

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

• 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건 을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer 🖃





2015년 8월 박사학위 논문

쇄빙 연구선의 저항성능 및 진동 개선에 관한 연구

조선대학교 대학원 선박해양공학과 이 충 환



쇄빙 연구선의 저항성능 및 진동 개선에 관한 연구

Study on the improvement of resistance and vibration performances for Ice Breaking Research Vessel

2015년 8월 25일

조선대학교대학원 선박해양공학과 이 충 환



쇄빙 연구선의 저항성능 및 진동 개선에 관한 연구

지도교수 이 귀 주

이 논문을 선박해양공학 박사학위 신청 논문으로 제출함

2015년 4월

조선대학교대학원 선박해양공학과 이 귀 주



이충환의 박사학위 논문을 인준함

위원장	조선 대학교 교수	<u> 권영섭 (인)</u>
위원	조선 대학교 교수	<u>이귀주 (인)</u>
위원	조선 대학교 교수	<u> 정세민 (인)</u>
위원	거창 대학교 교수	<u> 좌순원 (인)</u>
위원	DET NORSKE VERITAS	
	AS 검사관	김경화 (인)

2015년 6월

조선대학교 대학원



목 차

제1장 서론1
제1절 개요1
제2절 쇄빙선4
1. 쇄빙선의 역사적 배경10
2. 쇄빙선의 종류14
3. 쇄빙선의 기능과 특징16
4. 쇄빙선의 선형16
제3절 일반적인 특성20
1. 선수부 형상 (Bow Geometry)20
제4절 쇄빙선의 구조적 특징20
제5절 쇄빙선 구조관련 빙특성24
1. 빙등급 (Ice Class)26
2. 내빙대 (Ice Belt) ······27
3. 빙하중 (Ice Load) ·······28
4. 부재치수 (Scantling) ·······30
5. 빙저항 추정식 분석34
제6절 해외기술동향 및 쇄빙선 보유현황
1. 기술동향
제7절 북극해 항로에 관한 국제 공동연구 INSROP
프루그램의 개요40

1. INSROP 프로그램의 구성 ······41
2. 북방항로 (Northern Sea Route) ······43
3. INSROP 프로그램의 1단계 연구 내용45
제2장 선형설계46
제1절 쇄빙선의 주요요목 특성46
제2절 선수형상 (Bow Geometry) 특성 ······50
제3장 기본계산 및 성능 추정51
제1절 유체정역학적 특성계산51
제2절 Datebase와 File folder ······55
제3절 Ship Regist & Copy ······56
1. Line Derivation (Initial)56
2. Lines and Hydro (Initial)58
3. Calculation of Ballast Condition61
4. Deadweight Check ·····63
5. Offset Table Edit ·····64
6. Structure Definition66
7. 3D Viewer67
8. Hydrostatics Calculation ·····68
9. Projection Area ·····69
10. Cross Curve70

	11. Gross Tonnage ······	71
	12. Speed Calculation	72
	13. Ship Speed Check ·······	75
제4장	결론7	'6



그림 목차

Fig.1-1 항로상 얼음의 상태 분류7
Fig.1-2 Statistical number of damage vs ice reinforcement
weight of hull9
Fig.1-3 쇄빙선의 빙해역 운항장면14
Fig. 1-4 Propeller damage by grounded ridge16
Fig.1-5 쇄빙선의 선수부의 형상18
Fig.1-6 선박의 종류에 따른 L/B의 관계19
Fig.1-7 Simple sketch on the stem angle effect on vertical
and horizontal forces
Fig. 1-8 Definitions of hull angles with importance for ice-breaking
performance21
Fig.1-9 쇄빙선 형상23
Fig. 1-10 Schematic diagram of icebreaking process
(from Kotras et al. 1983)35



표 목차

Table	-1 Thickness of ice	1
Table 1	-2 Concentration	4
Table	-3 Pressure	2
Table ¹	-4 Hummock, ridge(Rate of Ridge)	5
Table ²	-5 ce class 등급(러시아 선급)	3
Table.	-6 Various ice resistance estimation formulas	7
Table 2	2-1 Various ice resistance estimation formulas50	2



Abstract

Study on the improvement of resistance and vibration performances for Ice Breaking Research Vessel

Lee Chung-Hwan

Advisor: Prof. Lee Kwi-Joo, Ph.D.

Department of Navel Architecture & Ocean Engineering,

Graduate School of Chosun University

Today, the increase in concern about the design of icebreakers and icebreaking ships is caused by the development on Arctic areas.

When an icebreaker is designed, one of the main goals is to minimize the forces resulting from crushing and breaking the ice.

The spoon-shaped bow and round hull in order to minimize the icebreaking forces, have poor hydrodynamic efficiency and seekeeping characteristics, and make the icebreaker susceptible to slamming. For this reason, the hull of an icebreaker is often a compromise between minimize ice resistance, maneuverability in ice, low hydrodynamic resistance, and adequate open water characteristics.

Some icebreakers have a hull that is wider in the bow than in the stern.

These so-called "reamers" increase the width of the ice channel and thus reduce ice frictional resistance in the aftship as well as improve the ship's maneuverability in ice.

However, it is well known that the reamers suffer from an additional resistance in open water.

In this thesis, basic design process for an icebreaker is introduced, a reamers' effects on resistance performance in open water is examined by model tests and a free and forced vibration analysis is performed to



verify vibration problems.

To examine reamers' phenomenon by model tests, the additional resistance in open water of the 6,950-ton research icebreaker model with different type reamers is measured at the circulating water channel of the Chosun university.

Various combinations of ship speeds and reamer types are tested at two draught conditions. These experimental results with different reamers are compared to the results without reamers. It can be concluded that smaller the angle between the designed waterplane and the buttock line near reamers, the better resistance performance in open water.

In addition to the study on hydrodynamic effects of reamers, a free and forced vibration analysis of the global icebreaker structure using ANSYS program based on 3-dimensional finite element (FE) method is performed at various conditions (full and 90 % load).

It can be concluded that no vibration problem relating to hull is expected.

제1장. 서론

제 1절 개요

북극해 항로는 북극해 연안도시들에 대한 물자수송에 사용될 뿐만 아니라 최근에는 동아시아와 서유럽을 연결하는 최단항로로서 범세계적인 무역로로 활용되는 추세이다. 일본의 요코하마로부터 서유럽의 로테르담까지의 북극해 항로는 수에즈 운하를 지나는 기존항로보다 약 24% 의 거리가 단축된다고 한 다.

북극해를 통하여 물자를 수송하려면 쇄빙선이 필요하다. 쇄빙선은 얼음으로 덮인 빙해역을 독자적으로 항행할 수 있는 능력을 보유한 선박을 말한다. 쇄빙선은 단독으로 활동하기도 하지만 주로 얼어붙은 바다에 수로를 만들어 다른 선박의 항행을 유도하는 역할을 한다. 그리고 북극권에서는 쇄빙선과 함께 여러 척의 상선이 선단을 이루어 해상수송을 담당한다.

쇄빙선은 무엇보다도 빙판을 깨뜨리며 전진해야 하므로 같은 크기의 일반 선박에 비해 구조적으로 튼튼하며 엔진출력이 대단히 크고 얼음을 쉽게 깰 수 있는 선체형상을 가지고 있다.

쇄빙선에서 선수부 형상이 빙판을 깨뜨리는 쇄빙능력과 가장 밀접한 관계가 있으며 엔진과 프로펠러의 출력과도 관련이 있다. 쇄빙선은 빙판 위에 올라타 그 중량을 이용하여 빙판을 깨뜨리는데, 선수부와 빙판이 이루는 각도인 선수각(stem angle)이 일반 선박에 비해 작은 20도 정도이다. 선수각은 빙판을 깨뜨리는 수직하중으로 작용할 뿐만 아니라, 깨어진 얼음조각을 물속으로 밀어 넣거나 선체 좌우측으로 밀어 내는 데에도 기여하고 있다.

쇄빙능력을 높이기 위해 쇄빙선은 무게중심이 앞 쪽으로 오도록 선실이 선수부에 주로 배치되어 있다. 반면 빙판 위에 선체가 올라서서 빠지지 않으면 곤란하므로 선수부의 아래에는 선박이 얼음판 위로 완전히 올라설 수 없도록하는 ice knife(또는 bow stopper)가 설치되어 있다.

쇄빙선은 뒤에 따라오는 다른 선박을 위해 얼음 속에서 항로를 열어야 하므로 일반 선박에 비해 선수부의 폭이 넓어야 하지만 깨어진 얼음조각이 프로펠러에 끼지 않도록 선미부는 날씬한 형상으로 되어있다. 그리고 프로펠러는 보통 2축 내지 3축의 배열로 원통형의 덕트 안에 집어 넣어 보호한다. 얼음과 선체 사이의 마찰저항을 줄이기 위한 장치인 물분사장치(water jet)나공기분사장치(air-bubbling)도 설치되어 있다.

균일한 두께의 평탄한 빙판에서 쇄빙선은 연속적으로 진행하게 되지만 얼음이 겹쳐 쌓인 두꺼운 빙맥(ice ridge)을 만나면 쇄빙선은 후진, 전진충돌, 후진을 반복하는 충격쇄빙 방법을 사용한다.

선체가 받는 빙하중은 충격쇄빙시 선수부위가 가장 큰 힘을 받게 되며, 선체의 측면부위도 빙판에 의해 압축을 받게 된다. 따라서 쇄빙선의 안전을 위해 이 부분은 특별히 튼튼한 구조로 만들어져야 하며, 이것을 내빙대(ice belt)라 부릅니다.

지금까지 건조된 쇄빙선은 점차 대형화되고 있고 기관출력도 커져가고 있는데, 현재까지 건조된 것 중 가장 큰 러시아의 Arktika호는 길이 140 m, 배수량 24000 톤에 원자력 추진기관으로 75000 마력을 낼 수가 있다. 이 배는 1977년 여름에 14일만에 단독으로 2-3 m 두께의 얼음을 깨며 북극점을 다녀온 바 있는데 이 때 평균속도 11.5 노트를 기록했다.

빙해역에서 충돌, 좌초에 의한 해상오염을 방지하기 위해 쇄빙선의 설계와 운항조건을 국제적으로 규정하고 있는데, 이러한 빙해역규정(ice class rule)을 만족시키지 못하는 선박은 빙해역을 운항할 수 없게 되어 있다.

19세기 말 최초의 쇄빙선이 건조된 이후 최근까지 많은 쇄빙선이 건조되어 북극권 국가인 러시아, 미국, 캐나다, 핀란드 등에서 겨울철 해상 운송수단으로 사용되어 왔다.

러시아는 시베리아의 천연자원 개발을 위해 오래 전부터 막강한 쇄빙선 선단을 운용하고 있는데 1985년 까지 보유한 총 84척의 쇄빙선 중 16척이 북극해용(Polar class)으로 그중 4척은 원자력 추진기관이 설치된 것이다.

핀란드의 쇄빙선 건조기술은 매우 뛰어난데 가장 최신의 것으로 1993년 건조된 다목적 쇄빙선 Fennica 를 꼽고 있다. 이 선박은 겨울에는 발틱해의 항로 확보를 위하여, 여름철에는 북해 유전의 보급선으로서 사용되는데 조정성능이 우수한 특수 프로펠러를 장착하여 180도 방향전환이 가능하며 모든 방향의 쇄빙이 가능하도록 선수부 뿐만 아니라 선측, 선미부도 충분히 보강되어 있다.

캐나다 역시 북극해 주변 천연자원의 개발에 따라 1978년 길이 209 m 에 28,000 톤 규모의 Arctic호를 건조하게 되었는데 이 선박은 과거 일반 선박이 북극해에서 1개월 정도 운항가능했던 기간을 6개월로 연장할 수 있다. 캐나다의 해안경비대는 6척의 북극해용 쇄빙선을 보유하고 있으며 앞으로 3 m 두께의 빙판을 깰 수 있는 원자력 추진 쇄빙선도 계획하고 있다.

미국에서는 2차대전중에 건조된 4척의 쇄빙선들을 Wind class 라 부르고 있는데 종전 후까지도 활동하고 있는 것은 Westwind 와 Northwind 가 있으며 현재 미국의 쇄빙선들은 모두 해안경비대에서 운용하고 있다. 1955년에는 새로운 쇄빙선 Glacier 가 건조된 바 있으며 70년대에는 빙판 쇄빙능력 1.83 m의 Polar class 쇄빙선이 건조되었는데 비원자력 추진으로는 세계에서 가장 강력한 엔진출력을 가진 쇄빙선이다.

제 2절 쇄빙선

빙해역 항해에서 얼음의 형태에 따라 다양한 영향을 받는다. 얼음의 두께, 빙해역에서 얼음이 덮인 물 표면의 밀도, 얼음으로 인한 압력, 빙산의 비율 등이 그것이다.

얼음의 두께가 두꺼울수록, 얼음이 덮인 표면이 많을수록, 빙산이 많을수록 빙해역을 항해하는 선박에 더욱 많은 선체 보강과 출력이 요구된다.

얼음의 상태는 Table 1-1부터 1-4와 같이 구분하여 정의하고 있다.

Table 1-1 Thickness of ice

Thin ice	30~70cm
Middle ice	70~120cm
Thick ice	120cm
Two year ice	200~250cm
Many year (pack) ice	More 250cm ~ up to 600 cm

Table 1-2 Concentration

Quality from area	Degree, ball
10%	1
50%	5
100%	10

Table 1-3 Pressure

Pressure	Condition of the ice cover	
Without pressure	Amongst ices channels, the rifts and fractures.	0
Weakly pressure	Brashe ice between rift is compacted	1
Noticeably pressure	Small ice cake is wrung out on edges of the blocks of ice, on buttings of floe is fresh hummocks	2
Strong ice pressure	No open water, on buttings of old ice is ridge	3

Table 1-4 Hummock, ridge(Rate of Ridge)

Quality from area	Degree, ball
20%	1
40%	2
60%	3
80%	4
100%	5

항로상의 얼음의 상태는 Fracture, Level ice, Ice lead 로 분류되며 Fig.1-1과 같다.



(a)Fracture



(b)Level ice

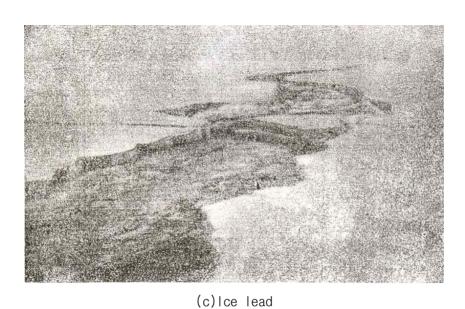


Fig.1-1 항로상 얼음의 상태 분류

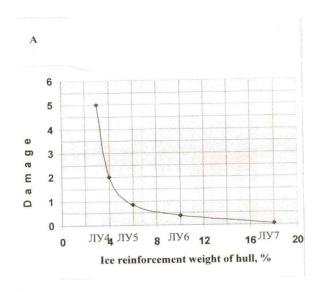
러시아 선급에서는 ice class 등급을 9단계로 분류하고 있다. LU1 ~ LU9까지 단계적으로 분류하고 있는데 LU9로 올라갈수록 더욱 강화된 규정을 적용한다.

Table 1-5 Ice class 등급(러시아 선급)

LU1	No ice 상태	
LU2	최소의 ice	
LU3	선체 약간 보강, 마력 약간 증가	
LU4	선형 제한, 선체 보강, 마력 증가	
LU5	Arctic Sea 항해	
LU6	선체 충분히 보강, 선수각30도 이상	
LU7	상선으로는 최상의 단계 + ice breaker(2.5m 이상 얼음)	
LU8	선체 보강, 마력 증가, 선형 제한, ice breaker 없이 단독 운항	
LU9	선체 보강, 마력 증가, 선형 제한, ice breaker 없이 단독 운항	

각 단계별로 증가하는 선체 보강 무게에 따른 통계적 손상횟수는 Fig. 1-2에서 보이는 바와 같다. 왼쪽 그래프는 1년간 여름 통계자료이며 오른쪽 그래프는 1년간 겨울 통계자료이다. Fig. 1-2에서 볼 수 있는 바와 같이 여름의 경우 LU7의 선박은 손상횟수가 0이나 LU4인 경우 손상횟수가 5회에 해당했다.

겨울의 경우 LU7의 선박은 손상횟수가 1이나 LU4 선박은 50회에 달하는 것을 볼 수가 있다.



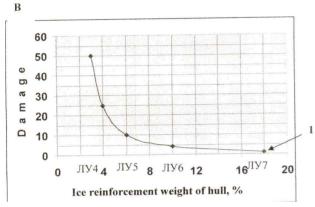


Fig.1-2 Statistical number of damage vs ice reinforcement weight of hull

쇄빙선이란 빙해역을 독자적으로 항행할 수 있는 쇄빙능력을 보유한 선박을 말한다. 다시 말해 빙해역에 수로를 만들어 다른 선박의 항행을 유도하는 선박(유도쇄빙선) 또는 단독으로 개별적인 활동을 추진하는 선박(단독쇄빙선)을 말한다. 쇄빙선과는 달리 독자적인 쇄빙능력은 보유하지 않았더라도 비교적 얇은 결빙해역이나 이미 만들어진 수로의 유빙저항을 이겨낼 만한 내빙능력을 갖춘 선박 (내빙구조선박, ice-strengthened vessel)도 있는데 이러한 내빙구조선박은 두께 50 cm 이내의 1년생빙 그리고 결빙률 3/10 이하의

빙해역에서 사용되는 것으로서 쇄빙선의 인도에 따라 운행해야 한다. 북극권의 국가들에서는 단독쇄빙선과 함께 수척의 빙해용 상선이 선단을 이루어 빙해역에서의 해상수송을 담당하고 있다.

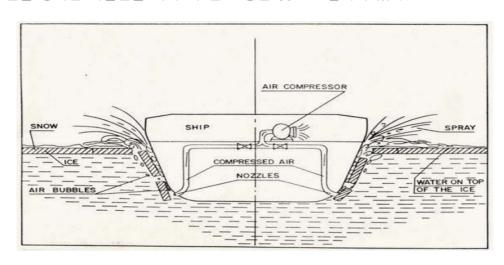




1. 쇄빙선의 역사적 배경

러시아는 북극해 연안을 따라 형성된 북극항로가 시베리아의 북쪽 지역에 도달하는 가장 중요한 보급로이기 때문에 오래 전부터 강력한 쇄빙선 선단을 운용하고 있는데 최근에는 서 시베리아의 천연자원 개발이 확대됨에 따라 이지역에 많은 물자를 운송할 수 있는 유효한 수송수단으로서 쇄빙선을 이용하고 있다. 1985년 현재 총 84척의 쇄빙선을 보유하고 있는데 그중 16척은 북극해용 Polar class 쇄빙선이고, 또 20척은 발틱해 정도의 빙상조건에 적합한 Sub-arctic 용 쇄빙선이다. Polar class 쇄빙선 중 4척은 축마력 75,000 SHP 의 원자력 추진기관을 갖추고 있다 (Arktika, Sibir, Seymorput, Rossiya).

러시아의 북극해 연안은 수심이 얕은 대륙붕이고 또한 내륙 깊숙이 아라이나 Yenisey강과 같은 하천을 거슬러 올라가야 하는 경우도 있기 때문에 특별히 흘수 2.5 m 내지 3.3 m 정도의 얕은 하천용 LASH (Lighter Aboard Ship) 쇄빙선을 13척 보유하고 있다. 한편 길이 160 m 정도의 SA-15 class 혹은 Norilsk class 의 컨테이너/산적화물 겸용 화물선을 14척 보유하고 있으며현재도 길이 260 m 재화중량 40,000 톤급의 원자력 추진 혹은 재래식 디젤기관을 장착한 화물선을 여러 척 건조 중인 것으로 알려져 있다.



캐나다 역시 1970년대 북극해 주변에서 천연자원의 개발이 활발하게 진행됨에 따라 규모가 큰 쇄빙선 및 쇄빙선단을 보유할 필요를 가지게 되었으며 1978년 길이 209 m 에 28,000 DWT 의 단독 쇄빙상선 Arctic호를 건조하게 되었다. 이 선박은 캐나다의 CASPPR 규정 Class 2 로서 과거 일반 선박이 북극해에서 1개월 정도 항행가능했던 기간을 6개월 정도로 연장할 수 있었다. 또한 1979년에는 보퍼트해의 석유개발에 필요한 물자를 수송하는 보급선으로 CASPPR Class 3 의 쇄빙형 보급선 Kigoriak 를 그리고 1982년에는 Robert Lemeur 를 건조하였다.

캐나다의 해안경비대 (Canadian Coast Guard) 는 6척의 북극해용 쇄빙선 (Louis S. St. Laurent, John A. MacDonald 등) 을 보유하고 있으며 앞으로 Polar Class 8 (평탄빙 쇄빙능력 2.4 m) 인 쇄빙선도 건조할 계획을 가지고 있다.

미국에서는 처음으로 2차대전 중에 건조된 4척의 쇄빙선들을

Wind class 라 부르고 있다. 이중 전쟁 후까지도 활동하고 있는 것은 Westwind 와 Northwind 가 있으며 미 해군으로부터 여러 척의 쇄빙선을 인도받아 현재 미국의 쇄빙선들은 모두 미 해안경비대 (USCG)에서 운용하고 있다. 1955년에는 쇄빙선 Glacier 가 건조된 바 있으며 Wind class 쇄빙선을 대체하는 것으로서 70년대에는 쇄빙능력 1.83 m의 Polar class 쇄빙선 (Polar Star, Polar Sea)이 건조되어 현재까지 운용되고 있다. 이들 Polar class 쇄빙선들은 비원자력 추진선으로서는 세계에서 가장 강력한 출력을 가진 쇄빙선이며 북극해의 Bering해, Chukchi해, Beaufort해 등지에서 활동하고 있다.

한편 1968년 알래스카의 North Slope 에서 대규모 유전이 발견되었는데 여기에서 채굴된 원유를 캐나다의 북극해를 경유하여 미국 동부해안 소비지까지 해상수송이 가능한지의 검토로서 1970년 2회에 걸쳐 Manhattan호의 시험항해를 실시하였다. Manhattan호는 일반 유조선을 보강하여 쇄빙유조선 (icebreaking tanker) 로 개조한 것으로서, 이 시험항해를 통해 Manhattan호는 선체와 프로펠러에 손상을 입었지만 이 항해에 의해 북서항로 (Northwest Passage) 에서의 해상수송이 동절기에도 기술적으로 충분히 가능하다는 것을 입증하였다.

핀란드의 대표적인 조선소의 하나인 Kvaerner-Masa Yards 는 수 많은 빙해항행선박을 건조하여 러시아를 위시한 각국에 인도한 경험을 가지고 있으며, 특히 1969년에는 쇄빙유조선 Manhattan호의 개조사업을 주도하였고 이를 위하여 당시 최대규모의 빙해수조를 Helsinki에 건설하였다. Wartsila 극지연구소 (WARC) 에서는 쇄빙선의 빙저항을 줄이는 방법으로 공기분사장치 (air-bubbling system)를 개발한 바였다. 1993년 Finnyards사에서 건조한 다목적 쇄빙선 Fennica 은 동절기에는 발틱해의 항로 확보를 위하여 0.8 m 의 평탄빙을 8 knots 의속도로 쇄빙항행할 수 있으며 하절기에는 북해 유전의 보급선으로서 개수면상에서 14 knots의 속도를 유지할 수 있도록 설계되었다. 특히 360도 회전이 가능한 Azimuth 프로펠러를 장착하여 회전반경이 거의 없는 상태에서 방향전환이 가능한 등 조정성능이 대단히 뛰어난 것으로 알려져 있다. 또한 모든 방향의 쇄빙이 가능하도록 선수부 뿐만 아니라선측, 선미부도 충분히 보강되어 있다.

