



빙하중 문제에 관한 국제 연구동향

최경식(한국해양대학교 해양개발공학부)

1. 서론

빙하중 문제는 많은 쇄빙선박 건조 경험과 빙역학에 관한 많은 연구결과가 축적된 구미 선진국에서도 쇄빙선박 설계와 관련하여 시급히 해결해야 할 중요한 문제로 인식되어 왔다. 지금까지 사용해 왔던 빙하중 산정법이 매우 불완전한 것이라는 데 공통된 의견을 갖고 이들 국가들은 1990년대 중반부터 쇄빙상선과 북극해 항로 활용을 목표로 여러 가지 국제 공동연구를 수행하여 왔다. 이중 북극해 항로에 관한 국제 공동연구 INSROP 프로그램(1993-1999)과 유럽연합(EU) 국가를 중심으로 진행하고 있는 SAFEICE 프로젝트(2005-2007)를 주목할 필요가 있다.

2. INSROP

INSROP (International Northern Sea Route Program)은 러시아의 북극해 연안 빙해역에 최초로 상업적인 정기항로를 개설하기 위하여 필요한 각 분야의 과학기술 정보를 구축하려는 목적으로 러시아, 노르웨이, 일본 등 여러 나라의 관련기관들이 협력하여 이 지역에 대한 집중적인 연구를 수행한 국제 공동연구 프로그램이다.

이 프로그램은 1987년 구소련의 무르만스크 계획(Murmansk Initiatives)의 결과로서 북극해 항로를 국제항로로 개방하겠다는 공식적인 의사를 밝힘

에 따라 시작되었다. 무르만스크 계획이란 북극해 연안국가들 사이의 해상운송과 안전에 관한 전통적인 협력관계를 크게 확대, 진전시키기 위한 계획으로서 구소련 붕괴 이후 러시아 정부가 이를 계속 지원하고 있다. 이 계획에 따라 1991년 러시아의 중앙해양설계연구소(CNIINF; Central Marine Research and Design Institute)와 노르웨이의 난센연구소(FNI; Fridtjof Nansen Institute) 사이에 기초연구를 시작하였고 1992년 일본의 선박해양재단(SOF; Ship and Ocean Foundation, 현재의 해양정책연구재단(OPRF; Ocean Policy Research Foundation))이 참여함으로써 INSROP 프로그램이 정식으로 출발하였다. 처음에 이 프로그램은 러시아와 노르웨이의 공동연구였으나 후에 일본이 동일한 자격으로 참여한 뒤 14개국 450여 명의 학자들이 참여하는 큰 연구 프로그램으로 확대되었다.

이 프로그램은 6년간(1993-1999년) 지속되었고 이 프로그램의 일환으로 북극해 항로와 관련된 거의 모든 주제에 대하여 167편의 보고서가 학술회의를 통하여 발표되었고 데이터를 정리한 책과 지도, 소프트웨어 등 여러 가지 방법으로 연구결과가 구체화되었다. INSROP 프로그램은 두 단계로 나뉘어 진행되었는데 Phase 1 연구는 1993-1995년에 걸쳐 수행되었고 이후 프로그램의 참여기관들은 1997-1998년에 걸친 Phase 2 연구를 추가로 수행하였다.



INSROP에서의 북극해 항로 관련 연구주제는 다음과 같다.

Phase 1 (1993-1995) :

- ① 북극해의 자연조건과 빙해항행기술
- ② NSR 개방이 자연, 생태계 및 사회적 환경에 미치는 영향
- ③ NSR의 경제성 평가
- ④ NSR 개방과 관련된 정치, 법률적 배경

Phase 2 (1997-1998) :

- ① Phase 1 연구의 통합
- ② 북극해의 지리정보시스템인 INSROP GIS 구축
- ③ NSR 운항 시뮬레이션에 의한 종합적 평가

1단계 연구결과로 모두 112편의 논문이 발표되

었고 (INSROP Symposium Tokyo, 1995), 이 내용은 “Northern Sea Route; Future and Perspective”란 제목으로 발간되었다. 이와 함께 “National Security and International Environmental in the Arctic - The Case of the Northern Sea Route” 제목으로 단행본이 발간되었다.

