵거나 효율성이 떨어지는 경우가 있어 이를 대체하기 위한 제품의 수요가 증대되고 있는데, 그 대안으로 면상 발열체가 논의되고 있으나, 이들 모두 방폭 및 방염 기능을 만족해야하기 때문에 관련 분야의 연구도 필요할 것으로 판단된다.

끝으로 방한기술의 경우 보다 효율적인 설계를 위해서는 실적선 적용 사례 분석 및 성능 검증 자료가 필요한데, 최근 국내에서 건조 및 인도된 Yamal LNG 운반선의 경우 다양한 방한기술이 적용되었고 ARC 7 조건에서 연중 운용이 가능하며, 설계온도 조건은 -50 ℃ 정도이기 때문에 이에 대한 극지해역 실제 운용 자료가 충분히 확보된다면 방한기술의 효용성과 한계를 평가하는데 상당히 중요한 자료가 될 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 향후 연구에서는 이러한 부분도 다루어져야 할 것으로 여겨진다.

후 기

본 논문은 산업통상자원부의 국가연구개발사업인 “위치유지와 계류 시스템을 적용하여 ARC7 조건에서 연중운용이 가능한 북극해 기반 부유식 해양구조물 형상 개발(PNS3340)” 및 선박해양플랜트연구소 주요사업인 “선박의 유체성능 평가를 위한 특수시험 계측기반 구축(PES3220)”에 의해 수행되었습니다.

References

ABS, 2015. *Guide for vessels operation in low temperature environments*, Available at: http://ww2.eagler.org [Accessed Feb., 2016].

Bae, S.Y. & Kang, G.H., 2017. A study of winterization design for helideck using the heating cable on ships and offshore platforms. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 54(1), pp.43-48.

DNV, 2008. Overall suitability for operation in cold climate, Available at: http://www.dnv.com. [Accessed Mar., 2008]

DNV-GL, 2015. Winterization for cold climate operations, DNVGL-OS-A201.

Guest, P., 2005: Vessel icing. *Mariners Weather Log*, 49(3), 1-7.

IMO, 2017. International code for ships operating in polar waters, Annex 10, Available at: http://www.imo.org. [Accessed May., 2015]

Jeong, S.Y., Lee, C.J. & Cho, S.R., 2011a. 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, S.Y., Chun, E.J., Lee, C.J. & Cho, S.R., 2011b. 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.

Koren, J., 2006. Developments with ice class LNG tankers, *LNG Shipping Operations*, Hamburg.

Legland, E., Conachey, R., Wang, G. & Baker, C., 2006. *Winterization guidelines for LNG/CNG carriers in Arctic environments*, Available at: http://www.eagle.org [Accessed 7 Oct. 2011].

LR, 2018. *Provisional rules for winterization of ships*, Available at: http://www.lr.org [Accessed July, 2018].

Min, D.K., Shim, C.S., Shin, D.W. & Cho, S.R., 2011. On the mechanical properties at low temperatures for steels of ice-class vessels, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 48(2), pp.171-177.

RS, 2017. *Guidelines on application of the international code for ships operating in polar waters (Polar Code)*, Available at: http://re-class.org [Accessed Nov., 2016].

Ryerson, C.C., 2008. Assessment of superstructure ice protection as applied to offshore oil operations safety. CRREL Report TR-08-14.

Upcraft, D., 2008. Challenges for the maritime and oil & gas industries: operations in cold environments, *Seminar for the Danish Society for Naval Architecture and Marine Engineering*. [Accessed Nov., 2008]

정 성 엽

강 국 진

장 진 호