일본은 일본 방위청 소속의 순시함인 Soya 와 Fuji 를 보유하고 있고 1982년에는 길이 134 m 배수량 16,200 톤, 축마력 30,000 SHP 의최신설비를 갖춘 쇄빙선 Shirase 를 건조하였는데 이 배는 평탄빙에서 3 knots 의 속도로 1.5 m 의 연속쇄빙이 가능하다. 독일의 경우는 Waas형선수를 가진 쇄빙선 Max Waldek 과 연구용 쇄빙선인 Polarstern 등을보유하고 있으며 특히 Polarstern 은 길이 118 m, 배수량 4395 톤, 축마력 10,970 SHP 인 최신형 선박으로 평탄빙에서 3 knots 의 속도로 1.0 m 의 연속쇄빙이 가능하다. 한편 스웨덴의 GVA사와 캐나다의 Canmar사에 의해 1988년 건조된 스웨덴의 Oden 도 빙행항행선박에 대한최신기술을 도입하여 설계된 CASPPR Class 10 에 해당하는 쇄빙선으로서 평탄빙 쇄빙저항을 감소시키고 수로의 폭을 보다 넓게 확보하며, 특히 충격쇄빙 (ramming) 에 유효한 선체구조를 가지고 있다.

빙해에서의 선박의 항행은 보통의 해역에서의 선박운항보다 훨씬 많은 비용이 요구된다. 지금까지 건조된 빙해용 선박의 추세는 점차 대형화되고 있고 기관출력도 커져가고 있는데, 현재까지 건조된 것 중 가장 큰 소련의 Arktika호의 경우 (CASPPR 에 따르면 Class 6 에 해당) 길이 140 m, 배수량 24,000 톤에 원자력 추진기관으로 75,000 마력을 낼 수가 있다. 한편 재래식과는 다른 형식의 빙해선박도 연구되고 있는데 예를들어 극지용 잠수유조선 (submarine tanker) 이나 쇄빙유조선 (icebreaking tanker) 그리고 극지화물 운송에 있어 공기부양선 (air cushion vehicle) 등이 미래의 빙해선박으로 구체화되고 있다.

2. 쇄빙선의 종류

쇄빙선은 다음과 같이 분류 할수 있다. 빙해역에 수로를 만들어 다른 선박의 항행을 유도하는 유도쇄빙선, 단독으로 개별적인 활동을 추진하는 단독쇄빙선 그리고 쇄빙선과는 달리 독자적인 쇄빙능력은 보유하지 않았더라도 비교적 얇은 결빙해역이나 이미 만들어진 수로의 유빙저항을 이겨낼 만한 내빙능력을 갖춘 내빙선박(ice-strengthened vessel)으로 분류 할수 있다. 내빙구조선박은 두께 50 cm 이내의 1년생빙 그리고 결빙률 3/10 이하의 빙해역에서 사용되는 것으로서 쇄빙선의 인도에 따라 운행해야 한다. 북극권의 국가들에서는 단독쇄빙선과 함께 수척의 빙해용 상선이 선단을 이루어 빙해역에서의 해상수송을 담당하고 있다.

쇄빙선의 빙해역 운항장면은 Fig.1-3과 같다.

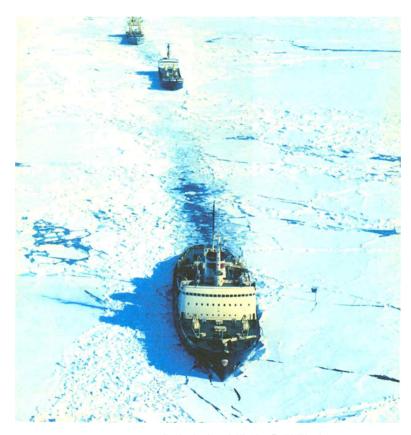
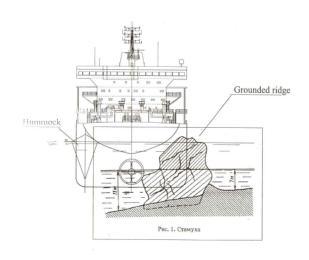


Fig. 1-3 쇄빙선의 빙해역 운항장면

빙해역에서 쇄빙선박이 연속쇄빙을 하며 나아가다가 두꺼운 빙맥을 만나 전진하지 못하게 된 경우 배를 후진하여 일정거리 물라난 다음 다시 가속 전 진하여 충격쇄빙 한다. 이도 여의치 않을 경우 항해 방향 정면 뿐만 아니라 그 좌우에 해당하는 부분에도 충격을 가하여 쇄빙한다. 충격쇄빙에 대비해 선체 정면부에 대한 충분한 보강과 함께 전후진이 용이하게 할 수 있는 추진 장치가 필요하다.

얼음이 많이 분포하는 지역일수록 쇄빙 항해시 얼음이 갈라진 부분들이 다시 갈라진 부위로 몰려드는데 이는 쇄빙선의 선체 측면에 큰 힘을 가한다. 이에 쇄빙선박은 유빙에 갇혔을 때를 대비하여 측면 쇄빙을 할 수 있게 선체 측면 에 대한 충분한 보강과 함께 좁은 지역에서도 선체를 좌우로 흔들 수 있는 추진 장치가 필요하다.

일반적으로 빙맥은 수면위에 나온 부분(sail)과 수면 밑에 가라앉은 부분 (keel)의 비가 1:4~5 정도이나 Grounded ridge 와 같이 빙산의 밑 부분이 대륙붕에 닿아 있는 경우는 수면위에 나온 부분이 작더라도 수면아래에는 매우 큰 얼음이 있어 큰 손상을 입게 된다. Single Screw 가 Twin Screw 보다 얕은 물에서 Fig.1-4에 보이는 바와 같이 얼음으로 인한 추진기 손상 확률이적어서 유리하다.



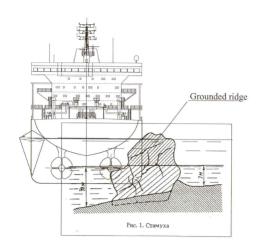


Fig. 1-4 Propeller damage by grounded ridge

3. 쇄빙선의 기능과 특징

쇄빙기능을 원활히 수행하기 위해서 쇄빙선은 일반 선박과는 달리 아래와 같은 특징을 가진다.

- 얼음으로부터 선박을 보호하기 위해 얼음과 접촉하는 선체의 구조가 매우 튼튼하게 설계된다.
- 연속적으로 쇄빙하면서 얼음과의 마찰저항을 이기고 일정한 속도로 항해 하기 위해서 일반선박에 비해 출력이 큰 엔진을 설치한다.
- 쇄빙기능을 효율적으로 수행하기 위해서는 선수선형이 매우 중요하며 일 반 선박과는 매우 다른 선형을 갖는다.

4. 쇄빙선의 선형

쇄빙선의 설계에서 첫째로 고려해야 할 사항은 빙판을 깨며 진행할 때 소요되는 출력이 가장 작은 선형을 찾아야 하는 것이며, 부차적으로는 개수면 (Open sea)상에서 소요되는 출력이 작고, 선박의 조종성능과 빙편의 제거가쉽고, propeller와 외판의 손상이 일어나지 않도록 선형을 찾는 것이다.

빙해선박의 쇄빙능력을 좌우하는 여러 설계인자 중 선수부의 형상이 가장 중요한 것으로 알려져 있다. 그 형상은 실제로 얼음을 파괴시키는 방식과 쇄빙효율에 직접적으로 영향을 줄 뿐 만 아니라 설치될 추진기관의 출력과도밀접하게 연관된다. 빙해항행선박의 선수부 형상은 여러 가지 설계 특성치를고려하고 있다. 통상 flare angle은 빙판을 깨뜨리는 것과 깨어진 빙이 물속으로 잠기게 하는데 효과적으로 기여하며, 수선면각(waterline angle)은 깨뜨린 빙편을 선체 좌우측으로 깨끗이 제거하는데 기여하게 된다. 이중에서도 선수부와 빙판이 이루는 각도인 선수각(stem angle)은 빙판을 깨뜨리는 수직하중에 기여하는 바가 가장 클 뿐만 아니라 수선면각, flare angle, buttock angle, block coefficient등과 함께 작용하여 깨어진 빙편을 물 속으로 밀어 넣거나, 선체 좌우측으로 밀어내는데 기여하는 바가 크다.

쇄빙선의 선수부의 형상은 항해지역, 주요 기능과 목적, 선급규정, 쇄빙효율을 감안하여 설계되는 것이 보통이다. 과거 20여 년간 건조된 쇄빙선의 선수부의 형상을 조사한 바에 의하면 아직도 재래식의 쇄빙선 선형을 가진 선박도 많이 있지만 근래에는 쇄빙능력, 조종성능 등 선박의 특수 목적에 적합한 선수부 형상을 가진 특수선형도 많이 채택되고 있는 추세이다.

초창기의 쇄빙선형에서 보이는 30 °정도의 비교적 큰 각도의 선수각이 근 래에는 20 °정도로 작아지는 경향이 있다. 빙판을 압축에 의해 파괴하기 보다는 굽힘과 전단에 의해 파괴시키는 편이 적은 에너지가 소요되기 때문에 선수각은 가능한 적은 값이 되어야 하지만 한편으로는 빙해역이 아닌 일반해역에서 선수부 슬래밍을 유발할 우려가 있으므로 적절한 각도의 선수각을 유지할 필요가 있다.

빙해항해선박은 얼음을 굽힘에 의해서 파괴할 수 있도록 그 중량을 효과적으로 이용하고 있다. 최근에는 쇄빙효율을 향상시키기 위해서 재래식의 직선형(Straight Type) 혹은 오목형(Concave Type or White Type)선수타입이 아닌 알음판과 가능한 넓은 접촉면적을 주고 두꺼운 빙맥을 만나서도 유효한쇄빙이 진행될 수 있도록 숟가락(spoon)형태의 선수부를 채택하기도 한다.

또한 선폭보다 확장된 개수로를 확보하기 위하여 reamer를 선수부 양쪽측면에 설치하기도 하거나, 어깨부에 chine을 설치하여 확장된 폭을 대신하기도 한다. Reamer를 설치하거나 chine이 있는 선형은 쇄빙효율로 보면 유리하지만 개수로에서의 저항이 커지는 단점이 있다.

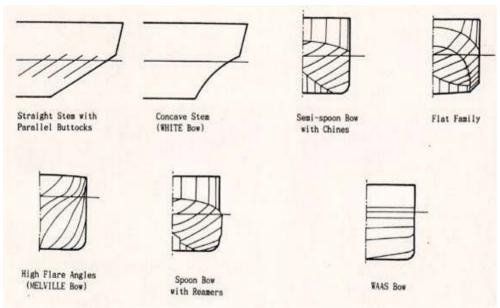


Fig.1-5 쇄빙선의 선수부의 형상

특징 있는 선수선형의 또 하나의 예로 Wass형 선수를 들 수 있는데, 이 형상은 작은 선수각을 가지는 경사평면이 선미부까지 평평한 넓은 폭을 갖는 것으로 최대 폭에서의 양쪽 모서리를 이용하여 전단력에 의한 쇄빙을 하게된다. 중앙부 선저는 V형으로 선저에 유입된 빙편이 선촉 양측에 얼음판 아래로 미끄러져 들어가도록 한다.

이와 같은 선형 때문에 선미부의 propeller가 얼음에 선상을 받을 확률도 작아진다. 평탄빙을 연속으로 쇄빙하는 또 하나의 방법은 선수부에 공기부양 선의 송풍장치를 부착하는 것이다. 이 방식은 항구나 강 어귀의 얼음을 제거 하는 일에 효과적인 것으로 판명되었고 방법은 얼음의 상하부에 압축된 공기 를 불어냄으로써 얼음이 굽힘에 의해 쉽게 파괴가 되도록 하는 것이다.

선박설계의 주요 치수인 길이, 폭, 흘수에 있어서 빙해항해선박은 기존의 선박과는 다른 모습을 보이고 있다. 통상 쇄빙선에서는 중앙 평행부 (parallel middle body)를 가지지 않는다. 선박이 얼음 위에 얹힐 때 쉽게 빠져나올 수 있도록 중앙 평행부의 형상이 결정되며, 이는 얼음과 선체 사이 의 마찰저항을 줄이기 위한 장치인 물 분사장치(water jet)나 공기 분사장치 (air-bubble system)의 부착과도 관련된다. 2knots이하의 저속순항인 경우 이 장치는 마찰저항을 상당부분 감소시켜 준다. 한편 수선(waterline)상부의 flare형상은 주변의 얼음벽이나 빙맥에 걸리지 않도록 수직측벽이나 수직보 다 안쪽으로 들어오게 제작되어야 한다. 특히 떠내려 오는 빙산을 현측으로 밀어내기 위한 경우 수직측벽은 중요하다.

또한 쇄빙능력을 향상시키기 위하여 수선면 형상은 선수쪽으로 치우치게 되어있으며, 선수 어깨부 뒤편으로는 길이방향으로 약간의 taper를 주어 빙편이 끼지 않도록 하고 있다. 선미부 형상 역시 일반 선박과는 다른 형상을 가지는데, 특히 깨어진 빙편이 propeller와 외판 사이에 끼지 않도록 충분한 공간을 확보하거나 propeller를 duct안에 넣어 보호하고 있다. propeller의 개수나 크기, 선미부 배치방법은 깨어진 빙편이 선미로 유입되는 정도에 따라 결정되는데 보통 2축 내지 3축의 배열로 하며 가변피치propeller(CPP)를 사용하는 경우도 있다. propeller는 큰 동력을 전달하도록 흘수의 제한 이내에서 가능한 크게 선택한다.

폭, 흘수의 길이에 대한 관계는 거의 직선적으로서 특히 길이와 수선면에서의 선폭과의 비가 3.6 ~ 4.6으로 기존의 선박에 비해 비교적 작다. 이는 유도쇄빙선이 만드는 개수로의 최대 폭이 유도되는 선박의 폭을 결정하기 때문에 일반 선박에 비해 폭이 크다는 것을 의미한다. 쇄빙선에서는 선폭이 크고 둥근 선체형태로 인해 외해상에서는 종종 횡동요가 심한 문제가 발생한다. 그리고 선폭이 너무 커지면 많은 빙편이 선체 아래로 흘러 들어와 선미부 propeller를 손상시킬 우려도 있다.

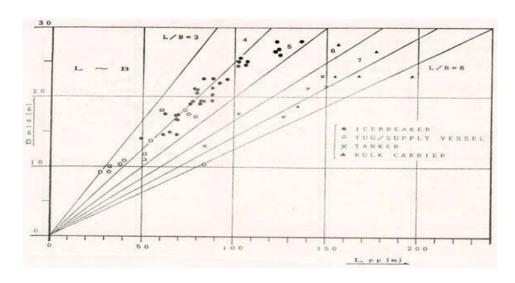


Fig. 1-6 선박의 종류에 따른 L/B의 관계

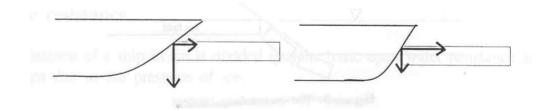


제 3절 일반적인 특성

(1) 길이/폭 비

: 대부분의 실적선의 값은 4에서 5사이이며, 이 장폭비가 크게 되면 조종성 능이 나빠지게 된다.

(2)



다. 그리고 과대한 수평력이 생기는 것을 막기 위해서는 선수각이 적을수록 좋다.

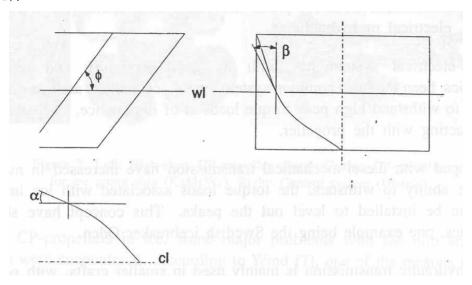


Fig.1-8 Definitions of hull angles with importance for ice-breaking performance

Fig. 1-8에서는 선박의 bow에 대해 정의를 하고 있다. 선박의 폭의 25%위치에서의 bow angle을 말한다. 1968년 Kashtelyan에 의해 쇄빙선과 내빙상선 (또는 쇄빙상선)의 적정 angle이 소개되었다.

• Ice-breakers

다. 대부분 병원을 지나갈 수 있는 능력을 가지고 있는 순수 쇄병선과 내병 상선(또는 쇄병상선)에 적용이 된다. 또, 중요한 특징은 저항과 관련하여 순수 쇄병선의 '얼음을 깨는 성능'(channel clearing performance)이다. 즉, 이 성능은 쇄병선이 지나간 다음에 부서진 얼음의 양으로 알 수 있다. 얼음을 깨는 성능이 좋은 쇄병선은 항로에 있는 얼음을 깔끔하게 깰 수 있을 텐데 잘 깨어진 얼음은 오랫동안 프로펠러 손상을 줄이고 얼음에 의한 사고를 줄이거나 그 항로에서 배가 운항하는데 도움을 준다. 다음은 bow의 종류를 특징에 따라 분류하고 각각의 특징을 간략하게 정리하였다.

- ※ 형상에 따른 분류
- ① Classic Type(Straight Type)
- : 적절한 수선면각, 선촉각에 의한 빙판제거, 일반선박에 비해 장-폭비가 크다. 수평에서 30°정도의 경사선수를 가진다.
- ② Concave Type(White Type)
- : 선수부가 오목함(얼음과 접촉하는 면적이 증가함 → 쇄빙능력 증대)
- ③ WAAS Bow
- : 평평한 선저, 중앙부 V형, 전단에 의한 쇄빙방식
- ④ 선체와 빙편 사이의 빙 저항을 줄이기 위해
- : 물과 압축공기 분사장치/Ice Skeg를 설치



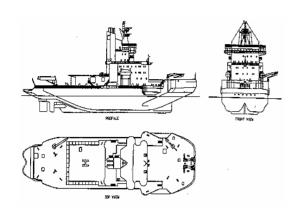






Fig.1-9 쇄빙선 형상

제 4절 쇄빙선의 구조적 특징

선체의 강도가 증가되고 추진기관의 출력이 증대됨에 따라 쇄빙선에 적용되는 선급규정도 세분화되고 엄격해지고 있다. 빙해역에 적용되는 선급규정에는 LR, ABS, DnV, BV, NK, GL, 그리고 러시아, 핀란드/스웨덴, 캐나다의ice class rule 이 있다. 예를 들어 캐나다의 CASPPR (Canadian Arctic Shipping Pollution Prevention Regulations)은 빙해역에서 충돌, 좌초에기인한 해상오염을 방지하기 위해 빙해항행선박의 선체강도와 출력 그리고빙해역의 빙상조건에 따라 9단계의 구분을 하고 있다. CASPPR 은 선박이 평탄빙에서 약 3 knots의 속도로 연속쇄빙을 하면서 진행할 수 있는 최대의얼음두께 (ft)로써 그 등급을 정하고 있다. 또한 이 등급과 관련하여 CASPPR 규정은 선박이 1년 중 특정기간에 항행가능한 지역을 정해두고 있다. 규정의 등급이 높아질수록 건조비와 운항비가 늘어나며 반면 추진기관이 차지하는 공간에 의해 선박의 화물적재능력은 줄어들게 된다.

선체구조의 측면에서 볼 때, 선박에 사용되는 강재의 분량은 CASPPR Class 4 의 경우 Class 2 보다 60% 더 많이 사용되고 Class 8 의 경우는 Class 4 보다 2배 이상이 소요된다. 쇄빙선의 경우 내빙대 (ice belt) 와 같은 내빙구조의 강화로 인하여 선체가 얼음판 위에 걸쳐 있다 하여도 선체의 종강도상의 문제는 거의 없다고 보이며 이는 유사한 크기를 지닌 일반 화물선과 쇄빙선의 주요 요목과 기관출력, 배수량 등을 비교함으로써 쉽게 확인할 수 있다. 쇄빙선의 내빙대는 선급규정에 따라 달라지긴 하지만 통상 선수에서 선미에 걸쳐 만재흘수선과 경하상태흘수선에서 예상되는 빙판의 최대 두께를 기준으로 위아래 사이의 구간을 선택한다. 선수부를 가장 튼튼한 구조로 보강하며 중앙부, 선미부는 적절한 비율로 감소시켜 보강한다. 그러나 비록 잘건조된 빙해선박이라도 얼음판으로 덮인 해역을 항행할 때는 얼음과의 충돌로 인하여 외판에 약간의 손상은 불가피하다. 특히 평탄빙에서 보다는 소형의 빙산이나 다년생 빙맥을 만나 충격쇄빙을 하는 경우 손상이 발생하는 예가 많다.

또한 빙해선박은 선급규정에 의해 선체구조 부재의 칫수를 정하게 되는데 이와 함께 외판의 파손으로 인한 침수를 방지하고 연료유의 누출을 방지하며 청수의 결빙을 막기 위하여 2중선각 (double hull) 의 구조를 채택하는 것이 필수적이다. 또한 동절기 -40℃ 의 극한저온에서 동파에 대비할 수 있는 저 온용 특수강의 사용과 마모와 부식을 고려하여 노출된 외판의 두께를 증가시 키는 것도 구조문제와 관련하여 고려해야 할 사항이다.

-	-	_		ICE	CLASS			-	-11110			
Operating Area			ern Balti r Similar	The state of the s	nter	Arctic and Antarctic Sea						
lce		Fir	st-Year	Level Ice		First-Year Ice Ridges						
Condition	very Light	Light	Medium	Severe Extreme			or Multi-Yea	r Ice Floes				
Canadian CASPPR (1972)		1 (0.3m)	1A (0.45m)	2 (0.6m)	3 (0.9m)	< regions and periods for navigation and periods for navigation and formula for the following for the following formula for the following for						
	Е	D (0.4m)	C (0.6m)	B (0.8m)	A (1.0m)							
Russian (1982)		L3	L2	Ll	UL	LL4 (1.0m)	LL3 (1.5m)	LL2 (2.0m)	LL1 (2.5m)			
Finnish/ Swedish (1985)	п	IC	IB	IA	IA Super			4				
LR (1995)	1D	1C	1B	1A	1AS	AC1 (1.0m)	AC1.5	AC2 (2.0m)	AC3			
DnV (1992)	ICE-C	ICE-1C	ICE-1B	ICE-1A	ICE-1 A*	(0.5m) POLAR (1.0m)	ICE-10 ICE (1.0m) (1.5 -10 POLAR- (2.0m) EBREAKER	m) -20 PC	OLAR-30 (3.0m)			
ABS		D0	C0	В0	A0	< regi	ons and period A1 ~	s for navig				
(1992)		IC	IB	IA	IAA							
GL	Е	El	E2	E3	E4	Arc 1 (1.0m)	Arc 2 (1.5m)	Arc 3 (2.0m)	Are 4 (3.0m)			
BV (1986)		ice III	ісе П	ice 1	ice I-Super							
NK	ID	IC	IB	IA	IA Super							

캐나다의 빙해역 선급규정 (CASPPR) 은 1972년에 도입된 이래 조금씩 수정되며 꾸준히 사용되어 왔으나, 최근 들어 1995년도에 대 폭 개정된 형태로 발표되었다. 1995년도에 새로 개정된 기준은 북 극해 빙등급 또는 이에 상응하는 규약에 제시된 것보다 좀 작은 선 체외판 두께와 더 높은 늑골강도를 요구한다. 외판에 대해서는 탄소성 거동에 의한 구조강도상의 여유분 이 고려되었고 늑골에 대해서는 이 전 CASPPR 규약에 포함되지 않았던 보조부재의 tripping 및 좌굴에 대 한 안정성과 더불어 전단 및 굽힘 강도에 관한 설계기준을 제공하고 있다.

1995년 새 규정에 따른 빙등급

Equivalent Arctic Class (1972년 ASPPR)

CAC1 : Arctic Class 10 ; CAC2 : Arctic Class 8 CAC3 : Arctic Class 6 ; CAC4 : Arctic Class 3

제5절 쇄빙선 구조관련 빙특성

1. 빙등급 (Ice Class)

빙해역을 운항하는 선박은 일반 선급규정과 함께 운항항로의 빙상조건에 합당한 빙해역 규정을 만족해야 한다. 이러한 Ice Class Rule 을 만족시키지 못하는 선박은 빙해역에서의 안전한 운항을 보장받을 수 없을 뿐만 아니라, 빙해역에서의 긴급수리를 위한 입항 등 비정규적인 운항조건에 대해서도 많 은 제한이 가해진다. 빙해항행선박은 작업해역에 도달하기까지 얼음이 존재 하는 해역을 저온속에 장시간 노출되어야 하는 상황을 맞게 되므로 이 지역 을 항해하는 선박의 구조는 빙맥이나 빙판과의 충돌에 저항할 수 있도록 선 급에서 규정하고 있는 쇄빙 또는 내빙능력을 갖춘 것이어야 한다.