INSROP 2단계 연구에서는 북극해 항로를 이용하는 몇 가지 가상루트에 대하여 Ice Transit 시뮬레이션을 수행하였고 GIS 형식으로 디지털 자료를 정리하였다. 그리고 2단계 연구결과를 54편의 논문으로 종합하고 이를 발표하는 학술회의를 노르웨이의 오슬로에서 1999년 개최하였다. 이 학술회의 연구결과를 바탕으로 INSROP 내용을 종합하는 “The 21st Century - Turning Point for the Northern Sea Route?” 제목으로 발간되었고 아울러 INSROP Working Paper No.167 - INSROP Integration Book 이 최종보고서로 발간되었다.

INSROP 프로그램의 결론은 북극해 항로를 경제적, 기술적으로 환경에 피해를 주지 않고서 충분히 활용할 수 있다는 점이다. 북극해 항로의 양 종점인 유럽 북부와 동아시아 지역 (혹은 북미 서해안) 사이의 물동량은 계속 증가 추세에 있다. 특히 러시아 북극해 연안에 매장된 석유와 천연가스 생산에 따른 수송량 또한 대단한 것이다. 수에즈 운하를 통과하는 항로와의 경쟁에 대비하여 러시아 정부는 충분히 경제성이 있을 정도의 관세만을 부과하기로 정하였기 때문에 향후 북극해 항로의 전망은 대단히 유망하다는 결론이다. 빙해역을 통과하는 데 필요한 쇄빙선박을 기술적으로 안전하고 건조하는 문제는 아주 어려운 일은 아니지만 북극해 항로 개척을 가속화하고 항만 배후시설과 도로 등 인프라 시설구축을 담당해야 할 러시아의 정치적, 경제적 안정이 가장 중요한 요소라고 평가하고 있다.

쇄빙상선 설계와 빙하중 문제와 관련하여 INSROP 프로그램의 중요성은 북극해 항로를 운항할 수 있는 미래의 쇄빙상선 개념설계 모델을 제시한 것이

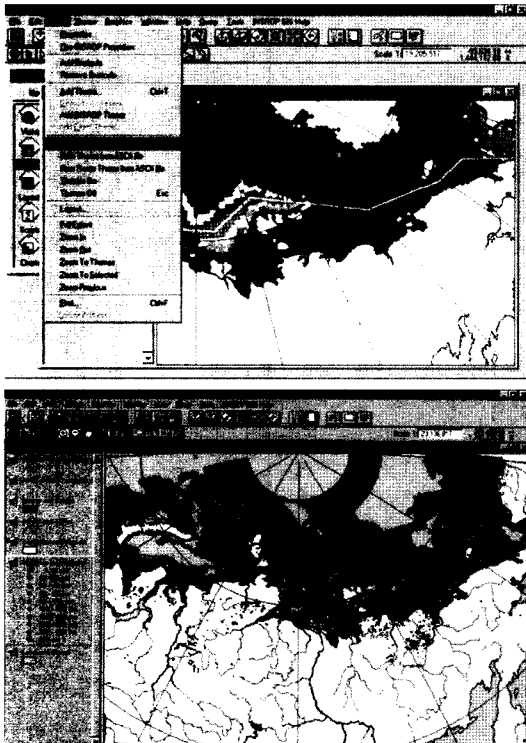


Fig. 1 INSROP 연구 결과 중 하나인 북극해 지리정보시스템(INSROP GIS)

며, 몇 가지 선종에 대해서는 모형시험도 수행하였고 쇄빙상선의 북극해 항로 운항 실선시험도 수행하였다.

INSROP 프로그램은 1999년으로 종료되었지만 일본에서는 JANSROP (NSR 이용 촉진과 한랭지역에서의 안전항행 체계에 관한 조사 연구)이란 이름으로 최근까지도 일본재단의 지원으로 지속적으로 북극해 항로 및 쇄빙선박 관련 연구를 수행해 왔다. 이러한 연구의 연장선에서 뒤에 설명할 SAFEICE 프로젝트도 성립될 수 있었으며 양 프로젝트에서 일본의 역할을 무시할 수 없는 수준으로 이끌어온 것도 사실이다. 빙해역에서의 쇄빙선박 운항과 관련된 폭넓은 지식과 정보를 축적한 INSROP 프로그램이기 때문에, 극지공학과 쇄빙선박의 빙하중 관련 연구에서는 무엇보다 먼저 다루어야 할 대상이다. 또한 극지 현장에 쉽게 접근할 수 없는 한계 때문에 쇄빙선박 건조의 후발주자인 국내 조선산업이 빠른 시간 안에 이 분야에서 필요한 기술을 확보하기 위해서는 INSROP 자료의 정리가 필수적이라 판단된다.

3. SAFEICE

SAFEICE (Increasing the Safety of Icebound Shipping) 프로젝트는 Ice Class 선박의 구조 안전성을 제고하고 겨울철 빙해역 운항 시 선체 손상의 위험을 감소시키기 위하여 현재 사용 중인 빙해역 규정의 보완에 필요한 과학적인 근거를 마련하는 것을 목표로 하고 있으며 선체구조에 작용하는 빙하중을 산정하기 위해 실선 계측 데이터를 기반으로 경험적인 방법(semi-empirical method)을 찾아내려는 계획이다. 본 프로젝트는 유럽(EU), 러시아, 캐나다, 일본의 대학, 연구소 등 10개 기관이 공동으로 수행하고 있으며 그 결과는 FMA/SMA 및 기타 Ice Class Rule에 반영되었다.

프로젝트에 참여하고 있는 국가와 기관으로, 대학은 핀란드(HUT), 스웨덴(CUT), 에스토니아(TTU),

해사 관련기관으로 핀란드(FMA), 스웨덴(SMA), 독일(GL), 연구기관으로 독일(HSVA), 러시아(AARI), 캐나다(NRC), 일본(NMRI)이 포함되어 있으며 아울러 발틱해 주변의 대다수 쇄빙선박 운영선사들이 이 프로젝트에 참여하였다. 이들 기관들은 프로젝트 내에서 각기 보유하고 있는 연구 역량에 따라 다음과 같이 네 그룹으로 나누어 참여하였다.

Group 1: 빙하중에 관한 기초 연구

HUT, HSVA, NMRI, NRC, AARI

Group 2: 빙해역 선급규정의 개발과 보완

Table 1 SAFEICE 프로젝트 참여 기관과 그 역할

참 여 기 관	역 할
HUT: Helsinki University of Technology, Finland	Project coordinator, Data analysis and ice load modelling
CUT: Chalmers University of Technology, Sweden	Structural analysis, Determination of the ultimate strength
FMA: Finnish Maritime Administration	Assessment of the operative environment, Ice rule development
GL: Germanischer Lloyd, Germany	Ice load prediction, Rule development, Design methods
HSVA: Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt, Germany	Ice load modelling, Data analysis
NMRI: National Maritime Research Institute, Japan	Data analysis, Ice load modelling
NRC: National Research Council of Canada	Data analysis, Ice load modelling, Ice load prediction
SMA: Swedish Maritime Administration	Assessment of the operative environment, Ice rule development
TTU: Tallinn Technical University, Estonia	Assessment of the operative environment, Ice rule development
AARI: Arctic and Antarctic Research Institute, Russia	Evaluation of ice loads, Structural response with application to structural design.