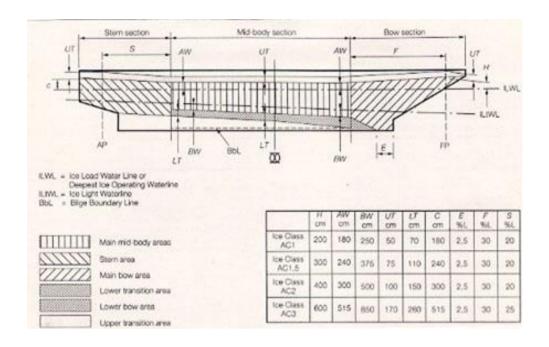
현재 빙해역에 적용되는 각국의 선급규정은 쇄빙선박에 요구되는 선체강도요구조건과 규정의 발전과정에 따라 다음과 같이 크게 세 그룹으로 나눌 수있다. 서유럽 국가의 선급규정 (LR, DnV, BV, GL) 과 미국의 선급규정 (ABS)은 1971년도 핀란드/스웨덴 규정 (Finnish-Swedish Ice Class Rules, 1985년 개정)에 그 기초를 두고 있다. 반면 구공산권 국가의 선급규정 (폴란드, 동독)은 구소련 선급협회 (USSR Register of Shipping, 1968년 도입, 1982년 개정, 1999년 개정 예정)의 규정을 채택하고 있다. 그리고 캐나다의 경우는 캐나다 북극해에 적용되는 독자적인 규정인 CASPPR (1972년 도입, 1995년 개정)을 사용하고 있다.

캐나다와 러시아의 빙해역 선급규정은 자국의 북극해 빙상조건에 맞추어 높은 빙등급을 정하였기 때문에 빙상조건이 훨씬 온화한 발틱해의 겨울철에만 적용되는 핀란드/스웨덴의 규정에 비해 빙등급의 범위가 훨씬 넓다. 캐나다의 CASPPR 규정은 선박의 선체강도와 출력 그리고 북극해 빙해역의 빙상조건에 따라 1, 1A, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10 의 9단계 구분을 하고 있다. 그리고 발틱해의 빙상조건에 맞추어 5단계의 저등급 (A, B, C, D, E) 이 설정되어 있다. CASPPR 규정은 선박이 평탄빙에서 약 3 knots 의 속도로 연속쇄빙을하면서 진행할 수 있는 최대의 얼음두께로 그 등급을 정하고 있으며 또한 이등급과 관련하여 CASPPR 규정은 선박이 일년중 특정기간에 항행가능한 지역을 정해 두고 있다.

핀란드/스웨덴 규정은 겨울철 발틱해에서 운행하는 선박에 대하여 4가지 빙등급 (IC, IB, IA, IA Super) 으로 분류하고 있다. 발틱해에서 가장 높은 빙등급 (IA Super) 에 해당하는 선박들은 외부의 도움없이도 자신의 추진력만으로 운행할 수 있는 반면, 가장 낮은 빙등급을 가지는 선박들은 빙상조건이 악화될 때는 유도쇄빙선의 도움이 필요할 경우도 있을 것이다. 발틱해의빙상조건에 맞추어서는 러시아 규정도 역시 4가지 빙등급 (L3, L2, L1, UL)으로 분류된다. 그러나 각 등급이 요구하는 선체의 강도는 핀란드/스웨덴 규정의 요구사항과 꼭 일치하지는 않는다. 그리고 LR, ABS, DnV, BV, GL, NK의 규정을 보면 발틱해의 빙상조건 (Northern Baltic in winter season)에 맞추어 4단계 혹은 5단계의 빙등급을 설정하고 있다.

2. 내빙대 (Ice Belt)

각 선급규정에서는 빙해항행선박의 외판 중 빙하중을 직접 받는 부위에 대하여 특별한 보강구조를 요구하고 있다. 이러한 내빙대 (ice belt) 의 범위와 보강정도는 선박이 운항하는 해역의 빙상조건에 좌우된다. 내빙대의 수직범위는 ice load waterline 혹은 ice light waterline 과 관련이 있다. 즉, 빙해항행선박의 내빙대는, 각 선급규정에 따라 조금씩 달라지긴 하지만, 통상 선수부에서 선미부에 걸쳐 만재흘수선과 경하상태흘수선에서 예상되는 빙판의 최대두께를 기준으로 그 위아래 사이의 구간을 선택한다. 내빙대의 범위는 선체 외판 (shell plating) 뿐만 아니라 빙하중에 대해 보강되어야 할 녹골 (frame) 의 설치범위도 나타낸다. 통상 선체를 선수부위 (bow section), 중앙부위 (midbody section), 선미부위 (stern section)로 구분하고 각 부위를 다시 상중하의 세 구역 혹은 상하의 두 구역으로 나누어, 각구역에 작용하는 빙하중의 크기와 그에 따른 선체의 보강정도를 달리하고 있다.

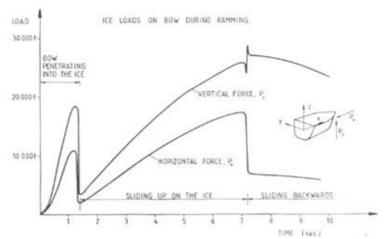


3. 빙하중 (Ice Load)

빙해역에서 선박이 받게되는 빙하중은 얼음의 재료강도, 선체의 크기와 형상, 속도 및 쇄빙운항방법 등에 따라 달라진다. 그러나 얼음의 파괴 메커니즘에 대한 지식이 부족하고 선체와 빙판 사이의 상호작용 과정이 너무도 복잡하기 때문에 빙하중을 엄밀하게 산정하는 데 많은 어려움이 있다. 실질적으로 유용한 빙하중 산정 모델 (이론이나 경험식 등) 을 만드는 데는 많은 가정과 단순화 작업이 필요하다.

선박은 다음과 같은 몇 가지의 운항방법에 의해 빙해역을 통과한다. 즉,

- 평탄빙에서의 연속쇄빙 (continuous icebreaking)
- 두꺼운 빙맥에서의 충격쇄빙 (ramming)
- 유도쇄빙선 후방의 넓혀진 수로 내에서의 운항 (motion in broken channel)
 - 유빙군내에서 운항 (motion in drifting ice field)
 - 빙판 사이의 틈 속에 선박이 끼임 (jamming between ice edges)



이러한 선체-빙판 상호작용 중, 선체가 받는 빙하중은 충격쇄빙 (ramming)에 의해 선수부위 (bow) 가 가장 큰 충격하중을 받게 되며, 선체의 중간부위 (midbody) 는 선각이 빙판에 의해 눌려 압축을 받게 되는 경우 (jamming) 가제일 문제가 된다. 넓혀진 수로내에서의 운항이나 유빙군 사이의 운항조건은 선미부위의 빙하중과 연관된다고 볼 수 있다. 평탄빙에서의 연속쇄빙은 빙해역 항행시 가장 흔하게 겪게 되는 운항방식이지만 빙하중의 크기가 대체로작기 때문에 큰 주의는 요구되지 않는다. 단 외판의 피로 및 진동해석시 문제가 될 뿐이다

발틱해와 같이 광범위한 평탄빙 해역에서는 연속쇄빙시의 빙하중이 중요해지지만 대부분의 빙해역에서는 대단히 불규칙하고 두꺼운 빙판이나 빙맥도만나게 되므로 ramming 과 jamming 에 의한 빙하중의 산정이 우선적으로 고려되어야 한다. 대부분의 빙해역 선급규정에 따른 빙하중 계산식은 이러한조건을 가정하여 만들어졌는데, 그 규정의 배경에는 러시아 규정의 빙하중산정공식이 있다고 보면 되고 러시아 규정은 이러한 최악의 조건 (즉 선수부의 ramming, 중간측면부의 jamming)을 고려한 경험을 통해 얻어진 것이다.

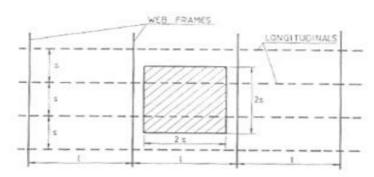
설계빙하중은 선체에 작용하는 전체 빙하중과 함께 국부적인 유효빙압력의 크기가 관건이 된다. Popov (1967) 는 ramming 에 의한 빙하중 모델을 통해 선수부가 받는 전체 빙하중을 계산하고 있다. 이 방법은 충돌전 선박이 가진 운동에너지의 감소가 충돌후 빙판의 압축과 굽힘을 통해 흡수된 에너지와 같다는 가정하에 전체 빙하중이 계산되는데, 이 때 얼음은 등방성 완전탄성체

로 취급하고 선박은 완전강체 그리고 마찰력은 무시하고 있다. 또한 실제 측정을 통하여 선체외판의 빙접촉면적의 범위를 정하고 전체 빙하중을 접촉면적으로 나누어 늑골과 외판에 작용하는 유효빙압력을 계산하였다. Jamming에 의하여 선체 중간부위의 늑골과 외판이 받는 압축하중은 수직벽과 경사벽에 의한 빙판의 분쇄 (crushing)파괴와 굽힘파괴를 가정하여 계산할 수 있다. 이러한 설계빙하중 산정방법은 러시아의 규정에 사용되고 있다.

적절한 선체강도를 결정하기 위한 계산원리 뿐만 아니라 계산된 빙하중의 크기도 고려한다면 캐나다의 규정이 러시아와 핀란드/스웨덴의 규정보다 더 엄격하다. 대부분의 경우 핀란드/스웨덴의 규정은 비교적 작은 외판강도를 요구한다. 그러나 배수량 25,000 톤 까지의 선박에 대해서는 러시아 규정과 핀란드/스웨덴의 규정은 비슷하다. 러시아의 규정에 사용되는 Popov 의 빙하중 모델은 북극해 및 기타 빙해역을 운항하는 선박에 대해서 성공적으로 적용된 바 있지만, 북극해에서 운항하기 위해 건조된 길이 250-300 m 선박의 선수부 외판에 대해서는 비현실적으로 너무 큰 값이 계산된다. 특히 늑골에 작용하는 하중이 큰 대형선박의 경우는 유효빙압력이 선체길이방향 뿐만 아니라 수직방향으로도 적당하게 분포되도록 하는 것이 바람직하다.

4. 부재치수 (Scantling)

내빙대에 작용하는 특정 설계빙압력에 대하여 외판의 두께나 늑골 및 보강부재들의 단면계수에 대한 요구사항은 각 선급규정이 거의 비슷한데, 캐나다의 규정과 핀란드/스웨덴의 규정은 선체강도에 대한 설계기준을 늑골의 소성분과 (plastic collapse 즉 소성극한해석) 에 두고 있으며 러시아의 규정은 늑골의 항복기준식 (yield criteria, 즉 항복의 발생) 에 기초하고 있다. 또한 러시아의 규정에서 사용되는 계산공식은 영향을 미치는 특설늑골, 종통보강재, 선촉보강재 등의 갯수까지도 고려하고 있다. 그러나 캐나다, 핀란드/스웨덴 규정과는 대조적으로 러시아의 규정은 횡늑골방식을 권장하고 있다.



소성극한해석에 의하면 길이 L ,폭 b 인 양단이 고정된 보가 균일한 분포하중 p 를 받을 때 최종 붕괴하중은 보의 세 지점에 소성힌지가 발생할 때일어난다고 본다. 이 때 소성항복모멘트 (plastic yield moment) 는 M = (pbL^2)/16 으로 계산된다. 여기서 균일분포 빙하중을 받는 선체 외판(shell plating) 이 두 개의 횡늑골 (transverse frame) 사이에 놓여 있는 경우, 이를 양단이 고정된 보의 문제로 취급할 수 있다. 횡늑골 사이의 간격을 s [m] 라 하면 필요한 외판의 최소두께는 t = 500s(p/sigma)^1/2 [mm]이다. 여기서 sigma 는 재료의 항복강도이다.

빙하중을 받는 선체 외판이 두 개의 횡녹골 사이에 놓여 있는 경우 경계조건 등에 의해 실제로 판에 전달되는 빙압력은 일부 감소된다. 한편 얼음이처음 접촉할 때의 빙하중 분포와 시간이 지나면서 얼음이 깨어지며 빙압력이약간 증가하는 점을 고려하여 적당한 곱수를 곱하여 빙압력을 계산한다 (횡녹골식에 대해서는 1.2 를 종녹골식에 대해서는 1.4 를 선택한다).

이제 안전계수로 1.75 를 선택하여 빙압력에 대한 허용응력치를 탄성이내로 감축시키고 부식에 대한 여유로 2 mm 를 추가하면 필요한 선체 외판의 최소두께는 다음과 같이 표현된다.

 $t = 667s(kp/sigma)^1/2 + 2$ [mm]

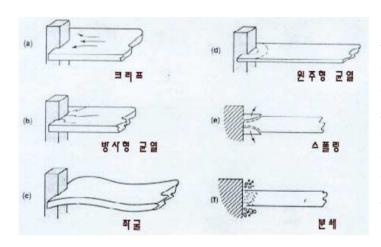
여기서 횡늑골식에 대하여 k = 1.2(1.1-s/3) 를 사용하고 종늑골식에 대해서는 1.4 (선수부) 와 1.2 (나머지 부분) 을 사용한다. kp 는 16.5 kg/cm^2 (=1.62 MPa) 를 넘지 않는다.

빙역학(ice mechanics)은 다른 학문 분야에 비해 비교적 역사가 짧습니다. 항해자들은 빙해역을 항해하면서 얼음이라는 장애물에 많은 곤란을 겪어 왔 으며 토목기술자들은 얼음에 덮인 수역을 가로지르는 교량이나 건등을 건설 하는 데 골몰해 왔습니다. 그러나 인간이 만든 구조물과 얼음과의 관계를 과학적으로 이해하려는 노력이 시작된 것은 1960년대부터라 할 수 있습니다.



석유와 천연가스 매장지역인 북극해 연안을 개발하려는 활동은 70년대 후반 중동전쟁에 이은 원 유가 폭등에 의해 본격적으로 시작된 것인데, 천문학적인 액수의 개발비가 빙 해역에서 석유를 찾

아내는 기술과 개발설비를 건조하는데 지출되었습니다. 이를 통하여 빙역학에 대한 많은 새로운 지식을 얻게 되었습니다.



실험실과 현장관측을 통해 살펴본 바에 따르면 얼음은 여러 가지 파괴양식으로 부서집니다. 이 결과를 설계에 이용하기 위하여 빙하중을 계산하는 많은 경험식이 제시된 바 있습니다.

크리프 : 빙판의 유입속도가 아주 느린 경우에는 완전히 연속체적인 소성 변형이 발생하며 균열이 형성되지 않는다.

방사형 균열 : 형상비(aspect ratio: 구조물 폭과 빙판 두께의 비)가 큰 경우에는 구조물 구석부에서 뻗어나가는 방사형 균열이 주로 관측된다.

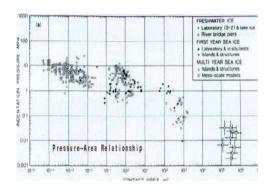
좌굴 : 얇은 빙판은 굽힘 변형에 의해 좌굴이 발생하기 쉬운데 이러한 좌

굴은 매우 불안정하여 원주형 균열이 재빨리 만들어진다.

원주형 균열 : 좌굴의 결과이거나 혹은 빙판에 굽힘 모멘트가 가해짐으로 써 원주형 균열이 형성될 수 있다.

스폴링(spalling) : 빙판의 유입속도가 빠르고 형상비가 작은 경우에는 빙편이 비늘처럼 깨어서 떨어져 나가는 스폴링이 일어난다.

분쇄 (crushing): 빙판의 유입속도가 아주 빠르면 접촉부의 얼음이 가루처럼 파괴되어 빙판의 위아래로 빠져나가는 현상이 일어난다.



방역학에서 가장 중심이 되는 문제는 방하중입니다. 북극해에 설치될 구조물이 얼음과 부닥쳤을 때 견뎌 내야 하는 하중의 크기는 어느 정도인가 하는 문제입니다.

얼음은 아주 독특한 재료로서 보통 힘을 받으면 균열이 가고 잘 깨어지는 것처럼 보이지만 작은 힘을 가하면 얼음은 시간에 따라 서서히 변형하는 특성을 가지고 있습니다. 즉 힘을 가하는 속도와 온도상태에 따라 얼음은 취성(brittle)과 연성(ductile)적인 전혀 다른 재료특성을 보입니다. 중요한 점은 그 특성에 따라 얼음의 강도도 달라진다는 점입니다.

또한 얼음의 강도(strength)는 구조물과 얼음의 접촉면적에 따라 크게는 수십 배의 차이를 나타냅니다. 실험실에서 작은 얼음시편을 가지고 측정했을때 얼음의 강도는 10 MPa 근처이지만 실제 빙해역 현장의 구조물에서 측정된 값은 1 MPa 이하로 큰 차이가 있습니다. 실험실에서 얻어진 자료를 실제 현장에 응용할 때 많은 어려움이 있습니다.

또 하나 흥미로운 사실은 만일 어떤 교량을 건설한다고 할 때 우리는 재료가 얼마나 튼튼한지 (다시 말해 재료가 견딜 수 있는 최대의 하중은 얼마인지)에 관심이 있게 마련인데 얼음의 경우는 이와 반대로 얼음이 얼마나 약한지를 먼저 검토하게 됩니다. 빙역학에서는 얼음의 재료특성을 다룰 때 얼음이 깨어지게 되는 방향으로 문제를 접근하게 됩니다.

5. 빙저항 추정식 분석 (주요 참고문헌:최경식,이우람,이진경 SNAK,2005)

빙저항이란 쇄빙선박이 빙판을 깨뜨리며 전진하기 위하여 갖추어야 할 추진기관의 출력을 결정하기 위해서 알아야 할 사항이다. 하지만 실제 빙해역의 빙상상태는 평탄빙(level ice)이나 다년생 빙맥(multi-year ice ridge), 얼음조각층(ice rubble field) 등 매우 다양한 조건이지만 대부분의 연구는 평탄빙에서의 빙저항을 다루고 있다. 이는 평탄빙에서의 빙저항 해석이 가장기본이 되며 또한 제일 용이하게 수행할 수 있다는 점 때문일 것이다. Fig. 6에 쇄빙선박에 의해 평탄빙에서 연속쇄빙과정이 이루어지는 순서를 개략적으로 보여주고 있다.

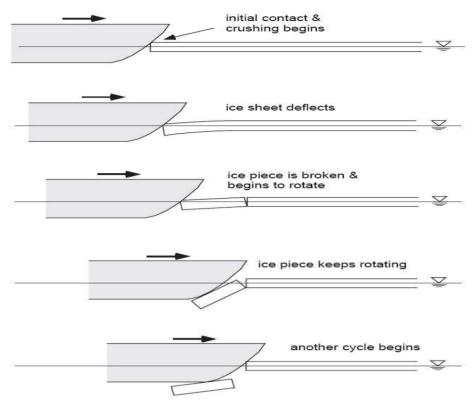


Fig.1-10 Schematic diagram of icebreaking process(from Kotras et al. 1983)

빙해역에서의 전체 저항은 순수하게 얼음을 깨뜨리며 진행하는데 필요한성분에 정수 중에서의 유체저항을 합쳐서 계산한다. 유체저항 성분은 쇄빙선및 쇄빙상선에 대하여 개수로 실험과 빙해역 실험에서 큰 차이를 보이지 않으며 전체 저항에서 작은 부분을 차지할 뿐이다.

한편 빙저항은 편의상 그 쇄빙 메커니즘에 따라 몇 개의 성분으로 구별하여 추정한다. 즉 빙저항은 속도와 무관한 저항성분(직접저항, direct resistance)과 속도와 관련된 저항성분(속도저항, velocity resistance)으로 분리하여 취급하며 이 중 직접저항은 빙판을 깨뜨리는 데 소요되는 저항 (fracture portion)과, 빙편을 물 속에 잠기게 하거나 빙편의 회전, 쇄빙선의 위치변화 및 마찰과 관련된 저항(gravity portion)으로 분리된다. 그리고속도저항은 깨어진 빙편을 선체 주위로 배제시키는 데 소요되는 저항 (inertia portion)을 말한다.



빙저항에 관한 주요한 연구는 1960년 이후에 대부분 발표되었다. 평탄빙에서의 빙저항을 처음으로 성분별로 세심하게 해석한 것은 Kashteljan et al.(1968)로서 그들이 제시한 빙저항식은 다음과 같다.

$$R_{i} = K_{1} \mu_{0} B_{0} h + K_{2} \mu_{0} B_{p}_{i} h^{2} + K_{3} B^{K_{4}} h V^{K_{5}} / n_{2}$$
(1)

여기서 σ = 얼음의 강도(ton/m^2), h = 빙판의 두께(m), B = 선박의 폭(m),



여기서 C_0 C_1 C_2 는 실험적으로 결정되는 계수이다. Lewis and Edwards 는 식(2)를 σh^2 로 나누어 무차원화 하였으며 서로 다른 모형시험과 실선시험에서 얻어진 자료를 비교하기에 적합한 다음 식을 얻었다.

$$R' = C_0 + C_1 B' N_V + C_2 B' N_I$$
(3)

여기서 $R'=R_i/\sigma h^2$ (무차원 평균 빙저항) B'=B/h (무차원 선폭) $N_V=\rho gh/\sigma$ (Volumetric Number) $N_I=\rho_i V^2/\sigma$ (Inertial Number)

본 Lewis and Edwards의 추정식은 실선 계측치와 비교적 양호한 상관관계를 보이고 있는 것으로 판단된다. 하지만 추정식의 경우 전체 저항은 속도의 제곱의 함수이지만 Kashteljan 식이나 실선시험에서의 회귀분석은 속도의 1 차식으로 나타나고 있다.

이상과 같은 방법으로 최근까지의 빙저항 추정식과 이들 추정식 도출의 배경이 된 모형 및 실선시험 자료 등을 정리하면 Table 1-6과 같다.

Table.1-6 Various ice resistance estimation formulas

	빙파괴 저항 (icebreaki ng)	중력항 (buoyanc y)	속도의존 저항 (momentum change)	비 고
Kashtelj an et al. (1968)	$K_{1}\mu_{0}B_{0}h$	$K_2 \mu_0 B$ ۾	$K_3 rac{1}{{rak n}_2} B^{1.65} \mathit{Vh}$	1. Ermak 등 초기 중소형 쇄빙선으로부터 얻은 자료에 의해 계수가 결정되어 근래의 대형선에는 빙저항이너무 크다. 2. 방정식이 차원적으로 맞지 않으며마찰의 영향이 고려되지 않았다.
Lewis and Edwards (1970)	C_0 о h^2	$C_1 \rho_i g Bh$	${\cal C}_2$ p $_iBhV^2$	1. USCG의 Wind class 쇄빙선 등의 모형시험 및 실선시험으로부터 통계 적으로 산정식을 유도하였다. 2. 빙파괴 저항에서 선폭이 제외되어 있고 마찰의 영향이 고려되지 않았 다.