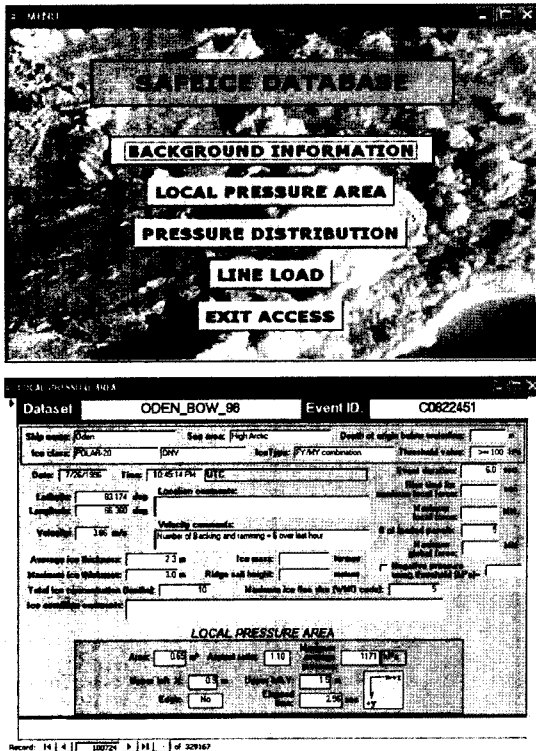


Fig. 2 SAFEICE 빙하중 실측 데이터베이스

FMA, GL, SMA

Group 3: 빙하중에 대한 구조응답 해석
CUT, GL, HUT, AARI

Group 4: 빙해역 운항환경 분석
FMA, HUT, NMRI, NRC, SMA,
TTU

SAFEICE 프로젝트는 선박의 운항 및 빙상조건과 빙하중 사이의 관계를 찾아내어 설계 빙하중 값을 산정할 수 있는 빙-선체 상호작용 모델을 개발하려는 것이다. 아울러 선체 부재의 최종강도를 추정하고 빙하중에 의한 선체의 손상 정도를 예측할 수 있는 방법을 찾아내는 일이다.

이 목적을 위해 필요한 것은, 서로 다른 여러 빙상조건과 여러 다른 선종의 선박에서 계측된 빙하중에 관한 지금까지의 모든 정보를 총정리해서 서

로 공통된 형식의 데이터베이스를 구축하고 통계적인 방법을 이용해 설계 빙하중을 산정할 수 있도록 하는 일이다. 서로 다른 여러 빙하중 데이터를 비교하다보면 빙상조건과 지역적으로 누락된 부분이 드러날 수 있는데 이런 자료는 추후 실선 시험을 통해 보완할 수 있도록 하자는 의도도 들어 있다. 본 프로젝트에서는 최종강도를 초과하는 하중의 확률 분포를 예측하여 설계 빙하중의 수준을 결정하게 된다.

현재 3차년도까지 모든 연구가 종료되었고 연구 결과를 총 정리한 2007년 최종보고서가 발간되었고 연구결과의 공유를 위한 참여기관 워크숍도 개최된 바 있다.

1차년도 SAFEICE 연구 결과는 다음과 같이 요약된다.

- 1) 빙하중 계측 데이터와 선체 손상기록을 정리하여 데이터베이스를 구축하였는데 여기에는 5척의 쇄빙선박에서 계측된 10,000건 이상의 데이터를 47개의 세트로 나누어 정리되었다.
- 2) 일본에서는 2척의 다른 선종(쇄빙선 및 쇄빙상선)에 대하여 시리즈 모형시험을 수행하였고 그 결과를 빙하중 추정치와 비교하였다.
- 3) 국부 빙압력과 접촉면적 사이의 관계를 명확하게 이해하려는 노력과 함께 선체에 작용하는 빙하중의 실제 계측 값에서 누락된 부분을 파악하고 이를 향후 실험을 통해 추출하려는 계획을 마련하였다.
- 4) 빙-선체 상호작용에서 관련된 빙하중 시나리오를 작성하고 각 경우에 대한 빙하중 산정 방법을 정리하였다. 이와 함께 수치해석을 통한 빙하중 산정도 시도하였으며 그 결과를 빙하중 데이터베이스 및 모형시험 결과와 비교하였다.
- 5) 빙하중에 의한 선체구조 강도와 구조 부재의 거동에 대한 문헌조사를 수행하였고 현재 러시아 선급에서 적용하고 있는 선체구조 강도기준(Ship hull structural failure criteria)에 대한 검토를 마