Enkvist (1972) : Wartsila	C_0 o Bh	C_{1} P $_{\Delta}$ gBP	${\cal C}_{2^{ extsf{D}}i}BhV^2$	1. 해석적인 방법으로 산정식을 유도하였고 계수 결정에 쇄빙선 Moskva class, Finncarrier 및 Jelppari 의 모형시험 및 실선자료를 이용하였다. 2. 마찰 영향이 계수(C_1 , C_2 , C_3)에 포함되어 있다.
Edward s and Lewis (1972)	C_0 o Bh	C_1 p " gBh "	C_2 p $_{w}BW\overline{gh^3}$	1. 이전 식과는 달리 빙파괴 저항에 선박의 폭이 포함되었다. 2. 속도의존 저항성분이 다른 식과 판이하게 다르다. 두께(h)의 지수가 3/2이고 선속(V)에는 1승을 사용했다.
Levine et al. (1974)		Bh^2 p $_{\Delta}gC_{_1}$	Bh^2 р $_{\Delta}gC_{_{ m I}}C_{_{ m V}}$	1. 60,000 DWT Bulk Carrier에 대해 실선시험을 수행하였다. 2. 선수각이 80° 이상일 경우 모형시 험자체에 적용이 불가하다.
Vance (1975)	C_0 о Bh	C_{1} P $_{w}$ gBh	C_{2} p $_{i}V^{2}Lh^{0.6}$	1. 각 계수들에는 마찰이 포함되어 있지만 경험적으로 계수를 구할 수 없다. 2. 적설의 영향이 고려되어 있지 않 고 broken channel 에서의 저항 산 정이 어렵다.
Baker and Nishizaki (1986)	0.00008385	0.5517 <i>h</i> ²	0.1525 <i>vh</i>	1. MV Arctic 의 새로운 선수형상에 대해 모형시험 수행 2. 실선시험과 모형시험이 거의 일치 하지 않았다.
Zahn et al. (1987)		$C_{1}p_{w}gBi$	C_{2} P $_{w}V^{2}L^{3}/h$	1. 예인/보급선인 Mobile Bay의 실선 시험 수행 2. 17차례의 실선시험 결과 최적의 무차원계수를 찾아냈다. 3. 연속쇄빙가능한 빙두께 제한으로 쇄빙상선 적용 불가
Spence r and Jones (2001)	C ₀S [*] № ¡BI S _N : 무차원 강도계수	\mathcal{C}_1 p $_{\scriptscriptstyle \Delta}$ gh E	C ₂ F _{h P i} Bh V F _h : 빙두께를 길이 차원으로 사용한 Froude 수	2. 마찰저항의 정도에 따라 두 가지

제 6절 해외기술동향

1. 기술동향

가. 러시아

- 북극해연안 천연자원 개발 (시베리아: LNG, 석유, 광물, 목재 등)
- 쇄빙선 약 80여 척 보유(1985)/ 북극해용: 16척
- 대형 원자력추진 쇄빙선(75,000 마력): 4척
- 쇄빙화물선 14척 보유, GT40,000톤급 쇄빙화물선 건조 중

나. 캐나다

- 북극해 연안의 자원 개발지원 (알라스카 북극해: 석유)
- 재화중량 28,000톤급 단독 쇄빙상선 건조(Artica, 1978)
- 쇄빙능력 2.4m급 쇄빙선 건조 계획
- 6척의 북극해용 쇄빙선 보유 (Canadian Coast Guard)

다. 미국

- 1970년 알래스카의 석유수송: 상선개조 시험운항(Manhattan호) (경제성 확인, 기술개발 필요)
- 60,000마력급 Polar Star: 비원자력 추진 쇄빙선 중 가장 대마력 라. 핀란드
- 최다 쇄빙(내빙)선 건조 실적 (Kvaerner-Masa Yard)
- 10,000톤급 Fennica: 다목적쇄빙선, 360도 회전가능, 전방위 쇄빙 **마. 일본**
- 북동 시베리아 개발에 참여
- Soja, Fuji, Shirase 쇄빙선 보유
- Shirase: 16,000톤 30,000마력 급



제 7절 북극해 항로에 관한 국제 공동연구 INSROP 프로그램의 개요

북극해 항로는 이전에는 북동항로 (Northeast Passage) 라 불리웠으나 요즘은 Northern Sea Route (NSR) 라고 부르고 있다. 북극해 항로를 통해 북유럽에서 동아시아나 북미의 서해안까지 가는 길은 수에즈 운하나 파나마 운하를 통하는 항로보다 30% 이상 거리가 단축된다. 수에즈나 파나마 운하를 통하는 항로는 운하를 통과할 수 있는 선박의 크기가 제한되는 문제가 있고 운하가 위치한 지역의 정치적 불안에 따른 문제도 안고 있다. 더욱이 러시아의 북극해 연안은 석유와 천연가스 등 자원이 대규모로 매장된 곳이어서 근래에는 해상을 이용한 수송방법이 요구되고 있다.

1990년대를 맞아 러시아의 정치적 변화는 북극해 항로를 좀더 경제성이 있는 매력적인 대상이 되게 하였다. 러시아는 1991년부터 공식적으로 북극해 항로를 외국에 개방하였다. 그럼에도 불구하고 아직 북극해 항로는 러시아이외의 외국선박이 제대로 활용하고 있지 못하는 실정이다.

북극해 항로를 상업적으로 활용하는 데 가장 큰 장벽은 빙해역이라는 열악한 자연환경이다. 북극해 연안의 일부 해역은 거의 1년내내 얼음이 출현하는 곳이기 때문이다. INSROP (International Northern Sea Route Program) 은 러시아의 북극해 연안 빙해역에 최초로 상업적인 정기항로를 개설하기 위하여 필요한 각 분야의 과학기술정보를 구축하려는 목적으로 러시아, 노르웨이, 일본 등 여러 나라의 관련기관들이 협력하여 이 지역에 대한 집중적인연구를 수행한 국제 공동연구 프로그램이다.

처음에 이 프로그램은 러시아와 노르웨이의 공동연구였으나 후에 일본이 동일한 자격으로 참여한 뒤 14개국 450여 명의 학자들이 참여하는 큰 연구 프로그램으로 확대되었다. 이 프로그램은 지난 6년간 (1993 - 1999) 지속적으로 진행되었고 현재 많은 연구결과가 발표된 바 있다.

북극해 항로와 관련된 거의 모든 주제에 대하여 167편의 보고서가 학술회의를 통하여 일반에게 발표되었고 데이터를 정리한 책과 지도, 소프트웨어등 여러 가지 방법으로 연구결과가 구체화되었다. 그 예로서 INSROP

Simulation Study, GIS Database, Environmental Atlas 가 발표되었다.

INSROP 프로그램의 결론은 북극해 항로를 경제적, 기술적으로 환경에 피해를 주지 않고서 충분히 활용할 수 있다는 점이다. 북극해 항로의 양 종점인유럽 북부와 동아시아 지역 (혹은 북미 서해안) 사이의 물동량은 21세기를목전에 두고 계속 증가 추세에 있으며 특히 건화물 (dry bulk) 의 이동이 주목된다. 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 어려운 일은 아니지만 무엇보다도 경제적이고 기능적인 수준의 대 선단을 확보하는 일이 남아있고 북극해 연안에 살고 있는 원주민을 고려하는 개발과 환경을 보존하는 문제도 있다. 북극해 항로 개척을 가속화하고 항만배후시설과 도로 등 인프라 시설 구축을 담당해야 할 러시아의 정치적, 경제적 안정이 가장 중요한 요소라고 평가하고 있다.

1. INSROP 프로그램의 구성

INSROP 프로그램은 1987년 구 소련의 무르만스크 계획 (Murmansk Initiatives) 과 국제 협력안의 결과로서 소련 정부가 북극해 항로를 국제항로로 개방하겠다는 공식적인 의사를 밝힘에 따라 시작되었다. 무르만스크 계획이란 북극해 연안국가들 사이의 해상운송과 안전에 관한 전통적인 협력관계를 크게 확대, 진전시키기 위한 계획으로서 구 소련의 붕괴이후 러시아 정부가 이를 계속 지원하고 있다.

이 계획에 따라 1991년 러시아의 Central Marine Research & Design Institute (CNIIMF) 와 노르웨이의 Fridtjof Nansen Institute (FNI) 사이에 기초 연구를 시작하였고 1992년 일본의 Ship & Ocean Foundation (SOF) 이참여함으로써 INSROP 프로그램이 정식으로 출발하였다.

이 프로그램에 참여한 관련 기관을 보면,





러시아 연방정부

러시아 Murmansk Shipping Co.

노르웨이 외무부, 산업무역부, 환경부

노르웨이 학술재단

노르웨이 Kvaerner

노르웨이 지역개발 기금

The Central and Eastern Europe Programme

노르웨이 Fridtjof Nansen Institute

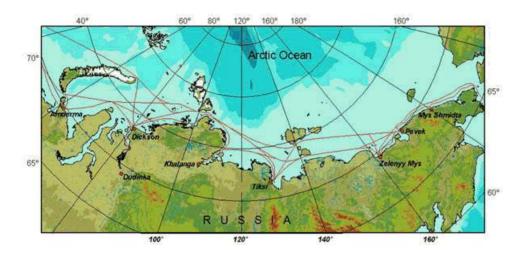
노르웨이 Phillips Petroleum Co.

노르웨이 선주협회

노르웨이 Norsk Hydro

일본 Japan Foundation 일본 Ship & Ocean Foundation

2. 북방항로 (Northern Sea Route)



INSROP 1단계 연구는 1993-1995년에 걸쳐 수행되었는데 이 연구결과는 미국의 L. Brigham 을 비롯한 8인의 과학자로 구성된 평가단에 의해 평가되었고 이후 이 프로그램의 참여기관들은 1997-1998년에 걸친 2단계 연구를 추가로 수행하기로 결정하였다.

INSROP 1단계 연구내용은 다음의 4개 분야로 구분된다.

- 1 Natural Conditions and Ice Navigation
- ②Environmental Factors
- 3 Trade and Commercial Shipping Aspects
- Political, Legal and Strategic Factors

1단계 연구의 결과로 모두 112편의 논문이 발표되었고 (INSROP Symposium Tokyo '95), 이 내용은 Northern Sea Route; Future and Perspective 란 제목의 단행본으로 발간되었다. 이와 함께 National Security and International Environmental in the Arctic - The Case of the Northern Sea Route 제목의 책도 발간되었다.

INSROP 2단계 연구에서는 북극해 항로를 이용하는 몇 가지 가상루트에 대하여 항로 수치 시뮬레이션을 수행하였고 Geographical Information System (GIS) 의 형식으로 디지털 자료를 정리하였다. 그리고 2단계 연구결과를 54편의 논문으로 종합하고 이를 발표하는 학술회의를 1999년 11월 개최하도록계획하고 있다.







3. INSROP 프로그램의 1단계 연구 내용

Sub-programme I: Natural Conditions and Ice Navigation

- 1. Ice navigation and ship technology
- 2. Operational information on natural conditions
- 3. Geographical Information System
- 4. Creation/preparation of data bases on natural conditions along the NSR. Remote sensing.
- 5. Planning and risk assessment
- 6. Forecasting and simulation of natural conditions along the NSR. Ice management.
- 7. Future perspectives.

제 2장 선형설계

제 1절 쇄빙선의 주요요목 특성

선박설계의 주요 치수인 길이, 폭, 흘수에 있어서 쇄빙선은 기존의 선박과는 다른 모습을 보이고 있다. 통상 쇄빙선에서는 중앙 평행부(parallel middle body)를 가지지 않는다. 선박이 얼음 위에 얹힐 때 쉽게 빠져나올 수 있도록 중앙 평행부의 형상이 결정되며, 이는 얼음과 선체 사이의 마찰저항을 줄이기 위한 장치인 물 분사장치(water jet)나 공기 분사장치(air-bubble system)의 부착과도 관련된다. 2knots이하의 저속순항인 경우 이 장치는 마찰저항을 상당부분 감소시켜 준다. 한편 수선(waterline)상부의 flare형상은 주변의 얼음벽이나 빙맥에 걸리지 않도록 수직측벽이나 수직보다 안쪽으로들어오게 제작되어야 한다. 특히 떠내려 오는 빙산을 현측으로 밀어내기 위한 경우 수직측벽은 중요하다.

또한 쇄빙능력을 향상시키기 위하여 수선면 형상은 선수쪽으로 치우치게 되어있으며, 선수 어깨부 뒤편으로는 길이방향으로 약간의 taper를 주어 빙편이 끼지 않도록 하고 있다. 선미부 형상 역시 일반 선박과는 다른 형상을 가지는데, 특히 깨어진 빙편이 propeller와 외판 사이에 끼지 않도록 충분한 공간을 확보하거나 propeller를 duct안에 넣어 보호하고 있다. propeller의 개수나 크기, 선미부 배치방법은 깨어진 빙편이 선미로 유입되는 정도에 따라 결정되는데 보통 2축 내지 3축의 배열로 하며 가변피치 Propeller(CPP)를 사용하는 경우도 있다. Propeller는 큰 동력을 전달하도록 흘수의 제한 이내에서 가능한 크게 선택한다.

주기관 마력과 배수량의 비율은 쇄빙선박의 쇄빙성능과 직접적인 연관이 있는 요목으로 비율이 크면 클수록 쇄빙성능이 좋아지게 되며 비교적 대형선의 경우 1.0 ~ 2.84의 범위에 있다. 쇄빙선의 경우 항로 개척이나 유도 혹은 단독으로 임무를 수행해야 하기 때문에 주기관 마력이 배수량에 비해 월등하게 높아야 한다.

빙해역에서의 전체 저항은 순수하게 얼음을 깨뜨리며 진행하는데 필요한



성분에 정수 중에서의 유체저항을 합쳐서 계산한다. 유체저항 성분은 쇄빙선 및 쇄빙상선에 대하여 개수로 실험과 빙해역 실험에서 큰 차이를 보이지 않 으며 전체 저항에서 작은 부분을 차지할 뿐이다.

한편 빙저항은 편의상 그 쇄빙 메커니즘에 따라 몇 개의 성분으로 구별하여 추정한다. 즉 빙저항은 속도와 무관한 저항성분(직접저항, direct resistance)과 속도와 관련된 저항성분(속도저항, velocity resistance)으로 분리하여 취급하며 이 중 직접저항은 빙판을 깨뜨리는 데 소요되는 저항 (fracture portion)과, 빙편을 물 속에 잠기게 하거나 빙편의 회전, 쇄빙선의 위치변화 및 마찰과 관련된 저항(gravity portion)으로 분리된다. 그리고 속도저항은 깨어진 빙편을 선체 주위로 배제시키는 데 소요되는 저항(inertia portion)을 말한다. 빙저항에 관한 주요한 연구는 1960년 이후에 대부분 발표되었다. 평탄빙에서의 빙저항을 처음으로 성분별로 세심하게 해석한 것은 Kashteljan et al.(1968)로서 그들이 제시한 빙저항식은 다음과 같다.

$$R_{i} = K_{1} \mu_{0} B_{0} h + K_{2} \mu_{0} B_{0} h^{2} + K_{3} B^{K_{4}} h V^{K_{5}} / \eta_{2}$$
(2-1)

여기서 σ = 얼음의 강도(ton/m^2), h = 빙판의 두께(m), B = 선박의 폭(m),

여기서 Kashteljan의 식(2-1)을 사용하는 데는 몇 가지 제한 사항이 있다. 우선 식의 차원이 일치하지 않아서 사용되는 단위계마다 식(2-1)의 상수들이 달라지는 단점이 있고 마찰의 영향이 어느 정도인지도 추정하기 어렵다. 물 론 Shimansky 계수 μ_0 와 η_2 를 통하여 쇄빙선의 선수형상을 고려하고 또한 주요 선체요목을 식(2-2) 속에 포함하고 있기는 하지만 무엇보다도 Kashteljan의 추정식은 쇄빙선 Ermak (폭 21.5m)의 실선 및 모형시험을 통해 결정되었기 때문에 Ermak과 같은 규모 및 형상을 가진 선박 이외에는 잘 맞 는다고 보장할 수 없다.

한편 1960년대 미국 해안경비대에서는 보유한 쇄빙선을 이용하여 빙해역에서 실선시험과 모형시험을 수행하여 많은 실측자료를 확보하였다.

Lewis and Edwards(1970)는 Kashteljan et al.(1968)의 평탄빙 쇄빙현상에 관한 연구를 재검토하면서 다음과 같은 형태로 빙저항 식을 제안하였다.

$$R_{i} = C_{0} \sigma h^{2} + C_{1} \rho_{i} g B h^{2} + C_{2} \rho_{i} B h V^{2}$$
(2-2)

여기서 C_0 C_1 C_2 는 실험적으로 결정되는 계수이다. Lewis and Edwards 는 식(2-2)를 σh^2 로 나누어 무차원화 하였으며 서로 다른 모형시험과 실선 시험에서 얻어진 자료를 비교하기에 적합한 다음 식을 얻었다.

$$R' = C_0 + C_1 B' N_V + C_2 B' N_I$$
 (2-3)

여기서 $R'=R_i/\sigma h^2$ (무차원 평균 빙저항) B'=B/h (무차원 선폭) $N_V=\rho gh/\sigma$ (Volumetric Number) $N_I=\rho_i V^2/\sigma$ (Inertial Number)

본 Lewis and Edwards의 추정식은 실선 계측치와 비교적 양호한 상관관계를 보이고 있는 것으로 판단된다. 하지만 추정식의 경우 전체 저항은 속도의 제곱의 함수이지만 Kashteljan 식이나 실선시험에서의 회귀분석은 속도의 1

차식으로 나타나고 있다.

이상과 같은 방법으로 최근까지의 빙저항 추정식과 이들 추정식 도출의 배경이 된 모형 및 실선시험 자료 등을 정리하면 Table 2-1과 같다.

	빙파괴 저항 (icebrea king)	중력항 (buoyanc y)	속도의존 저항 (momentum change)	비고
Kashte Ijan et al. (1968)	$K_1 \mu_0 B_0$	K_2 μ $_0 B$ ρ	$K_3 rac{1}{{rak n}_2} B^{1.65} V h$	1. Ermak 등 초기 중소형 쇄빙선으로부터 얻은 자료에 의해 계수가 결정되어 근래의 대형 선에는 빙저항이 너무 크다. 2. 방정식이 차원적으로 맞지 않으며 마찰의 영향이 고려되지 않았다.
Lewis and Edwards (1970)	$C_0 \sigma h^2$	$C_{1}p_{i}gB$	${\cal C}_2$ р $_iB$ h V^2	1. USCG의 Wind class 쇄빙선 등의 모형시험 및 실선시험으로부터 통계적으로 산정식을 유도하였다. 2. 빙파괴 저항에서 선폭이 제외되어 있고 마찰의 영향이 고려되지 않았다.
Enkvist (1972) : Wartsila	C_0 o Bh	\mathcal{C}_{1} P $_{\Delta}$ gE	C_2 p $_iBh\ V^2$	1. 해석적인 방법으로 산정식을 유도하였고 계수 결정에 쇄빙선 Moskva class, Finncarrier 및 Jelppari 의 모형시험 및 실선 자료를 이용하였다. 2. 마찰 영향이 계수(C_1 , C_2 , C_3)에 포함되어 있다.
Edwar ds and Lewis (1972)	C_0 o Bh	$C_1 \rho_w gB$	${\cal C}_2$ p " $BW\overline{gh^3}$	1. 이전 식과는 달리 빙파괴 저항에 선박의 폭이 포함되었다. 2. 속도의존 저항성분이 다른 식과 판이하게 다르다. 두께(h)의 지수가 3/2이고 선속(V)에 는 1승을 사용했다.
Levine et al. (1974)		Bh^2 p $_{\Delta}$ g ϕ	Bh^2 р $_{\Delta}$ g $C_{_{ m I}}$ $C_{_{ m V}}$	1. 60,000 DWT Bulk Carrier에 대해 실선시 험을 수행하였다. 2. 선수각이 80° 이상일 경우 모형시험자체에 적용이 불가하다.
Vance (1975)	C_0 o Bh	$C_{1} \rho_{w} g B$	C_{2} p $_{i}V^{2}Lh^{0.65}$	1. 각 계수들에는 마찰이 포함되어 있지만 경 험적으로 계수를 구할 수 없다. 2. 적설의 영향이 고려되어 있지 않고 broken channel 에서의 저항 산정이 어렵다.
Baker and Nishizaki (1986)	0.00008	0.5517 <i>h</i>	0 . 1525 vh	1. MV Arctic 의 새로운 선수형상에 대해 모 형시험 수행 2. 실선시험과 모형시험이 거의 일치하지 않 았다.
Zahn et al. (1987)		C_{1} P " gh	C_{2} P $_wV^2L^{3}/h$	1. 예인/보급선인 Mobile Bay의 실선시험 수행 2. 17차례의 실선시험 결과 최적의 무차원계 수를 찾아냈다. 3. 연속쇄빙가능한 빙두께 제한으로 쇄빙상선 적용 불가



er and Jones	$C_0S_{\Lambda^0}^{s}$ $S_N:$ 무차원 강도계수	$C_1 \rho_{\Delta} g h$	F_h : 빙두께를 길이 차원으로	1. 캐나다 R class 쇄빙선에 적용 2. 마찰저항의 정도에 따라 두 가지 모델 3. 모형선에만 적용되는 식으로 상사법칙에 따라 실선에 확장 가능하다 (유체저항 처리와 유사).
-----------------	---	-------------------------	-------------------------	--

Table 2-1 Various ice resistance estimation formulas

제 2절 선수형상(Bow Geometry) 특성

쇄빙선의 설계에서 첫째로 고려해야 할 사항은 빙판을 깨며 진행할 때 소요되는 출력이 작은 선형을 찾아야 하는 것이며, 부차적으로는 개수면(Open sea)상에서 소요되는 출력이 작고, 선박의 조종성능과 빙편의 제거가 쉽고, propeller와 외판의 손상이 일어나지 않는 선형을 찾는 것이다.

쇄빙선의 쇄빙능력을 좌우하는 여러 설계인자 중 선수부의 형상이 가장 중 요한 것으로 알려져 있다. 선수부 형상은 실제로 얼음을 파괴시키는 쇄빙효 율에 직접적으로 영향을 줄 뿐 만 아니라 설치될 추진기관의 출력과도 밀접 하게 연관된다.

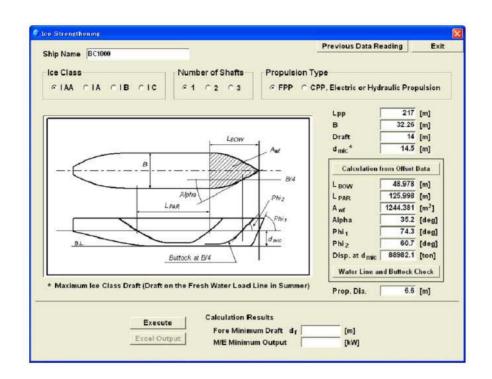
제3장. 기본계산 및 성능 추정

제1절 유체정역학적 특성계산

유체정역학적 특성 계산은 조선대에서 개발한 "Ice Breaker Design Master" 프로그램을 사용하였다. 북 발트해에서 겨울이나 빙하상태와 유사한 지역을 운항하는 배들은 Ice strengthening requirement를 만족시키도록 건조해야한다.

이 프로그램에서는 fore minimum draft와 main engine minimum output을 계산할 수 있다.

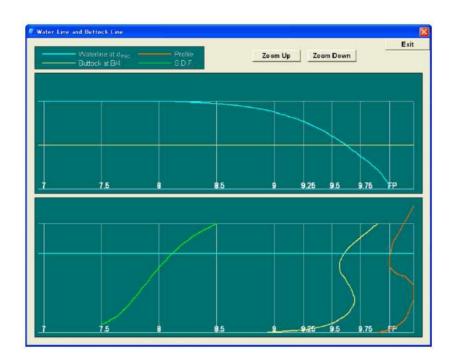
첫 번째, offset data를 만들어야한다. 배의 길이, 폭 그리고 설계 흘수는 자동으로 보여준다. Ice Class, Shaft의 수 그리고 추진방식을 선택해야 한다. 그리고 하기 청수 적제선상에서의 "최대 Ice Class 흘수"를 입력해야한다.



Offset data로부터 data 들이 계산되었다면,

"Water Line and Buttock Check" 를 눌러 d에서의 waterline

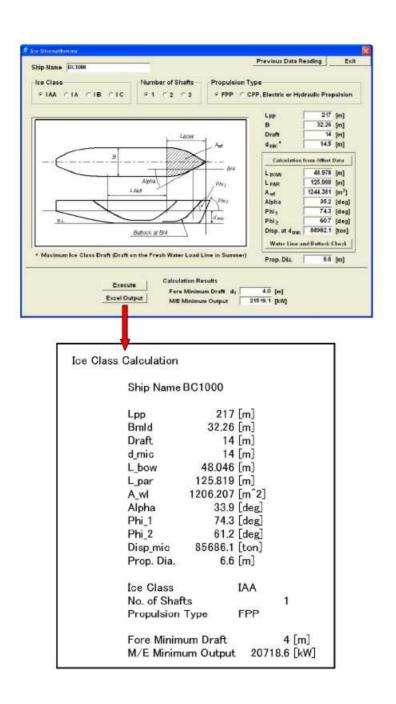
- 그리고 B/4에서의 buttock line을 그릴 수 있다.
- 그리고 각 선들의 Fairing 여부를 확인할 수 있다.