무리하였다.

2차년도 연구 결과는 다음과 같이 요약된다.

- 1) 캐나다 NRC에서는 SAFEICE 빙하중 데이터베이스에 축적된 실선 빙하중 데이터를 분석하였다. 쇄빙선 Louis S. St. Laurent(1994년 자료), Oden(1991년 자료), Polar Sea(1983, 1986년 자료), Kemira, Uikku 자료로부터 국부 빙압력(local pressure)과 선하중(line load) 등이 접촉면적, 하중 폭, 얼음 두께와 선속에 따라 어떻게 변하는지를 분석하였다.
- 2) 일본 NMRI에서는 빙해수조 모형시험을 수행하였는데 선체 주변을 따라 빙하중의 특성과 빙판과의 상호작용 모드를 검토하였으며 그 결과를 FMA/SMA Ice Class Rule과 비교하였다.
- 3) 핀란드 HUT에서는 국부 빙하중이 선박의 운항 조건에 따라 어떻게 변하는지를 알아보기 위해 쇄빙선 Kemira, Uikku에서 측정된 실선 빙하중 데이터를 분석하였다. 얼음 두께에 따라 측정된 빙하중이 달라지는 것을 알 수 있었다.
- 4) NRC에서는 빙상조건과 빙하중과의 관계를 조사하였고 빙상조건과 선체의 손상, 위험도를 예측하는 내용의 보고서를 작성하였다. 캐나다의 빙상조건에 따른 선체손상 데이터베이스를 발틱해의 경우와 비교하였다.
- 5) NRC와 HUT에서는 장기 빙하중 예측방법을 정리하였고 Risk Analysis를 이용하여 빙하중에 의한 선체손상 위험도를 결정하는 방법을 요약하였다.
- 6) 러시아 AARI와 핀란드 HUT에서는 빙해에서의 선박 거동에 대한 수치 시뮬레이션 프로그램의 이론적 배경을 정리하였다. 이 소프트웨어는 빙해역에서 선체의 운동과 선체가 받는 충격 빙하중을 계산하기 위해 개발된 것이다.
- 7) 독일 HSVA에서는 발틱해에서 운항되는 쇄빙선 박인 Otso, Uikku, Kemira, Translubeca, Superfast

VII에 대하여 선체 전방에서의 빙하중 분포를 수치 계산하였다. 또한 NMRI에서 개발된 쇄빙선 모델에 대하여 마찬가지로 빙하중 계산을 수행하고 그 결과를 실측 결과와 비교하였다.

- 8) HUT에서는 발틱해에서 특정 선체구조의 손상을 유발시키는 빙하중 자료를 검토하였는데 선체구조의 손상과 얼음의 파괴를 동시에 고려하는 비선형 해석을 수행하였다. HUT와 CUT에서는 선체의 손상 통계자료에 기초하여 빙하중을 체계적으로 추정하는 방법을 연구하였다.

SAFEICE 프로젝트는 국제 공동연구로서 쇄빙선박 건조분야에서 기술적인 면에서 우위를 계속 유지하려는 핀란드를 비롯한 유럽연합 국가들의 의도가 집약된 것으로 볼 수 있다. 그뿐 아니라 FMA/SMA Ice Class Rule의 개정과 보안을 통해 국제표준(ISO)을 선점하고자 하는 의도도 들어있다고 판단된다. 물론 이러한 시도는 오랫동안 축적해 온 풍부한 빙해역 실선 계측자료와 모형시험 데이터가 뒷받침되기에 가능한 일일 것이다.