Buttock line은 각 waterline의 spline 보간법에 의해 생성된다. 만약 Offset data의 fairing이 완벽하지 않다면, Bottock line은 매끄럽지 않게 보이게 될 것이다. 이 경우 Offset data와 입력한 값들을 확인해야한다.

모든 입력 data를 정확하게 입력되었다면, "Execute"를 눌러 Ice Class 계산을 수행할 수 있다. 한차례 계산을 수행했을 때 입력 data는 저장된다. 이전 입력 data는 " Previous Data Reading"을 눌러 불러들일 수 있다.

Input 및 Output 예는 다음과 같다.



제 2절 Database와 File folder

선박의 기본 설계를 하기 위해서는 먼저 주요요목(main particulars)과 개 략적인 일반배치를 결정할 필요가 있다. 설계조건 중 주요한 factor를 살펴 보면, 선박의 종류, 선급(Classification society) 및 국적(Flag), 재화중량 (Deadweight) 및 화물창 용적(Cargo capacity), Cargo 종류 및 비중, 흘수 (Draught), port restriction, main engine의 종류 및 마력, 항해속력 및 sea margin, 항속 거리(Endurance), 하역장치, 승무원(Complements), 납기 (Delivery) 등이 있을 수 있다, 이러한 설계조건은 통상 선주가 지정을 하며 간단하게는 선박의 종류 재화중량, 화물창용적, 흘수 및 항해속력을 지정해 주는 것이 보통이다. 이 경우 조선소에서 선주의 요구조건에 부합하는 선박 을 새롭게 설계하거나 조선소가 건조한 유사 실적선(Built ships)이나 표준 선(Standard ship)을 이용하여 견적을 하게 된다. 따라서 새로운 배를 Design 시 표준선을 계획하는 경우, 그 선박이 많은 선주로부터 받아들여질 수 있는 선박이 될 수 있도록 충분히 검토하여 설계를 하여야 할 것이다. 이 때 선박의 쓰임새가 광범위하면서도 선주의 요구에 충분히 영합해야 하며 선 박의 전체적인 사양이 일반적인 수준을 유지하면서도 선가측면에서의 경쟁력 도 가질 수 있도록 해야 한다.

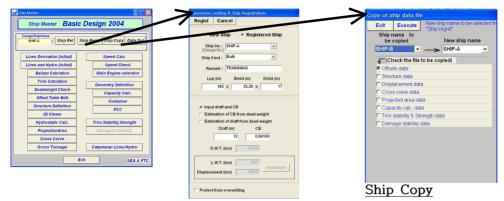
본 프로그램을 이용하여 Design 시 사용되는 표준선 데이터(이 프로그램에 서는 Type ship이라 명명함)를 보관하는 Database를 만들 수 있도록 되어 있다.

또한 Main dimension을 결정할 때 쓰이는 실적 Data를 이용하여 만드는 통계도표 역시 Database를 통하여 쉽게 찾을 수 있다.

본 프로그램을 이용하여 Design 한 file을 보관하는 곳은 File folder이다.



Ship Regist & Copy 제 3절

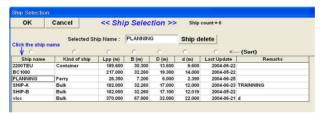


Ship Regist

Design ship의 주요 요목을 입력한다. 기존에 Ship Master를 이용 1) draft와 Cb 2)draft와 D.W.T로부터 Cb를 추정 3)D.W.T와 Cb로부터 draft를 추정 3가지중 택하여 입력한다.

하여 Design한 배의 data를 copy하여 Design하는 방법

Ship Selection



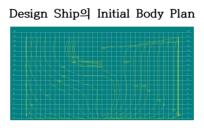
1. Lines Derivation(Initial)

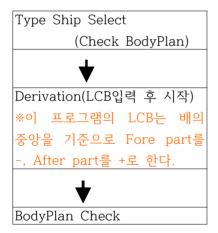
Type ship을 선정하여 Design ship의 Initial Body Plan을 생성한다. 이때 아래의 순서를 참조하고 Type ship 선정 시 Type ship의 Depth는 Design ship의 Depth보다 작아야 한다는 점을 주의한다.

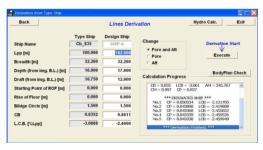












2. Lines and Hydro (Initial)

Type ship으로부터 생성된 data를 기본으로 하여 Body Plan을 확인하고 수정한다.

Waterline을 확인하고 수정한다.

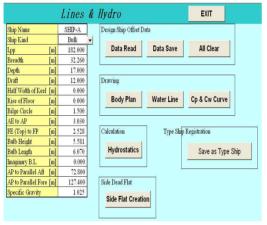
Cp&Cw Curve를 확인하고 수정이 필요하다면 Offset에서 수정한다. Hvdrostatics를 계산하고 저장한다.

Type ship 생성의 경우 앞서 했던 Lines Derivation 단계를 건너뛰고 Lines & Hydro에서 시작한다.

이 경우 Offset과 Profile이 존재하지 않으므로 이를 입력해야한다.

이때 Water line의 간격은 임으로 정할 수 있으며 Station 간격 또한 그러하다.

이후 과정은 Design ship과 동일하지만 저장의 경우 Save as Type ship으로 한다.



Calculation

Hydrostatics data 및 Graph를 보여준다.

Type Ship Registration

Design ship의 data를 Type Ship으로 저장

Side Dead Flat

Side Flat data를 생성한다.

Design Ship Offset Data

Data Read : Offset 불러 오기 Data Save : Offset 및 계 산 결과 저장 All Clear : data 지우기

Drawing

Body plan : 정면도 Water line : 측면도, 반폭 도 Cp&CW Curve : CP와 Cw 곡선



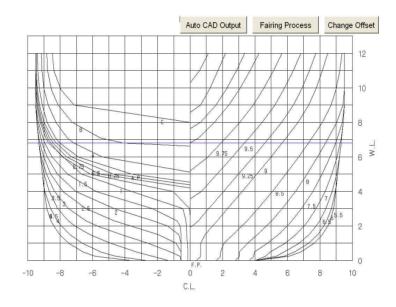
① Body plan

Design ship의 Body Plan check.

수정 : 1. 많은 수정을 가할 경우 Auto CAD Output을 이용하여 Auto CAD에 불러들인 이를 그 값을 offset에 입력하여 수정한다.

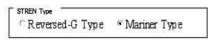
2.약간 수정을 할 경우에는 그림 상에서 수정이 가능하다.

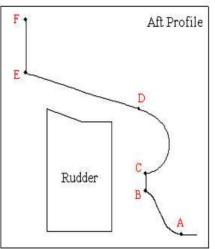
수정이 후 Change Offset으로 Offset을 수정한다.



	Aft Prof	file
No.	From A.P.	From B.L.
A	9.500	0.000
В	7.240	2.407
C	7.125	2.530
D	4.150	4.192
E	-8.800	8.000
F	-8.800	9.900
A t	o B (withou	A and B)
No.	From A.P.	From B.L.
1		
2		
3		
4		
5	0.0.0.0.0.0.0.0.0	0.0.0.0.0.0.0.0.0
6		
7		
8	100000	
9		
10		
	D (withou	(Cand D)
No.	From A.P.	From B.L.
1		
2		
3		
4	3333333	8.8.8.8.8.8.8.8.
)		
6		
7		
8		
9		
10		

	Fore Pro	file
No.	From F.P.	From B.L
.1	-7.800	0.000
2	-7.800	0.500
3	-7.800	1.500
4	-7.069	2.000
5	-6.624	2.300
6	-5.596	3.000
7	-4.127	4.000
8	-2.566	5.000
9	-1.194	6.000
10	-0.021	6.800
11	0.418	7.100
12	1.736	8.000
13	3.200	9.000
14	3,459	9.900
15	3.762	12.000
16	\$0.000.00	600000
17		?
18		
19		
20		
21		
22	***************************************)
23		
24	(222222	(333333
25		
26		
27		
28		
29		
30		2.0.0.0.0.0.0





24333	Fore Pro	CONTRACTOR OF THE PARTY OF THE
Cu	ve Start &	End No.
No.	Start	End
1	1	1
2	1	10

A to B Curve
B to C Straight Line
C to D Curve
D to E Straight Line
E to F Straight Line

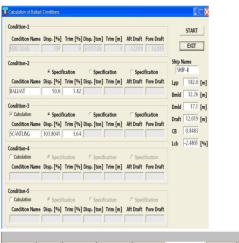
		Offset Table FOREBODY														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.25	9.5	9.75	10	1.88	2,566	3.563
1	BTM.H1	ulavarana (ZeWeWeWeWeW	:VoMoMoMoMeMesey	www.ward	Vest est est est est est	/ swa Wawawa w		rowe Model of the		Newsysway	- Walland and a second	varavavava i	silfa Malifa Malifa Me
2	BTM.H2				ewalewaya P	WOMENSWAY WAS DO	l		ene wewene w				sv-sr-sv-sv-sv-sv		v.u.v.v.v.v.	
3	BTM.H3									1.959	3.576	5.194	6.814	7.625	8.567	10.292
1	0	4.000	4.000	4.000	4.000	3.671	2.800	1.619	0.407		CONTROL CONTROL CONTROL		Westerness to		v-u-u-u-u-u-u	Wellelfelfelfelfe
2	0.25	6.091	5.790	5.300	4.660	3.921	3.050	1.869	0.657		CWANE WENTER		us us us us us us		v-w-v-v-v-v	Westerleitens
3	0.5	6.813	6.432	5.788	4.933	3.954	3.050	1.869	0.657	eururururur .	CHARLEST AND AND A		erangungan un	-www.wew	v-v-v-v-v-v	
4	1	7.655	7.324	6.733	5.882	4.781	3.557	2.092	0.657	estastastastas s	CHARLESVERA RES		Ur Ur Ur Ur Ur U	-10-10-10-10-10-1	V-U-U-V-V-V-U	Westerless wester
5	1.5	8.156	7.864	7.326	6.517	5.439	4.153	2.649	0.927							
6	2	8.481	8.235	7.762	7.010	5.979	4.703	3.194	1.388	0.150	CHIA WEWENANGS		szeszeszeszeszesz		V-10-10-10-10-10-10-10-10-10-10-10-10-10-	
7	2.3	8.619	8.406	7.975	7.264	6.268	5.013	3.506	1.665	0.498			U-W-U-U-W-W-W		V-10-10-10-10-10-10	
8	3	8.833	8.701	8.371	7.767	6.869	5.676	4.189	2.308	1.145	CHANGUEN AND		uzuzuzuzuzu	-10-10-10-10-10-1	v-u-v-v-u-u-u	
9	4	8.978	8.954	8.764	8.318	7.565	6.496	5.074	3.219	2.070	0.690				v movovom vol	
10	5	9.094	9.094	9.025	8.731	8.135	7.210	5.902	4.115	2.986	1.660					
11	6	9.210	9.210	9.201	9.045	8.624	7.862	6.690	4.991	3.893	2.605	1.096	57 - 52 - 57 - 57 - 57 - 57		v-w-w-w-w-	
12	6.8	9.303	9.303	9.303	9.242	8.968	8.350	7.292	5.670	4.608	3.348	1.896			v-w-v-v-w-w-	NAME AND ADDRESS OF THE PARTY.
13	7.1	9.338	9.338	9.338	9.302	9.080	8.526	7.512	5.918	4.871	3.624	2.194	0.536		varavavaras	SECULAR SECULAR
14	8	9.442	9.442	9.442	9.442	9.376	9.034	8.152	6.640	5.636	4.435	3.053	1.500	0.627	v-u-v-v-u-u-i	MANAGEMANIANA
15	9	9.500	9.500	9.500	9.500	9.500	9.418	8.699	7.316	6.371	5.234	3.907	2.405	1.606	0.645	
16	9,9	9.500	9.500	9.500	9.500	9.500	9.500	8.990	7.739	6.854	5.778	4.509	3.045	2.233	1.183	SKONOVOKANOVO
17	11	9.500	9.500	9.500	9.500	9.500	9.500	9.236	8.163	7.360	6.359	5.152	3.697	2.859	1.724	0.594
18	12	9.500	9.500	9.500	9.500	9.500	9.500	9.364	8.469	7.744	6.814	5.667	4.238	3.370	2.190	1.122



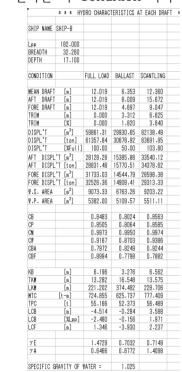
3. Calculation of Ballast Condition

Ballast Condition 계산은 각 Condition 마다의 수치를 입력하여 계산한다. 현재 Design 하고 있는 배의 Ballast를 Displacement의 50%, Trim을 1.82% 로 하였고, Scantling을 Displacement의 103.8041%, Trim을 3.4%로 하여 계산 하였다.

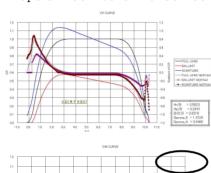
아래쪽에 나와 있는 계산결과를 보면 Ballast, Scantling 그리고 Full Load 상태를 비교 할 수 있다.

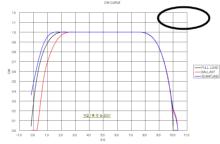


원하는 각 Condition 마다의 data를 입력



< Cp&Cw Curves of Ballast Conditions>



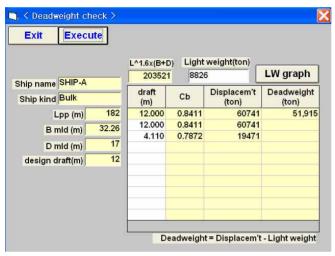


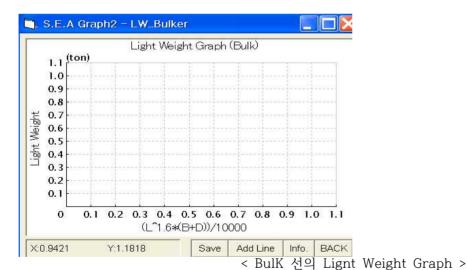


4. Deadweight Check

재화중량에 대한 확인이다.

L^1.6*(B+D)계수를 계산하여 LW graph에서 Light weight를 찾아 Deadweight를 구한다.Ship-A의 경우 계수는 20351이고 이를 이용하여 찾아낸 Light weight는 8826(ton)이다.이 후 Excute를 통해 각각의 Deadweight를 찾은 이후 Save 한다.





- 63 -

5. Offset Table Edit

이 단계에서는 Offset을 최종 확인하는 작업을 한다.

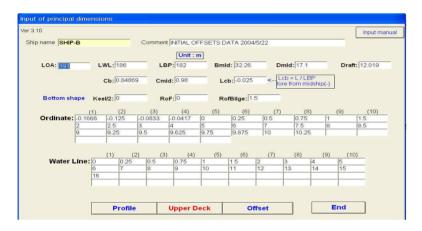
LOA, LWL 그리고 R of Bilge를 입력한다.

Upper Deck에서 Sheer와 camber를 입력한 뒤 Offset에서 Body Plan을 확인한다.

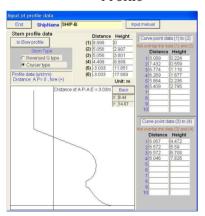
Profile 확인을 마지막으로 이 단계는 종료된다.

Design ship의 LOA가 191m 이고, LWL은 186, R of Bilge는 1.5로 입력하였다.

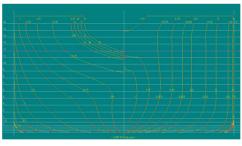
Sheer의 경우 0로 하였으며 Camber역시 0으로 하였다. Offset에서 Body Plan을 확인한 후 Profile 역시 확인하였다.



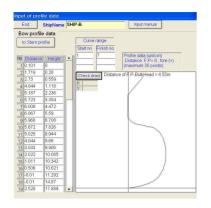
< Profile >

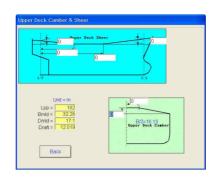


< Offset & Body Plan >





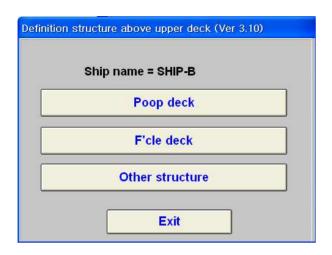


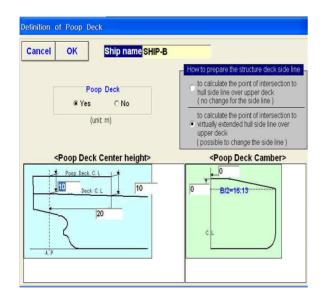


<UpperDeck>

6. Structure Definition

상부 구조물을 생성하는 단계이다.





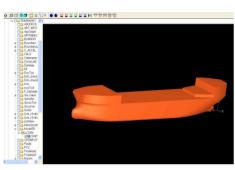
Poop Deck & F'CLE deck 생성하고자 하는 deck의 치수를 기입한다

7. 3D Viewer



앞 단계에서 Design한 배를 3D로 보여준다.

3D 상에서 오류가 보일 경우 Offset 을 수정한다.

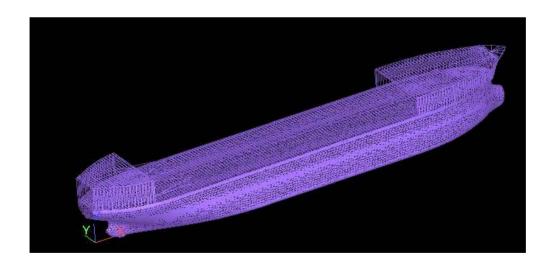


Poop Deck

Structure Definition에서 Design한 Poop Deck를 3D로 보여준다 F'CLE Deck

Structure Definition에서 Design한 F 'CLE Deck를 3D로 보여준다 Other Structure

Structure Definition에서 Design한 Other structure를 3D로 보여준다





8. Hydrostatics Calculation



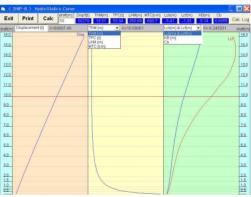
Hydrostatics calculation 이후 마지막 으로 하는 계산이다.

파란색으로 나타나있는 Rudder, Propeller 그리고 Calculation Range는 자동으로 생성이 되지만 Shell과 Keel의 두께는 그렇지 않으므로 수치 입력이 필요로 한다.

또한 자동으로 생성되어있는 수치들 역 시 필요에 따라 수정이 가능하다.

Execute 버튼을 눌러 Hydrostatics 계 산을 하고나면 아래와 같은 Graph를 볼 수 있다.

Hydrostatics Curve 구하고자하는 draft를 입력하면 그 draft의 Hydrostatics 수치를 볼 수 있다.



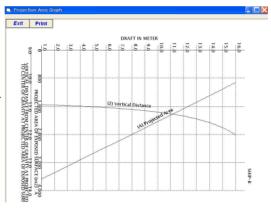
9. Projection Area



각각의 흘수마다의 종 방향 G의 위치와 Projection Area를 알 수 있다.

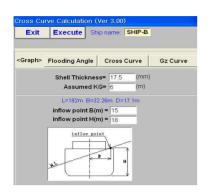
- 이 단계의 경우 Area는 앞 단계에서 계산한 결과를 바탕으로 자동으로 생성이 된다.
- B.L으로부터의 G의 거리 또한 Execute를 눌려 자동으로 생성한다.

가로축은 흘수를, 세로축은 배 표 면의 Projected Area를 타낸다.





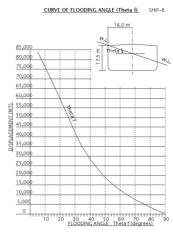
10. Cross Curve

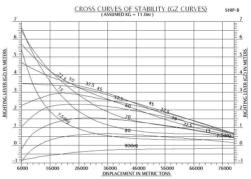


배의 복원성과 관련한 계산이 다.

Inflow point를 입력하여 계산 한다.

전체적인 GZ Curve를 보여주며 각 흘수 마다, 각 배수량마다 의 GZ Curve도 보여준다.

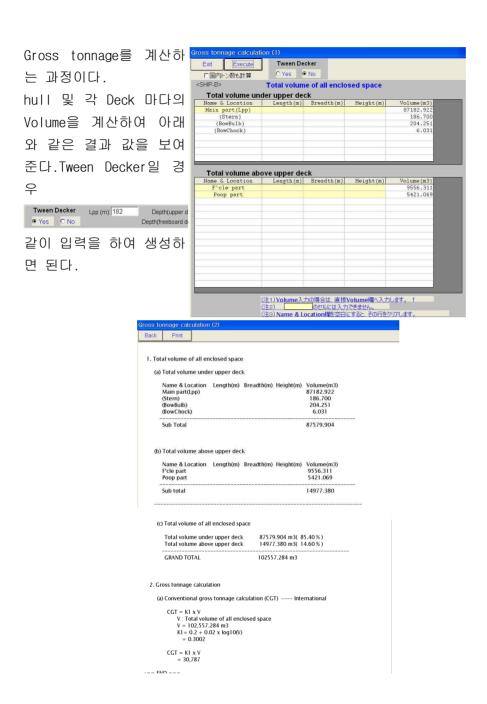




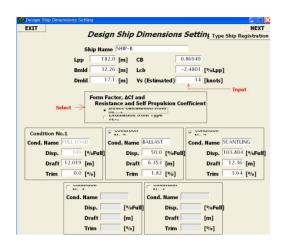


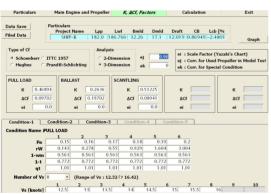


11. Gross tonnage



12. Speed Calculation





① Design Speed를 입력하고 계산 하고자하는 Conditions을 입력한 다.옆의 그림의 경우 앞서 Balast 계산시행하였던 3가지 Condition 을 입력하였다.

대형선의 경우 두 번째인 Type ship쪽을 선택하고 소형, 중형선의 경우 Chart 쪽을 선택한다. Chart의 경우 Database에 있는 배들을 기준으로 계산결과가 나오므로 Design ship이 대형선인 경우맞지 않는 경우가 많기 때문이다.

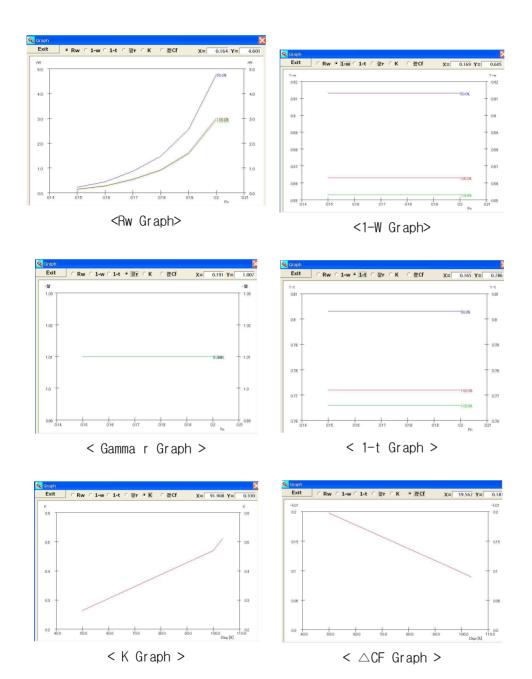
② 첫 번째로 Chart를 선택했을 경우이다.

EngineData와 Propeller Data를 입력한다.

Propeller에 대한 data가 없을 경 우 Engine data만 입력한다.

Engine의 M.C.R power와 r.p.m을 입력한다.

③ 각 Condition의 속도에 따른 Graph를 보여준다.





IDENTIFICATION: SHIP: FULL LOAD (100.0%)

SHIP-A LENGTH PP PROJECT 182,000 (m) SHIP MODEL No. LENGTH WL 186.766 (m) LPP 6.000 (m) BREADTH 32.260 (m) SCALE FACTOR 30.33 DEPTH 17.000 (m)

DRAFT FWD 12.000 (m)

DRAFT MID 12.000 (m)

PROPELLER: 12 000 (m) DRAFT AFT

FT AFT 12.000 (m)
WETTED S.A. 9405.3 (m2)
DISPLACEMENT 60739.3 (m3) NUM. OF PROP. NUM. OF BLADES 4 MAU CB 0.8621
Al-Ni-BC L.C.B. (%Lpp) -2.462
6.450 (m) SHAFT CENTER HEIGHT 3.290 (m) BLADE SECTION MAU OPTIMUM DIA. 6 450

DESIGN POINT 6620kW(9000ps)*1 FRICTION COEFFICIENT CF: 100.0 + 3.0 rpm SCHOENHERR

ACTUAL DIA. 6.400 (m) SALT WATER E. A. R. 0.410 3-DIMENSIONAL AV L. A. R. 0.410 3-DIMENSIONAL ANALYSIS PITCH RATIO 0.656 FORM FACTOR

SHIP MODEL:

Fn Rn(E+6) Cf(E-3) rW(E-3) 1-T 1-WM ETA R 0.150 6.301 3.167 0.144 0.776 0.570 1.010 0.160 6.721 3.132 0.280 0.776 0.570 1.010 0.170 7.141 3.101 0.554 0.776 0.570 1.010 0.180 7.561 3.071 0.935 0.776 0.570 1.010 0.190 7.981 3.044 1.615 0.776 0.570 1.010 0.200 8.401 3.018 3.024 0.776 0.570 1.010

SPEED ESTIMATION:

DHP/BHP = 0.970 DCF = 0.097 E-3 ei = 1.158 ej = 0.960

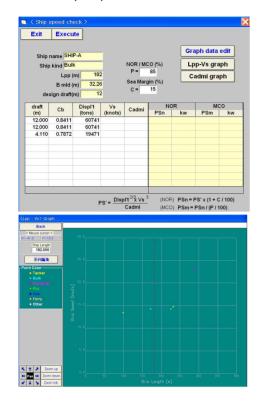
Vs Fn Rn(E+9)Cf(E-3) E H P B H P N Cadm knots kW ps kW ps rp m 12.50 0.150 1.011 1.529 3017 (4102) 4432 (6026) 90.4 509.1 13.00 0.156 1.051 1.522 3409 (4635) 5011 (6813) 94.1 506.5 13.50 0.162 1.091 1.515 3865 (5256) 5697 (7746) 98.1 499.0 14.00 0.168 1.132 1.508 4393 (5972) 6502 (8841) 102.4 487.6 14.50 0.174 1.172 1.502 4987 (6781) 7419 (10087) 106.8 474.8 15.00 0.180 1.213 1.495 5690 (7736) 8523 (11589) 111.5 457.5 15.50 0.186 1.253 1.490 6535 (8886) 9889 (13445) 116.9 435.1 16.00 0.192 1.294 1.484 7672 (10431) 11773 (16007) 123.0 401.9

Vs(kts) ETA ETA P ETA H 1-WS J KT(E-1)KQ(E-2) T(t) Q(t-m) 12.50 0.681 0.568 1.224 0.634 0.423 1.549 1.836 61.65 46.79 13.00 0.680 0.567 1.224 0.634 0.422 1.552 1.839 67.00 50.80 13.50 0.679 0.566 1.224 0.634 0.421 1.559 1.845 73.14 55.40 14.00 0.676 0.563 1.224 0.634 0.418 1.569 1.854 80.15 60.60 14.50 0.672 0.560 1.224 0.634 0.415 1.581 1.864 87.86 66.31 15.00 0.668 0.557 1.224 0.634 0.411 1.598 1.879 96.90 72.91 15.50 0.661 0.551 1.224 0.634 0.405 1.616 1.892 107.71 80.70 16.00 0.652 0.544 1.224 0.634 0.398 1.661 1.935 122.49 91.31

B H P Vs Fn RATE OF REVS. 6620kW (9000ps) 14.07kts 0.169 102.9rpm 5627kW (7650ps) 13.45kts 0.162 97.7rpm MCR NOR SM(15.0) 4893kW (6652ps) 12.90kts 0.155



13. Ship Speed check



마지막으로 Design ship의 Speed를 check하는 단계이다. 모든 계수가 자동으로 입력되어있으 면 아래의 Graph를 생성하여 비교하는 단계이다.



제4장 결 론

- 1. Reamer 부착 시 일반해역에서 저항이 Type 1은 약 5.5%, Type 2 약 8.7% 증가하였다. 수선면과 Buttock line이 닿는 각이 작은 Type 1이 Type 2보다 저항성능면에서 더 우수하였다.
- 2. 6,950톤급 연구용 쇄빙선에 대한 선체고유진동 및 강제진동해석을 선박 전체를 3차원 유한요소로 모델링하여 만재하중 및 90% 소모하중 조건에서 ANSYS 프로그램을 이용하여 수행하였다.

만재하중조건에서는 매우 양호하나, 90% 소모하중조건에서 거주구, 선체 선미부의 탱크격벽, Radar Mast 최상층 부 및 연돌에서 공진 가능성이 파악되었다.

이에 보강재 추가설치 및 보강재 치수를 증대하여 재해석을 하고 또한 "ISO 6594-2000" 기준값과 비교/검토 한바 해석결과의 응답수준은 양호하였다.

따라서 6,950 톤급 연구용 쇄빙선의 진동문제는 발생하지 않을 것으로 예상된 다.



부 록 1. 저항성능개선 부가물 시험



부 록 목 차

목 차	 62
그림 목록	 63
표 목록	 64
1. Reamer 소개	 65
2. Reamer 설계	 66
3. 모형시험	68



그림 목록

Fig. 1 Definition of ice parameter	66
Fig. 2 Reamer type 1	67
Fig. 3 Reamer type 2	67
Fig. 4 Reamer 1 와 Reamer 2 형상비교	67
Fig. 5 Reamer Type 1을 부착한 모형선	68
Fig. 6 Reamer Type 2을 부착한 모형선	69
Fig. 7 잉여저항 비교곡선	72
Fig. 8 유효마력 비교곡선	72



표 목록

표.	1	속도	및	유효마력	비교표	(d =	6.8m	,	단위:KW)	71
丑.	2	속도	및	유효마력	비교표	(d =	7.3m	,	단위:KW)	71

1. Reamer 소개

- 리머의 궁극적 활용 목적
 - · 빙 저항 감소
 - ㆍ빙 해역에서의 조정성능 개선
 - 프로펠러로 유입되는 얇은 층의 얼음의 진입로 변경
- 리머의 설계 시 고려할 점
 - · 리머는 수직으로 되어 있으면 안 되고 최소 7도의 경사를 가지도록 설계해야 함.
 - · 리머의 선수 선미부의 Chine은 일반해역에서 저항을 감소시키도록 라운 드타입으로 설계되어야 함.
- 일반해역(Open Sea)과 빙 해역(Ice Sea)에서 리머의 특징
 - · 일반해역(Open Sea)
 - · 선박의 저항을 증가시킴(약 10% 저항 증가)
 - · 선박의 운동 성능면에서 Damping 효과를 줌
- 빙 해역(Ice Sea)
 - ㆍ빙 저항 감소
 - · 얼음으로 에워싸일 때 선체의 압력을 감소시킴
 - · 개수로 확보
 - · 얼음 속에서 효과적으로 회전 가능
 - · 얇은 층의 얼음 속에서 발생하는 Ramming에 의한 충격으로부터 쐐기 모 양의 선체보호.

2. 리머의 설계

빙 저항은 breaking, clearing, buoyancy 저항으로 나눌 수 있고 유빙이 있는 해역에서 운항하는 내빙 탱커선 경우는 자체적으로 쇄빙을 하지 않으므로 breaking 저항을 고려하지 않아도 된다.

빙저항은 선박 폭의 1/4 위치에서의 water line 각(α 각, Fig.1)에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있으며 선수부의 설계흘수에서의 water line 폭을 감소시키거나 FP 위치를 선수 끝 단 쪽으로 이동하여 α 각을 감소시키려는 시도가 있었다.

FMA1 의 주기관 마력 계산식에서도 ICE 1A 급 선박에 대한 계산은 α 각이 계산 결과에 가장 영향이 큰 변수로 사용된다. 선수부의 water line 형상을 바꾸어 α 각을 감소시키는 설계는 유빙이 선체와 맞닿게 되는 DLWL 상하 1~2m 에서만 수정이 이루지 기 때문에 기본 선형의 변경을 최소화 할 수 있는 장점이 있다.

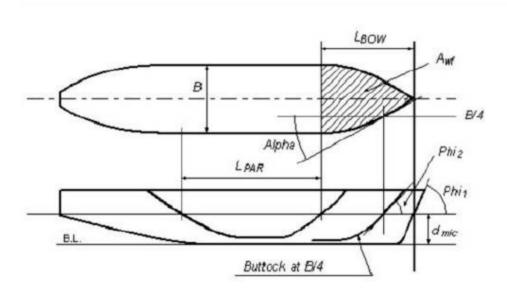
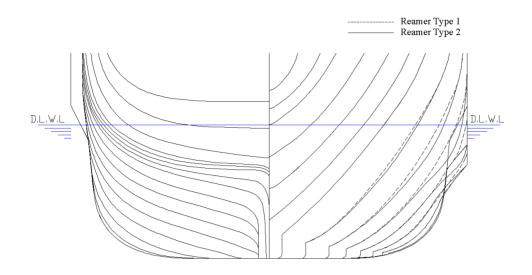


Fig. 1 Definition of ice parameter





본 연구에서 리머의 형상은 기본선형의 선수부에서 Buttock line 와 Water line을 수정한 선형으로 아래의 그림과 같다.

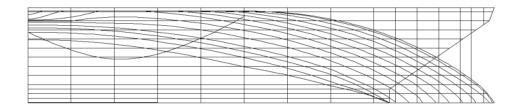


Fig. 2 Reamer type 1

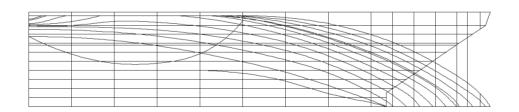


Fig. 3 Reamer type 2

Fig. 4 Reamer 1 와 Reamer 2 형상비교



3. 모형 시험

3.1 모형선

모형선은 폴리 우레탄 수지(Poly Urethane Foam)를 사용하여 축척비 1/63.33 으로 제작하였다. 제작된 모형선은 Fig. 5 ~6에 수록되었다.

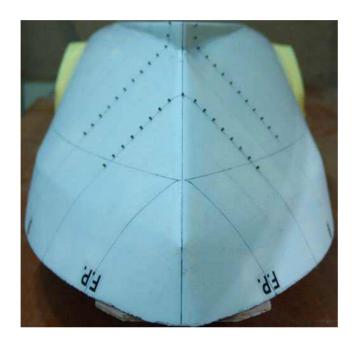




Fig. 5 Reamer Type 1을 부착한 모형선

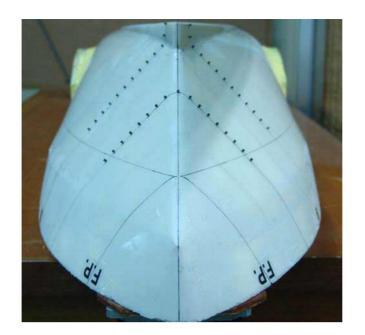




Fig. 6 Reamer Type 2을 부착한 모형선

3.2 모형시험

모형시험은 본 조선대학교가 보유하고 있는 회류수조에서 수행하였다. 모형 시험중의 한장면은 Fig. 9에 수록하였다.

3.3 모형시험결과해석

저항시험은 만재상태에서 수행되었으며, 그 결과들은 ITTC '78 해석법에 의하여 해석되었고, 각 계수들은 다음의 식을 사용하였다.

실선의 전저항계수는 다음과 같다.

 $C_{TS} = (1 + K) \cdot C_{FS} + C_W + \Delta C_F + C_{AA}$

형상영향 계수 K와 조파저항계수 Cw는 각각 모형선과 실선에서의 값이 같다고 보았다.

마찰저항계수 ΔC=는 모형선-실선 상관수정계수로 다음과 같다.

 $\Delta C_F = [105 \cdot (K_S/L_S)1/3 - 0.64] \cdot 10^{-3}$

Ks는 선체표면 거칠기로서 150×10⁻⁶m를 사용하였다.

CAA는 공기저항계수로 다음과 같다.

 $C_{AA} = 0.001 \cdot (A_{TS}/S_S)$

저항시험 해석 결과는 표1와 표2에 수록되었으며, 저항시험 해석 결과로 부터 계산된 잉여저항 및 유효마력 곡선은 Fig. 7와 Fig. 8에 수록되었다.

표. 1 속도 및 유효마력 비교표 (d = 6.8m , 단위:KW)

속도	Bare hull	with Reamer Type1	with Reamer Type2
ユ	EHP	EHP	EHP
9Knots	427	479 (12%)	467 (9%)
10Knots	597	610 (2%)	670 (12%)
11Knots	836	969(16%)	1006 (20%)
12Knots	1136	1233 (8%)	1282 (12%)
13.5Knots	1754	1850 (5%)	1900 (8%)

표. 2 속도 및 유효마력 비교표 (d = 7.3m , 단위:KW)

속도	Bare hull EHP	with Reamer Type1 EHP	with Reamer Type2 EHP
9Knots	449	503 (12%)	526 (17%)
10Knots	609	671 (2%)	737 (21%)
11Knots	862	1022 (18%)	1053 (22%)
12Knots	1222	1280 (4%)	1438 (17%)
13.5Knots	1874	1926 (2%)	2455 (30%)

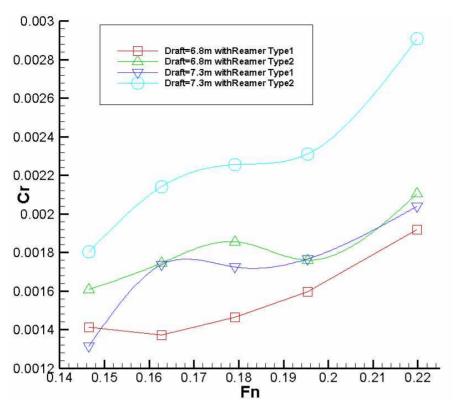


Fig. 7 잉여저항 비교곡선

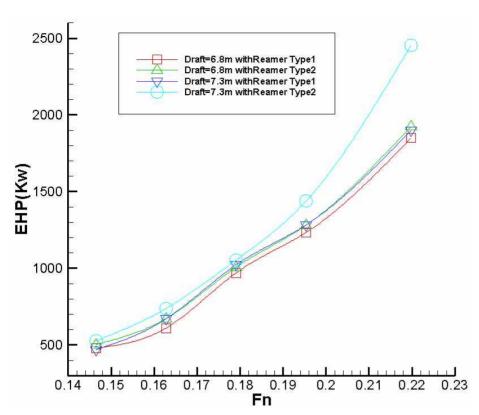


Fig. 8 유효마력 비교곡선







Fig. 9 WAVE PATTERN AT DRAFT 6.8m with Reamer Type 1 (9 KNOT)



부 록 2. 진동해석

목 차

1. 개요
1.1 일반 79
1.2 목적 79
1.3 단위 79
1.4 선박 제원 79
2. 선체 진동 해석 79
2.1 기진력 79
2.1.1 프로펠러에 의한 기진력 79
2.1.2 주기관에 의한 기진력 79
2.2 진동해석 모델 7
2.2.1 해석 모델 80
2.2.2 감쇠 계수 80
2.2.3 재료특성 80
2.3 해석 결과 8
2.3.1 자유진동 80
2.3.2 강제진동 81
3. 거주구 갑판 진동해석 81
3.1 고유진동수 계산 81
3.2 강제 진동 계산 81
4. 국부진동해석 81
4.1 선미 및 기관실 81
4.1.1 입력자료 81
4.1.2 계산결과 81
4.1.3 방진대책 81
4.2 Radar Mast 81
4.2.1 해석모델 및 해석결과 81
4.2.2 고유진동수 계산 81



4.2.3 방진대책		81
4.3 연돌 (Funnel)	82
4.3.1 해석모델	및 해석결과	82
4 3 2 방진대책		82



표 목차

표1.1 선박제원
표2.1 프로펠러 기진력 입력자료82
표2.2 주기관 사양
표2.3 재료특성
표2.4 선체 고유진동수 [Hz]83
표2.5 선체강제진동해석 (Full Load Condition) 83
표2.6 선체강제진동해석 (90% Consumed Load Condition) 84
표3.1 갑판의 고유진동수 84
표3.2 갑판 보강재의 고유진동수 85
표3.3 갑판 보강판재(Grillage)의 고유진동수 85
표3.4 거주구 강제 진동계산 결과 86
표4.1 해석입력자료 : Shell Fr. 0~8, 1200 & 3500 off C.L 87
표4.2 해석입력자료 : Shell Fr. 2~12, D.W.T.(P/S) 87
표4.3 해석입력자료 : Transverse BHD, Fr.1, A.P.T.(P/S) 88
표4.4 해석입력자료 : Longitudinal Wall of D.W.T. (P/S), Fr. 1 $^{\sim}$ 12, 3500
off C.L. 89
표4.5 해석입력자료 : Floors Fr. 23~34, No.6 H.F.O.T.(C) 90
표4.6 해석입력자료 : Center Girder Fr. 23~34, No.6 H.F.O.T.(C) 91
표4.7 해석입력자료 : Double Bottom Fr. 23~34, No.6 H.F.O.T(C) 92
표4.8 해석입력자료 : Longitudinal Wall, Fr. 23~34, No.5 H.F.O.T.(S) 92
표4.9 해석입력자료 : Shell Fr. 23~34, No.5 H.F.O.T.(P/S) 93
표4.10 해석입력자료 : Shell Fr. 34~46, No.3 H.F.O.T.(P/S) 94
丑4.11 Transverse BHD, Fr. 46, No. 3 & 5 H.F.O.T.(P/S)
표4.12 선미구조물의 고유진동수
표4.13 선미구조물의 방진 대책 97
표/ 1/ Badar Mact이 고으자도스 게사결과 97



그림 목차

Figure	2.1 Whole Model (Port Side only, Half Symmetric from C.L.) \dots	. 97
Figure	2.2 Shell4 Elements : B.L. ~ Tank Top	97
Figure	2.3 Elements on Tank Top	97
Figure	2.4 Shell4 Elements : Tank Top $\tilde{\ }$ 2nd Deck	97
Figure	2.5 Beam4 Elements : Tank Top $\tilde{\ }$ 2nd Deck	98
Figure	2.6 Shell4 Elements : 2nd Deck	. 98
Figure	2.7 Beam4 Elements : 2nd Deck	98
Figure	2.8 Shell4 Elements : 2nd Deck $\tilde{\ }$ Main Deck	98
Figure	2.9 Beam4 Elements : 2nd Deck $\tilde{\ }$ Main Deck	. 98
Figure	2.10 Shell4 Elements : Main Deck	. 98
Figure	2.11 Beam4 Elements : Upper Deck	99
Figure	2.12 Shell4 Elements : Main Deck $\tilde{\ }$ Upper Deck	99
Figure	2.13 Beam4 Elements : Main Deck ~ Upper Deck	99
Figure	2.14 Shell4 Elements : Upper Deck	99
Figure	2.15 Beam4 Elements : Upper Deck	99
Figure	2.16 Shell4 Elements : Upper Deck $\tilde{\ }$ F 'cle Deck	. 99
Figure	2.17 Beam4 Elements : Upper Deck $^{\sim}$ F 'cle Deck	100
Figure	2.18 Shell4 Elements : F 'cle Deck	100
Figure	2.19 Beam4 Elements : F 'cle Deck	100
Figure	2.20 Shell4 Elements : F 'cle Deck ~ Captain Deck	100
Figure	2.21 Shell4 Elements Captain Deck	100
Figure	2.22 Beam4 Elements : Captain Deck	100
Figure	2.23 Shell4 Elements : Captain Deck ~ Nav. Bridge Deck	101
Figure	2.24 Shell4 Elements : Nav. Bridge Deck	101
Figure	2.25 Beam4 Elements : Nav. Bridge Deck	101
Figure	2.26 Shell4 Elements : Nav. Bridge Deck ~ Compass Deck	101
Figure	2.27 Shell4 Elements : Compass Deck	101
Figure	2 28 Ream4 Flements : Compass Deck	101

Figure	2.29	The 1s	t tone	Mode	of	Hull	Vertic	cal Fr	ree	Vibrat	ion	 • • • •	103
Figure	2.30	The 2nd	d tone	Mode	of	Hull	Vertic	al Fr	ree	Vibrat	ion	 	103
Figure	2.31	The 3rd	d tone	Mode	of	Hull	Vertic	cal Fr	ree	Vibrat	ion	 	104
Figure	2.32	The 4th	n tone	Mode	of	Hull	Vertic	al Fr	ree	Vibrat	ion	 	104
Figure	2.33	The 5th	n tone	Mode	of	Hull	Vertic	al Fr	ree	Vibrat	ion	 	104
Figure	2.34	The 6th	n tone	Mode	of	Hull	Vertic	al Fr	ree	Vibrat	ion	 	105
Figure	2.35	The 1s	t tone	Mode	of	Hull	Traver	se Fr	ree	Vibrat	ion	 	105
Figure	2.36	The 2nd	d tone	Mode	of	Hull	Traver	se Fr	ree	Vibrat	ion	 	105
Figure	2.37	The 3rd	d tone	Mode	of	Hull	Traver	se Fr	ree	Vibrat	ion	 	106
Figure	2.38	Global	Hull :	2nd 0ı	rder	Vib	ation	Respo	onse	. FLC.		 	106
Figure	2.39	Global	Hull	4th 0i	rder	Vib	ation	Respo	onse	. FLC.		 	106
Figure	2.40	Global	Hull	6th 0ı	rder	Vib	ation	Respo	onse	. FLC.		 	106
Figure	2.41	Global	Hull	8th 0i	rder	Vib	ation	Respo	onse	. FLC.		 	106
Figure	2.42	Global	Hull :	2nd 0ı	rder	Vib	ation	Respo	onse	. 90%	CLC.	 	106
Figure	2.43	Global	Hull	4th 0i	rder	Vib	ation	Respo	onse	. 90%	CLC.	 	106
Figure	2.44	Global	Hull	6th 0i	rder	Vib	ation	Respo	onse	. 90%	CLC.	 	107
Figuro	2 15	Global	Hull :	8th O	r dar	· Vih	ation	Rosno	anca	Q0%	CLC		107



Figures 거주구 갑판 Grillages 해석모델 및 결과	
Figure 3.1 Compass Deck, 96 ~ 116 Frame	107
Figure 3.2 Navigation Bridge, 108 ~ 116 Frame	107
Figure 3.3 Captain Deck, 108 ~ 117 Frame	108
Figure 3.4 Navigation Bridge, 98 $^{\sim}$ 108 Frame. (P,S)	108
Figure 3.5 F 'cle Deck, 0 ~ 9 Frame	109
Figure 3.6 F 'cle Deck, 70 ~ 86 Frame	109
Figure 3.7 F 'cle Deck, 98 $^{\sim}$ 108 Frame	110
Figure 3.8 Main Deck, 12 ~ 23 Frame	110
Figure 3.9 2nd Deck, 62 ~ 70 Frame	111
Figure 4.1 Calculation Model	111
a) Shell Elements b) Beam Elements	111
Figure 4.2 Free Modes of the Radar Mast	111
Figure 4.3 Radar Mast 방진대책	112
Figure 4.4 Calculation Model of the Funnel (half)	112
a) Shell Elements b) Beam Elements	112
Figure 4.5 Free Mode of the Funnel	112

1. 개요

1.1 일반

본 보고서는 6,950톤급 연구용 쇄빙선의 진동해석과 그에 따른 방진대책을 수립하고자 한다.

1.2 목적

본 진동해석의 목적은 다음과 같다.

- (1) 선체 구조물의 진동해석
- (2) 선루, 마스트, 연돌 및 선미구조물의 국부진동해석
- (3) 거주구 구조물의 진동해석
- (4) 진동 허용값 과의 비교
- (5) 방진대책 수립
- 1.3 단위(unit).

단위는 SI(The Standard International) 단위계를 사용한다.

1.4 선박제원.

선박제원은 표1.1 과 같다.

2. 선체 진동 해석

본 해석 내용은 다음과 같다.