4. 결 언

최근 전 세계적인 고유가 추세는 과거 유가가 하향 안정적이었던 시절, 경제성이 떨어져 외면해 왔던 극지에서의 자원개발을 가능케 하는 원동력이 되고 있으며, 특히 고유가로 인한 러시아 경제력의 확대는 북극해에 연한 시베리아의 개발과 북극해 항로 이용에 적극적인 노력을 기울이게 하였다. 더욱이 지구 온난화 현상으로 극지 빙해역의 얼음의 급격히 줄어드는 상황에서 서방 선진국에서는 과거에는 불가능했던 고위도 북극해에서의 자원개발 활동을 기술적으로 검토하기 시작하였다.

빙하중을 산정하기 위해서는 빙/선체 상호작용에 관한 이해가 필수적이지만 이러한 과정은 매우 복잡하여 명확한 해석법이 아직까지는 없다. 선체에 작용하는 빙하중을 추정하는 가장 좋은 방법은 빙



해역에서 실선을 이용해 직접 측정하는 것이다. 하지만 과도한 실측 비용과 함께 선체에 작용하는 실측 빙하중의 정확도에는 많은 문제가 있다.

INSROP 프로그램을 이어 SAFEICE 프로젝트에서 수행된 과제들은 현재 해결해야 할 쇄빙선박/해양구조물에서의 빙하중 문제를 그대로 대변해 주고 있다. 선진국의 연구기관에서 보유하고 있는 풍부한 데이터와 시험시설 그리고 많은 연구원이 참여하고 있는 SAFEICE 프로젝트에 우리나라는 미처 참여하지 못했다.

하지만 빙해역에서 쇄빙선박/구조물이 받는 빙하중 문제와 빙해역 선급규정이 쇄빙선박/구조물 건조에 직접적으로 영향을 줄 수밖에 없기 때문에 국내 조선사들과 한국선급은 SAFEICE 프로젝트 내용에 깊은 관심을 가져야 할 것이며 가능하다면 이와 유사한 산학연 공동연구를 만들어 선진국에 기술적으로 뒤처지지 않도록 연구역량을 집중해야 할 것이다.

참고문헌

1. Kujala, P., Suominen, M. and Jalonen, R.(eds), 2007, Increasing the Safety of Icebound Shipping - Final Scientific Report, Vol.1 and Vol.2, Helsinki University of Technology, Ship Laboratory, Finland.
2. Mulherin, N.D., 1996, The Northern Sea Route - Its

Development and Evolving State of Operations in the 1990s, Cold Regions Research and Engineering Laboratory Report 96-3, Hanover, New Hampshire, USA.

3. Ostreng, W.(ed), 1999, INSROP Integration Book - The Challenge of the Northern Sea Route, INSROP Working Paper No.167-1999.
4. Ragner, C.L. (ed), 1999, The 21st Century - Turning Point for the Northern Sea Route?, Proceedings of the Northern Sea Route User Conference, Oslo, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
5. 野澤和男, 2006, 氷海工學, 成山堂書店, 東京.
6. <http://www.fni.no/insrop/>
7. http://www.sof.or.jp/en/activities/index6_1.php
8. <http://www.tkk.fi/Units/Ship/Research/SafeIce/Public/>
9. http://virtual.vtt.fi/virtual/maritimeinstitute/pdf/mm1_2006.pdf



최 경 식 | 한국해양대학교 해양개발공학부 교수



- 1957년생
- 1989년 미국 M.I.T. 공학박사
- 관심분야 : 극지공학, 쇄빙선박/빙해구조물의 빙하중 추정
- E-mail : kchoi@hhu.ac.kr