- (1) 자유진동해석
 - 1) Loading Condition 1: Full Loaded. (FLC, 만재하중)
 - 2) Loading Condition 2: 90 % Consummed. (90% CLC, 90% 소모하중)
- (2) 연성진동해석
- (3) 공진검토
- (4) 선체 자유/강제 진동응답해석(속도)

2.1 기진력

2.1.1프로펠러에 의한 기진력

프로펠러에 의한 기진력은 (a) 프로펠러의 변동압력 (b) 프로펠러 축으로

부터 전달되는 힘 의 두 가지가 있으며, 계산을 위한 입력자료는 표2.1 과 같다.

2.1.2 주기관에 의한 기진력

주기관 사양은 표2.2 와 같다.

2.2 진동해석 모델

ANSYS를 이용하여 3-차원 판 및 비임 요소로 구성한 유한요소법으로 해석 하였으며, 해석 모델은 Figure 2.1 부터 Figure 2.28 까지 보여주고 있 다.

2.2.1 해석 모델

- (1) 선체 및 선루구조 포함.
- (2) 선박의 전 길이를 5.2 M 간격으로 나누었다
- (3) 보강판 및 격벽은 Shell 요소로 이상화하였다.
- (4) 서로 직교하는 보강재는 영계수 값을 방향성을 주어 계산하였으며, 다음과 같은 식을 적용하였다.

$$E_2 = E_1 (A_{pl} + A_{sl}) / A_{pl}$$

여기서 E_1 = 보강재의 직교방향의 영 계수

 E_2 = 보강재의 평행방향의 영 계수

 A_{nl} = 보강재당의 면적

 A_{x} = 보강재의 단면적

- (5) 갑판, 저판 및 격벽의 보강재는 비임(beam4) 요소로 이상화 하였다.
- (6) 비임요소 물성치는 유효폭의 판재가 부착된 것으로 계산하였다.
- (7) 판재의 작은 구멍, 브래킷, 국부보강재는 고려하지 않았다.
- (8) 구조물, 발라스트 및 기계류의 무게는 절점 질량으로 이상화하였다.
- (9) 유체로 싸여진 부가질량도 절점 질량으로 이상화하였다.

2.2.2 감쇠 계수

감쇠계수는 Rayleigh가 제안한 감쇠상수를 적용하였으며, 다음과 같다.

 $[C] = \beta[K]$

여기서 [C] = Damping Matrix

 $\beta = 1/\eta_{\omega}$

 η = Dynamic Amplifier Coefficient

[K] = Stiffness Matrix

 $\omega = Frequency [rad/s]$

2.2.3 재료특성

재료의 특성은 표2.3 과 같다.

2.3 해석 결과

2.3.1 자유 진동

선박의 고유진동해석 결과 값은 표2.4 와 같으며, Full Load Condition에 대한 진동 거동은 Figure 2.29 부터 Figure 2.37 에서 보여주고 있다.

2.3.2 강제 진동.

강제진동 해석결과 rms 속도는 표2.5, 표2.6 그리고 Figure 2.38부터 Figure 2.45까지 보여 주고 있다.

3. 거주구 갑판 진동해석

본 계산은 거주구 특히 승무원 들이 주로 거주하는 갑판에서의 자유 및 강제 진동의 진동수 계산을 수행하였다. 해석모델 및 결과는 Figure 3.1 $^{\sim}$ Figure 3.9 에서 볼 수 있으며, 결과값은 3.1 $^{\sim}$ 3.4 3.4 3.4 3.4 3.5

3.1 고유진동수 계산

갑판, 갑판보강재 및 갑판 보강판재(Grillage)의 고유진동수 계산결과는 각각 표3.1, 표3.2 및 표3.3 과 같다.

3.2 강제 진동 계산

거주구 강제 진동계산 결과는 표3.4와 같다.

4. 국부 진동 해석

4.1 선미 및 기관실

선미 및 기관실 진동은 (1) 프로펠러의 변동압력에 의한 선미부, (2) Hull Girder 진동에 의한 선미 내부재 그리고 (3) Hull Girder 및 주기관의 기진력에 의한 기관실 진동을 판 및 보강재에 대한 진동을 계산하고, 이 값들에 대한 공진여부와 허용치와의 비교/검토를 하고 또한 방진대책에 대하여기술하였다.

4.1.1 입력자료

선미 및 기관실의 해석 시 입력자료는 표4.1 부터 표4.11 까지 와 같다.

4.1.2 계산결과

선체 선미구조물의 고유진동수는 표 4.12 와 같다.

4.1.3 방진대책

선체 선미구조물의 방진 대책은 표4.13 과 같다.

4.2 Radar Mast

- **4.2.1** Radar Mast의 해석모델 및 해석결과는 Figure 4.1 & 4.2 참조.
- **4.2.2** Radar Mast의 고유진동수 계산결과는 표4.14 와 같다.
- **4.2.3** Radar Mast의 방진대책은 Figure 4.3 과 같다.

4.3 연돌(Funnel)

4.3.1 해석모델 및 모드해석 결과는 각각 Figure 4.4 및 Figure 4.5와 같다.

4.3.2 방진대책

스트링거 웨브의 깊이를 400mm 에서 500mm 로 증가시킨다.

표1.1 선박제원

전 장 (L.O.A.), m	109.0
수선간장 (L.B.P.), m	95.0
형 폭 (Bmld), m	19.0
형 깊이 (Dmld, Main Deck), m	9.9
흘 수 (Draft), m	7.5
속도 (Speed), knots	12.0
주기관 (Main Engine)	6L42MC/ME-MK6,MAN

표2.1 프로펠러 기진력 입력자료

프로펠러 Type	FPP
프로펠러 수	1
프로펠러 직경, m	4.0
프로펠러 날개 수 (Z)	4
Norminal RPM (n)	176
피치 비 (P _{0.7} /D)	0.99
확장면적비 (A _E /A ₀)	0.57
속도 (V _S), m/sec	12.0
선체와 프로펠러와의 간격 (d), m	0.93
최대반류값 (W _{MAX})	0.5
유효반류값 (W _E)	0.2
프로펠러 축 중심까지 깊이 (H), m	3.5

표2.2 주기관 사양

L42MC Two-Stroke Engine									
No. of Cycle : 6, Firing Order 1-5-3-4-2-6									
External Moments [KNm]	External Moments [KNm] 2nd order 487								
Guide Force H-Moments [KNm]	6th order	213							

표2.3 재료특성

구조강재	
(1) 영율, kgf/mm²	$2.1x10^4$
(2) 포아송비	0.3
(3) 밀도, Kg/mm ³	7.85x10 ⁻⁶
- 해수 밀도, Kg/mm³	1.025x10 ⁻⁶

표2.4 선체 고유진동수 [Hz]

No. of Tones	Full Load	Condition	90% Consumed Condition						
	Vertical Vib.	Traverse Vib.	Vertical Vib	Traverse Vib.					
1 Tone	3.15	3.50	3.7	4.18					
2 Tone	Tone 5.20		5.9	7.70					
3 Tone	7.00	9.75	7.6	11.9					
4 Tone	8.25		9.6						
5 Tone	5 Tone 10.5		11.1						
6 Tone	11.5								

표 2.5 선체 강제진동해석 (Full Load Condition)

	Global Hull Girder Vibration r.ms. Velocity in mm/s on Upper Deck - Full Loaded Condition																	
	Theoretical Frame Number																	
Fre H		-1.0	0.0	1.5	4.5	6	7	8	9.5	11	12	13	14	15	16	17.5	19	20
	Coordinates X off C.L. in m																	
		0.000	0.000	0.000	0.000	-2.10	-2.10	-2.10	-2.10	-2.10	-2.10	-2.10	-2.10	-2.10	-2.10	0.000	0.000	0.000
5.8	VX	0.015	0.016	0.015	0.022	0.015	0.009	0.006	0.008	0.005	0.001	0.009	0.013	0.015	0.018	0.025	0.031	0.036
	VY	2.051	1.502	0.527	0.758	0.485	0.209	0.043	0.098	0.162	0.289	0.318	0.253	0.114	0.078	0.623	1.050	1.432
	VZ	0262	0.258	0.201	0.067	0.059	0.044	0.023	0.023	0.028	0.019	0.012	0.038	0.058	0.074	0.093	0.102	0.112
11.7	VX	0.143	0.117	0.089	0.061	0.079	0.094	0.106	0.082	0.065	0.061	0.091	0.101	0.081	0.041	0.063	0.187	0.326
	VY	1.767	0.834	0.988	0.236	0.176	0.118	0.078	0.016	0.012	0.014	0.002	0.020	0.033	0.038	0.035	0.030	0.020
	VZ	0.156	0.156	0.130	0.101	0.104	0.093	0.076	0.043	0.037	0.028	0.024	0.028	0.031	0.034	0.022	0.022	0.021
17.6	VX	0.130	0.246	0.132	0.397	0.410	0.424	0.474	0.549	0.506	0.369	0.251	0.237	0.206	0.155	0.052	0.072	0.172
	VY	0.052	0.113	0.115	0.116	0.182	0.248	0.352	0.041	0.026	0.044	0.030	0.032	0.035	0.013	0.018	0.023	0.021
	VZ	0.057	0.059	0.051	0.042	0.037	0.032	0.025	0.021	0.020	0.013	0.005	0.002	0.002	0.004	0.005	0.005	0.006
23.4	VX	0.086	0.085	0.068	0.055	0.039	0.042	0.036	0.047	0.047	0.033	0.017	0.014	0.015	0.018	0.014	0.007	0.006
	VY	1.737	1.459	0.788	0.026	0.048	0.051	0.032	0.015	0.014	0.006	0.004	0.005	0.004	0.004	0.002	0.006	0.012
	VZ	0.079	0.074	0.046	0.058	0.043	0.035	0.030	0.016	0.014	0.009	0.009	0.012	0.016	0.019	0.024	0.026	0.027



표 2.6 선체강제진동해석 (90% Consumed Load Condition)

	Global Hull Girder Vibration r.ms. Velocity in mm/s on Upper Deck - 90% Consumed Load Condition																	
	Theoretical Frame Number																	
Freq.	Hz	-1.0	0.0	1.5	4.5	6	7	8	9.5	11	12	13	14	15	16	17.5	19	20
	Coordinates X off C.L. in m																	
		0.000	0.000	0.000	0.000	-2.100	-2.100	-2.100	-2.100	-2.100	-2.100	-2.100	-2.100	-2.100	-2.100	0.000	0.000	0.000
5.8	VX	0.137	0.111	0.075	0.073	0.082	0.092	0.094	0.149	0.168	0.206	0.240	0.233	0.189	0.150	0.074	0.072	0.056
	VY	10.886	8.544	4.622	2.281	2.853	2.712	1.873	0.822	1.177	1.716	1.753	1.351	0.603	0.415	3.225	5.373	7.357
	VZ	1.191	1.167	0.961	0.428	0.400	0.340	0.280	0.060	0.056	0.083	0.179	0.296	0.387	0.465	0.549	0.592	0.642
11.7	VX	0.143	0.117	0.089	0.061	0.079	0.094	0.106	0.082	0.065	0.061	0.091	0.101	0.081	0.041	0.063	0.187	0.326
	VY	1.767	0.834	0.988	0.236	0.176	0.118	0.078	0.016	0.012	0.014	0.002	0.020	0.033	0.038	0.035	0.030	0.020
	VZ	0.156	0.156	0.130	0.101	0.104	0.093	0.076	0.043	0.037	0.028	0.024	0.028	0.031	0.034	0.022	0.022	0.021
17.6	VX	0.424	0.413	0.029	0.278	0.481	0.660	0.781	0.731	0.617	0.345	0.232	0.277	0.214	0.149	0.041	0.136	0.324
	VY	0.129	0.026	0.150	0.384	0.246	0.224	0.369	0.097	0.088	0.060	0.020	0.052	0.064	0.047	0.012	0.021	0.032
	VZ	0.113	0.114	0.104	0.129	0.101	0.082	0.067	0.035	0.030	0.022	0.019	0.019	0.017	0.018	0.016	0.016	0.017
23.4	VX	0.101	0.104	0.065	0.094	0.133	0.128	0.029	0.027	0.020	0.011	0.009	0.07	0.007	0.005	0.006	0.006	0.016
23.4																		
	VY	0.717	1.233	0.513	0.118	0.077	0.043	0.027	0.017	0.014	0.004	0.001	0.002	0.04	0.005	0.006	0.006	0.002
	VZ	0.095	0.105	0.086	0.062	0.057	0.052	0.045	0.025	0.02	0.014	0.010	0.009	0.010	0.012	0.018	0.019	0.020
			I	I	l	l		l	l	I		l	l	1		I	l	1

표3.1 갑판의 고유진동수

	Location	Thickness; Fr. Spacing [mm]	Natural Freq.[Hz]
Compass Deck	Anywhere	5 ; 750	18.6
Navigation Bridge	Anywhere	5 ; 750	18.6
Captain Deck	Anywhere	6 ; 750	22.4
F'cle Deck	0~12 Fr. In other regions	6 ; 610 6 ; 750	33.2 22.4
Upper Deck	Anywhere	7 ; 700	29.8
Main Deck	0~12 Fr. In other regions	10 ; 700 6 ; 700	42.5 25.5
2nd Deck	70~120 Fr. 62~70 Fr.	10 ; 750 7 ; 750	37.3 26.1

표3.2 갑판 보강재의 고유진동수

	Location	Profile	Natural Freq.[Hz]
Compass Deck	Anywhere	65 x 65 x 6 E.A.	10.9
Navigation Bridge	Anywhere	65 x 65 x 6 E.A.	10.9
Captain Deck	Anywhere	65 x 65 x 6 E.A.	10.9
F'cle Deck	108~120 Fr. In other regions	90 x 90 x 7 E.A. 75 x 75 x 9 E.A.	16.5 15.1
Upper Deck	34~96 Fr. In other regions	150 x 90 x 9 U.A. 125 x 75 x 10 U.A.	29.8 23.4
Main Deck	0~12 Fr. In other regions	125 x 75 x 10 U.A. 125 x 75 x 7 U.A.	23.4 22.0
2nd Deck	70~120 Fr. 62~70 Fr.	250 x 90 x 10/15 I.A. 125 x 75 x 7 U.A.	54.1 23.4



표3.3 갑판 보강판재(Grillage)의 고유진동수

	Accommodation	Location	Group	Frequency [Hz]
1	M.C.	Compass Deck, 96~116 Fr.	2	17.1
2	Navigation Bridge	Navigation Br. Deck, 108~116 Fr.	2	12.3
3	Training Bridge	Navigation Br. Deck , 93~106 Fr.	1	
4	Multimedia Salon	Navigation Br. Deck , 93~106 Fr.	1	
5	Captain Room, Chief Room	Captain Deck, 108~117 Fr.	2	15.7
6	VIP Room	Captain Deck, 98~106 Fr.	2	15.7
7	Doctor Room	Captain Deck, 66~72 Fr.	2	15.7
8	Salon & Conference	F'cle Deck, 98~108 Fr.	2	21.1
9	Instructor Rooms	F'cle Deck, 61~78 Fr.	2	25.4
10	Seminar Room	F'cle Deck, 0~20 Fr.	2	20.9
11	Cadet rest Room, Reading Room No.1	Upper Deck, 114~123 Fr.	1	
12	General Office	Upper Deck, 20~23 Fr.	1	
13	Lavatory	Upper Deck, 98~103 Fr.	1	
14	Crew Rooms	Upper Deck, 34~68 Fr.	1	
15	Reading Room No.2	Main Deck 120~133 Fr.	1	
16	Cadet Rooms	Main Deck, 40~44 Fr.	1	
17	Lecture Hall No. 2	Main Deck, 12~20 Fr.	2	36.4
18	Vegetable	Main Deck, -3~9 Fr.	1	
19	Gymnasium	2nd Deck, 120~133 Fr.	1	
20	Cadet Rooms	2nd Deck , 70~74 Fr.	1	
21	Engine Control Room	2-nd deck, 62~70 Fr.	2	17.0

표3.4 거주구 강제 진동계산 결과

	Accommodation		eighted r.m.s. vel [mm/s]	Group of accommodation	Habitability	
	Accommodation	FLC	90% CLC	in ISO 6954-2000	condition	
1	M.C.	2.03	1.72	С	Adm.	
2	Navigation Bridge	1.80	1.38	С	Adm.	
3	Training Bridge	0.10	0.23	С	Adm.	
4	Multimedia Salon	0.10	0.23	В	Adm.	
5	Captain Room, Chief Room	0.82	3.16	В	Adm.	
6	VIP Room	0.89	1.17	A	Adm.	
7	Doctor Room	0.82	2.36	В	Adm.	
8	Salon & Conference	0.27	1.16	В	Adm.	
9	Instructor Rooms	0.48	0.93	В	Adm.	
10	Seminar Room	2.97	5.72	С	Adm.	
11	Cadet rest Room, Reading Room No.1	0.90	4.81	В	Adm.	
12	General Office	0.90	4.83	С	Adm.	
13	Lavatory	1.56	4.53	С	Adm.	
14	Crew Rooms	0.43	1.09	В	Adm.	
15	Reading Room No.2	0.93	3.42	C	Adm.	
16	Cadet Rooms	1.15	2.1	В	Adm.	
17	Lecture Hall No. 2	1.7	3.83	С	Adm.	
18	Vegetable	2.62	9.13	С	Not Adm.	
19	Gymnasium	0.9	4.9	В	Adm.	
20	Cadet Rooms	0.41	2.46	В	Adm.	
21	Engine Control Room	2.69	2.29	С	Adm.	



표4.1 해석입력자료: Shell Fr. 0~8, 1200 & 3500 off C.L.

BOUNDARY CONDITIONS	
For plates : simply supported.	
DIMENSIONS	
PLATE:	
The short side (mm)	610
The long side (mm)	2800
Thickness (mm)	15
FLUID:	From two sides
Gravity of the first side fluid (kg/m3)	1030
Gravity of the second side fluid (kg/m3	1030
Running Regime (rpm)	176
Order of Exciting Force	8

표4.2 해석입력자료: Shell Fr. 2~12, D.W.T.(P/S)

BOUNDARY CONDITIONS For plates: fixed along the long sides, simply supported on the short sides. For stiffeners: simply supported on the stringer and fixed on the floors. DIMENSIONS PLATE: The short side (mm) 610 The long side (mm) 3500 Thickness (mm) 11 STIFFENERS: 250 x 90 x 10/15 I.A. 10.30 x 10⁻⁵ Moment of Inertia (m⁴) FLUID: From two sides Gravity of the first side fluid (kg/m3) 1030 Running Regime (rpm) 176 Order of Exciting Force



표4.3 해석입력자료: Transverse BHD, Fr.1, A.P.T.(P/S)

BOUNDARY CONDITIONS

For plates : fixed along the long sides, simply supported on the short sides.

For stiffeners: simply supported.

Tor stiffeners, simply supported.	
DIMENSIONS	
PLATE:	
The short side (mm)	700
The long side (mm)	2300
Thickness (mm) 10	
STIFFENERS:	
200 x 90 x 10/14 I.A.	
Moment of Inertia (m ⁴)	5.32 x 10 ⁻⁵
FLUID:	From two sides
Gravity of the first side fluid (kg/m3)	1030
Gravity of the second side fluid (kg/m3)	1030
Running Regime (rpm)	176
Order of Exciting Force	8



표4.4 해석입력자료: Longitudinal Wall of D.W.T. (P/S), Fr. 1~12, 3500 off C.L.

BOUNDARY CONDITIONS For plates: fixed along the long sides, simply supported on the short sides. For stiffeners: simply supported on the main deck & fixed on the floors. DIMENSIONS PLATE: The short side (mm) 610 The long side (mm) 2650 10 Thickness (mm) STIFFENERS: 200 x 90 x 10/14 I.A. 5.57 x 10⁻⁵ Moment of Inertia (m⁴) FLUID: From two sides Gravity of the first side fluid (kg/m3) 1030 Gravity of the second side fluid (kg/m3) 1030 Running Regime (rpm) 176 Order of Exciting Force 8

표4.5 해석입력자료: Floors Fr. 23~34, No.6 H.F.O.T.(C)

BOUNDARY CONDITIONS For plates: fixed along the long sides, simply supported on the short sides. For stiffeners: simply supported.		
DIMENSIONS		
PLATE:		
The short side (mm)	700	
The long side (mm) 1400		
Thickness (mm)	10	
STIFFENERS:		
125 x 10 F.B.		
Moment of Inertia (m ⁴)	5.33 x 10 ⁻⁵	
FLUID:	From two sides	
Gravity of the first side fluid (kg/m3)	rity of the first side fluid (kg/m3) 800	
Gravity of the second side fluid (kg/m3) 800		
Running Regime (rpm) 176		
Order of Exciting Force 4		



표4.6 해석입력자료: Center Girder Fr. 23~34, No.6 H.F.O.T.(C)

BOUNDARY CONDITIONS For plates: fixed along the long sides, simply supported on the short sides.		
DIMENSIONS		
PLATE:		
The short side (mm)	750	
The long side (mm)	1400	
Thickness (mm)	12	
FLUID:	From two sides	
Gravity of the first side fluid (kg/m3)	800	
Gravity of the second side fluid (kg/m3)	800	
Running Regime (rpm)	176	
Order of Exciting Force	4	

표4.7 해석입력자료: Double Bottom Fr. 23~34, No.6 H.F.O.T.(C)

BOUNDARY CONDITIONS For plates: fixed along the long sides, simply supported on the short sides.		
DIMENSIONS		
PLATE:		
The short side (mm)	750	
The long side (mm)	3500	
Thickness (mm)	13	
FLUID:	From two sides	
Gravity of the first side fluid (kg/m3)	800	
Gravity of the second side fluid (kg/m3)	800	
Running Regime (rpm)	176	
Order of Exciting Force	4	

표4.8 해석입력자료: Longitudinal Wall, Fr. 23~34, No.5 H.F.O.T.(S)

BOUNDARY CONDITIONS For plates: fixed along the long sides, simply supported on the short sides. For stiffeners: simply supported. DIMENSIONS PLATE: The short side (mm) 750 4000 The long side (mm) Thickness (mm) 10 STIFFENERS: 250 x 90 x 10/15 I.A. Moment of Inertia (m⁴) 1.04 x 10⁻⁴ FLUID: From one sides Gravity of the first side fluid (kg/m3) 800 Running Regime (rpm) 176 Order of Exciting Force 4

표4.9 해석입력자료: Shell Fr. 23~34, No.5 H.F.O.T.(P/S)

BOUNDARY CONDITIONS For plates: fixed along the long sides, simply supported on the short sides. For stiffeners: fixed.	
DIMENSIONS	
PLATE:	
The short side (mm)	750
The long side (mm)	3500
Thickness (mm)	11
STIFFENERS:	
150 x 90 x 12 U.A.	
Moment of Inertia (m ⁴)	1.70 x 10 ⁻⁵
FLUID:	From two sides
Gravity of the first side fluid (kg/m3)	1030
Gravity of the second side fluid (kg/m3)	800
Running Regime (rpm)	176
Order of Exciting Force	6

표4.10 해석입력자료: Shell Fr. 34~46, No.3 H.F.O.T.(P/S)

BOUNDARY CONDITIONS For plates: fixed along the long sides, simply supported on the short sides. For stiffeners: fixed. DIMENSIONS PLATE: The short side (mm) 750 The long side (mm) 3500 Thickness (mm) 11 STIFFENERS: 150 x 90 x 12 U.A. Moment of Inertia (m⁴) 3.21 x 10⁻⁵ FLUID: From two sides Gravity of the first side fluid (kg/m3) 1030 Gravity of the second side fluid (kg/m3) 800 Running Regime (rpm) 176 Order of Exciting Force 6

표4.11 해석입력자료: Transverse BHD, Fr. 46, No. 3 & 5 H.F.O.T.(P/S)

BOUNDARY CONDITIONS For plates: fixed along the long sides, simply supported on the short sides. For stiffeners: fixed.	
DIMENSIONS	
PLATE:	
The short side (mm)	750
The long side (mm)	2200
Thickness (mm)	10
STIFFENERS:	
150 x 90 x 12 U.A.	
Moment of Inertia (m ⁴)	8.694 x 10 ⁻⁵
FLUID:	From one sides
Gravity of the first side fluid (kg/m3)	800
Running Regime (rpm)	176
Order of Exciting Force	6

표4.12 선미구조물의 고유진동수

	Construction	Natural Frequency [Hz]	Yield Factor
1	Shell Fr. 0~8, 1200 & 3500 off C.L.	46.1	1.96
	Shell Fr. 2~12, D.W.T.(P/S)		
2	Plates	45.2	1.93
	Stiffeners	33.5	1.43
	Transverse BHD, Fr.1, A.P.T.(P/S),		
3	Plates	23.63	1.01
	Stiffeners	26.0	1.11
	Longitudinal Wall of D.W.T.(P/S)		
4	Fr. 1~12, 3500 off C.L.		
4	Plates	30.6	1.31
	Stiffeners	31.95	1.36
	Floors Fr. 23~34, No.6 H.F.O.T.(C)		
5	Plates	33.28	2.84
	Stiffeners	28.7	2.45
6	Center Girder Fr. 23~34, No.6 H.F.O.T.(C)		
0	plate	33.45	2.86
7	D/Bottom Fr. 23~34, No.6 H.F.O.T.(C)		
/	Plates	30.0	2.56
	Longi. Wall, Fr. 23~34, No.5 H.F.O.T.(S)		
8	Plates	24.17	2.07
	Stiffeners	24.0	2.04
	Shell, Fr. 23~34, No5 H.F.O.T.(P/S)		
9	Plates	22.0	1.88
	Stiffeners	15.4	1.3
	Shell Fr. 34~46, No3 H.F.O.T.(P/S)		
10	Plates	22.7	1.29
	Stiffeners	23.3	1.32
	Trans. BHD, Fr. 46, No.3&5 H.F.O.T.(P/S)		
11	Plates	28.3	1.92
	Stiffeners	48.0	2.73
	Trans. BHD, Fr. 12, D.W.T. (P,S,T)		
12	Plates	35.3	1.5
	Stiffeners	42.0	1.79

표4.13 선미구조물의 방진 대책

	Construction	Recommendation
1	Transverse BHD, Fr.1, D.W.T. (P,S,C)	Replace: BHD PL.THK. from 10 to 13 mm within D.W.T(P,S,C) (0±8900) off C.L. Replace: BHD STIFF. from 200x90x10/14 I.A to 250x90x10/15 I.A within D.W.T(C) (0,±3500) off C.L
2	Longitudinal Wall D.W.T(P,S,C), Fr. 1~12(±3500 off C.L)	Replace: BHD PL.THK. from 10 to 11 mm
3	Shell, Fr. 23~34, No.5 H.F.O.T.(P/S)	Replace: Ordinary Fr. from 125x75x10 U.A to 200x90x10/14 I.A (T.Top ~ 2ND Deck)
4	Shell, Fr. 34~46, No.3 H.F.O.T.(P/S)	Replace: Ordinary Fr. from 150x90x12 U.A to 200x90x10/14 I.A (T.Top ~ 3600 A/B)

표 4.14 Radar Mast의 고유진동수 계산결과

	Natural Frequency, Hz	Description of Mode
1	10.2	Traverse Vibration
2	10.8	Longitudinal Vibration
3	16.7	Symmetrical Vibration of the Upper Platform
4	17.2	Anti-symmetrical Vibration of the Upper Platform

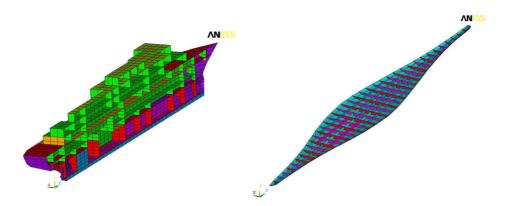


Figure 2.1 Whole Model

(Port only, Half Symmetric from C.L.)

Figure 2.2 Shell 4 Elements : B.L. ~ Tank Top

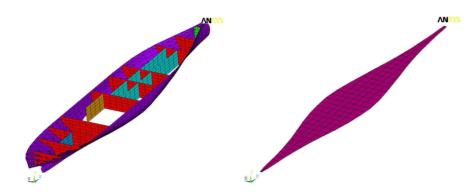


Figure 2.3 Elements on Tank Top Figure 2.4 Shell 4 Elements : Tank Top~2nd Dk

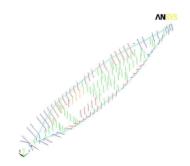


Figure 2.5 Beam 4 Elements :Tank Top~2nd Deck

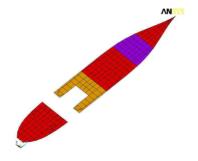


Figure 2.6 Shell 4 Elements
2nd Deck



Figure 2.7 Beam4 Elements : 2nd Deck

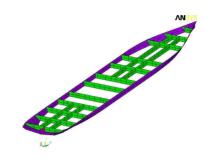


Figure 2.8 Shell4 Element : 2nd Deck~Main Deck

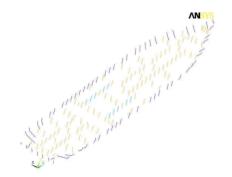


Figure 2.9 Beam4 Elements
: 2nd deck ~ Main Deck

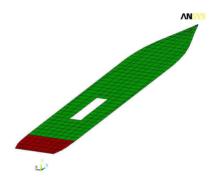


Figure 2.10 Shell4 Elements
: Main Deck

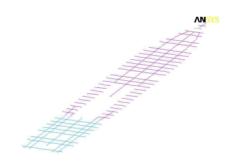


Figure 2.11 Beam4 Elements
: Upper Deck

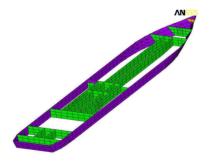


Figure 2.12 Shell4 Elements
: Main Deck ~ Upper Deck

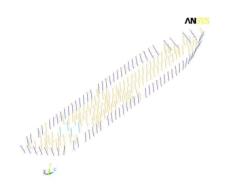


Figure 2.13 Beam4 Elements
: Main Deck ~ Upper Deck

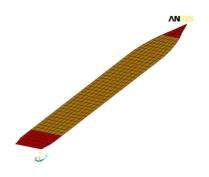


Figure 2.14 Shell4 Elements
: Upper Deck

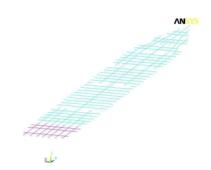


Figure 2.15 Beam4 Elements
: Upper Deck

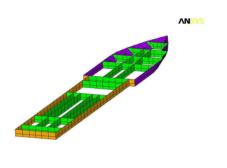


Figure 2.16 Shell4 Elements : Upper Deck ~ F'cle Deck

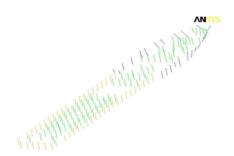


Figure 2.17 Beam4 Elements
: Upper Deck ~ F'cle Deck

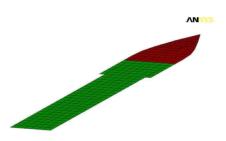


Figure 2.18 Shell4 Element : F'cle Deck

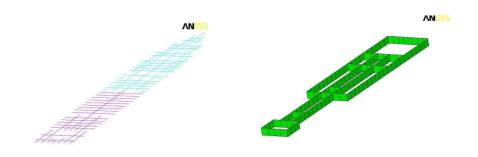


Figure2.19 Beam4 Elements : F'cle Deck

Figure 2.20 Shell4 Elements : F'cle Deck ~ Captain Deck

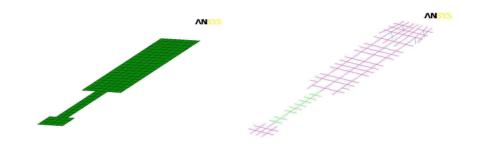


Figure 2.21 Shell4 Elements
: Captain Deck

Figure 2.22 Beam4 Elements

: Captain Deck

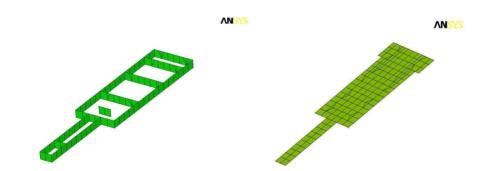


Figure 2.23 Shell4 Elements

: Captain Deck ~ Nav. Bridge Deck

Figure 2.24 Shell4 Elements dge Deck : Nav. Bridge Deck



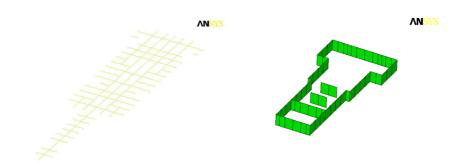


Figure 2.25 Beam4 Elements
: Nav. Bridge Deck

Figure 2.26 Shell4 Elements

: Nav. Bridge Deck ~ Compass Deck

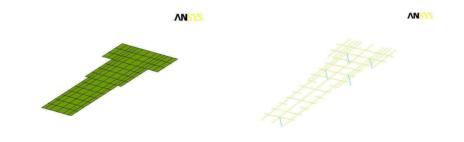
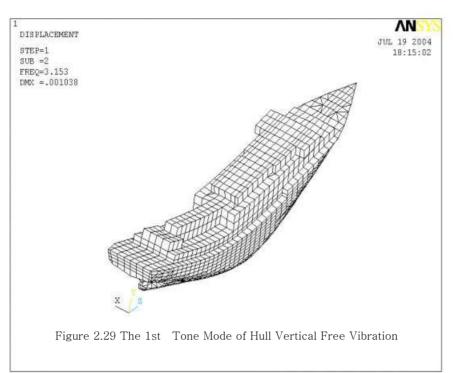
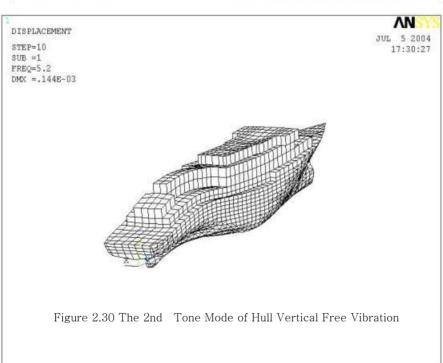


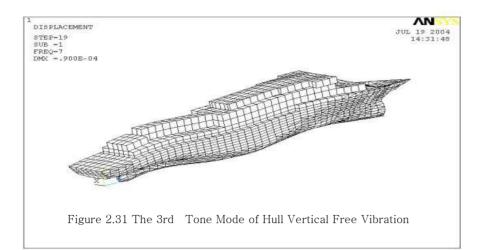
Figure 2.27 Shell4 Elements
: Compass Deck

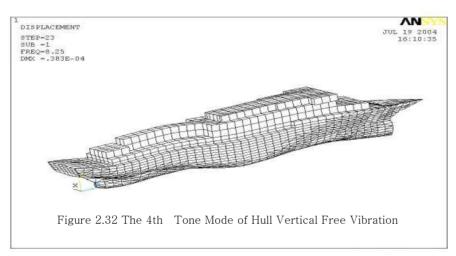
Figure 2.28 Beam4 Element
: Compass Deck

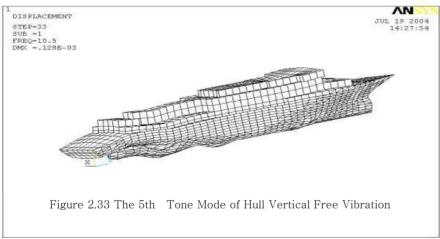




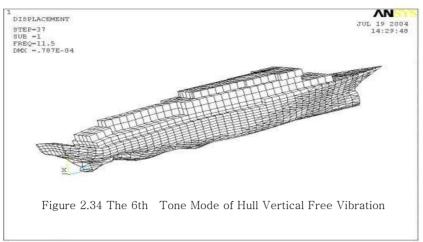


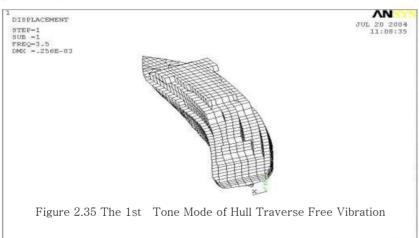


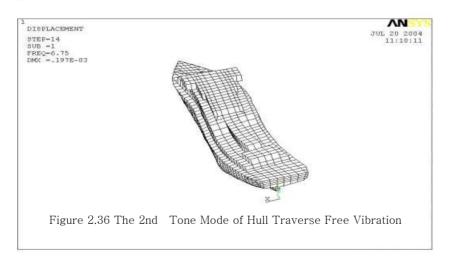












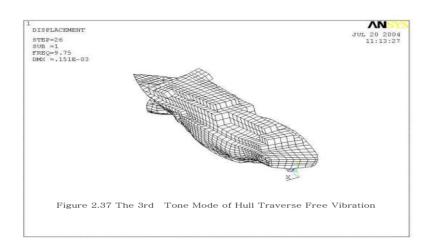


Figure 2.38 Global Hull 2nd Order Vibration Response. FLC

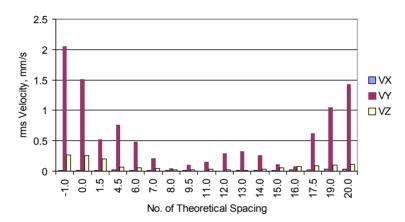


Figure 2.39 Global Hull 4th Order Vibration Response.FLC

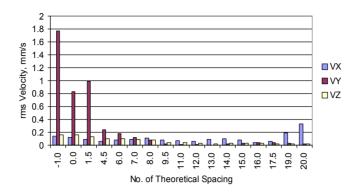


Figure 2.40 Global Hull 6th Order Vibration Response. FLC

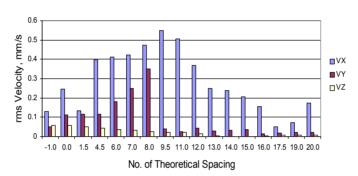


Figure 2.41 Global Hull 8th Order Vibration Response. FLC

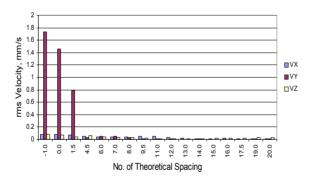


Figure 2.42 Global Hull 2nd Order Vibration Response. 90% CLC

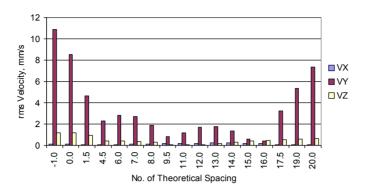


Figure 2.43 Global Hull 4th Order Vibration Response. 90% CLC

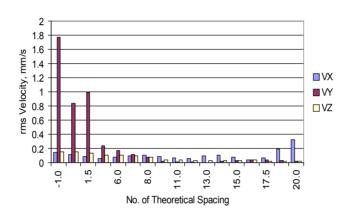


Figure 2.44 Global Hull 6th Order Vibration Response. 90% CLC

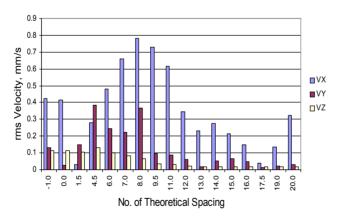


Figure 2.45 Global Hull 8th Order Vibration Response. 90% CLC

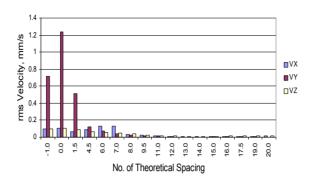
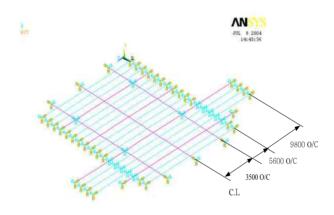


Figure 3.1 거주구 갑판 Grillages 해석모델 및 결과

Compass Deck, 96 ~ 116 Frame.



Calculation Model



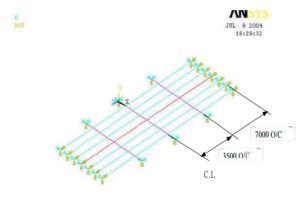


Results

Natural Frequency 17.1 Hz

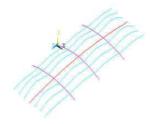
Figure 3.2 거주구 갑판 Grillages 해석모델 및 결과

Navigation Bridge, 108 ~ 116 Frame.



Calculation Model





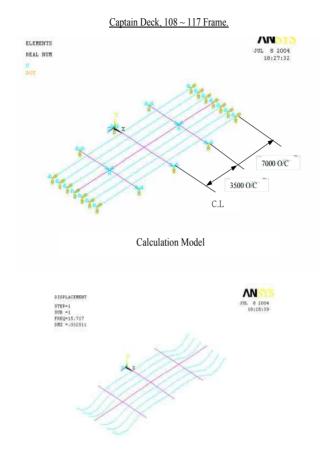
Free Mode

Results

Natural Frequency 12.3 Hz



Figure 3.3 거주구 갑판 Grillages 해석모델 및 결과



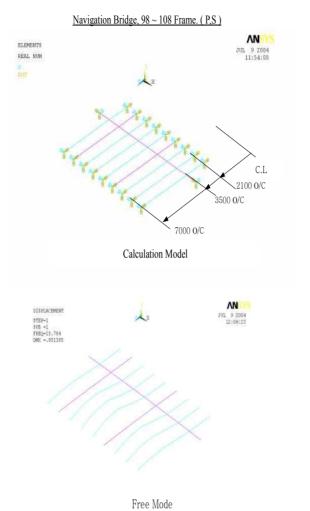
Free Mode

Results

Natural Frequency 15.7 Hz



Figure 3.4 거주구 갑판 Grillages 해석모델 및 결과

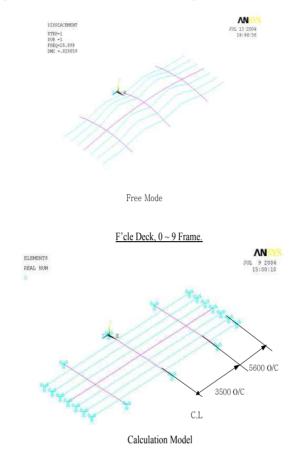


<u>Results</u>

Natural Frequency 15.7 Hz



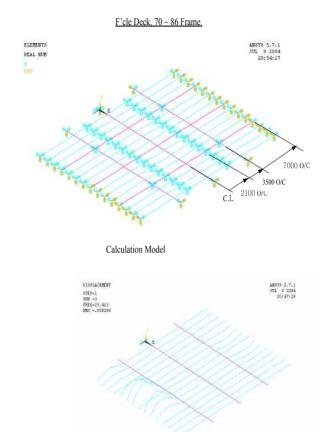
Figure 3.5 거주구 갑판 Grillages 해석모델 및 결과



Results

Natural Frequency 20.9 Hz

Figure 3.6 거주구 갑판 Grillages 해석모델 및 결과

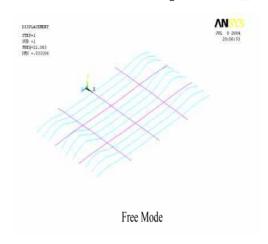


Free Mode

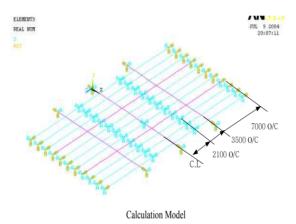
Results

Natural Frequency 25.4 Hz

Figure 3.7 거주구 갑판 Grillages 해석모델 및 결과



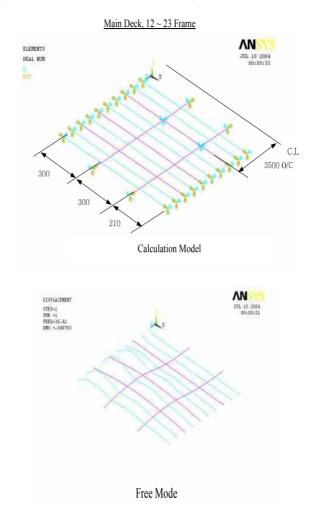
F'cle Deck, 98 ~ 108 Frame.



Results

Natural Frequency 21.1 Hz

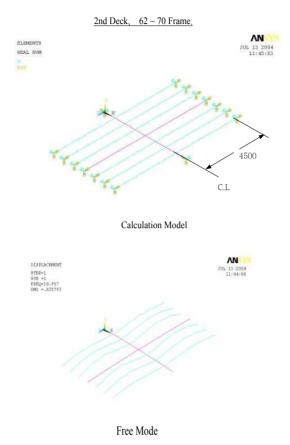
Figure 3.8 거주구 갑판 Grillages 해석모델 및 결과



<u>Results</u>

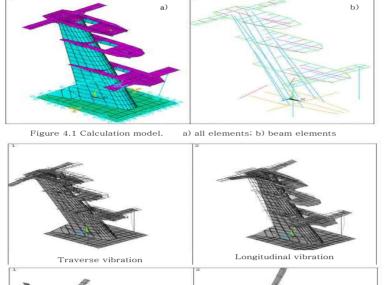
Natural Frequency 36.4 Hz

Figure 3.9 거주구 갑판 Grillages 해석모델 및 결과



Results

Natural Frequency 17.0 Hz



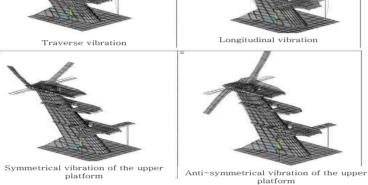


Figure 4.2 Free modes of radar mast

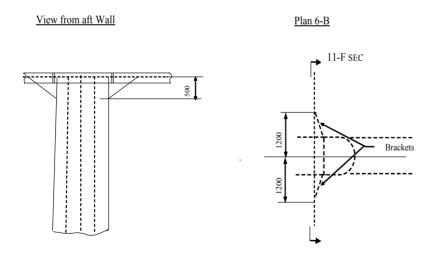


Figure 4.3 Radar Mast의 방진대책

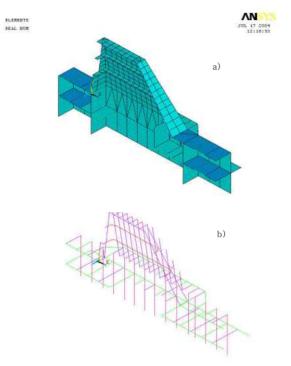


Figure 4.4 Calculation model of the funnel (half) a) shell elements; b) beam elements

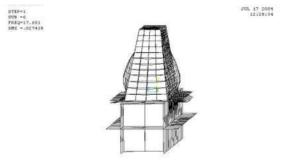


Figure 4.5 Free mode of the funnel

감사의 글

약간의 설레임과 두려움을 가지고 시작했던 박사 학위 과정, 이제 비로소 모든 과정을 마치며 지나간 시간을 되돌아봅니다. 비록 이 논문이 제 이름이 찍혀진 논문이지만 결코 저만의 것이 아님을 잘 알고 있습니다.

처음 입학했던 2003년 3 월부터 오늘까지 12년 반의 세월동안 늦깎이 학생으로서 힘들어 할 때마다 용기를 주시고 나아갈 길을 찾아 주셨고, 이렇게 결실을 맺기 까지 저를 지도해 주신 이귀주 교수님, 교수님에 대한 감사의 마음을 글로 표현하기는 너무 부족한 것 같습니다. 교수님의 깊은 배려와 지도덕분에 학위 과정을 끝까지 마칠 수 있었습니다. 진심으로 감사드립니다.

소중한 충고와 가르침을 주신 박제웅 교수님, 권영섭 교수님, 좌순원 교수님 께도 깊은 감사를 드립니다. 논문을 인준하는데 크게 도움을

주신 정세영 교수님, 김경화 박사에게도 감사를 드립니다. 그리고 자주 학교에 가지 못하는 저를 위해 여러 가지로 도움을 주시고, 학업에 필요한 업무를 대행 해주신 이건호 님과 최지선 님에게도 감사를 드립니다.

어려운 환경 속에서도 시간을 할애할 수 있도록 해주신 김남길 상무님, 장계남 부장, 바쁜 호선 업무에도 저를 이해하여 학업을 할 수 있게 도와준 김익범 과장, 주진석 과장, 윤동구 대리, 김세연 대리 및 조선PM 2 파트원 여러분 에게도 깊은 감사를 드립니다.

회사업무와 학업을 동시에 진행하면서 애로 사항을 토로할 때 마다 조용히 말을 들어주고 마음에서 우러나오는 조언을 아끼지 않으신 휘문 중학교 동문 여러분께도 깊은 감사를 전합니다.

두 아이의 아버지로서, 남편으로서, 어머님의 하나뿐인 아들로서 두 누님들의 동생으로서, 여기에 감사의 글을 올릴 수 있는 행복은 모두가 가족의 격려와 후원이 있어왔기에 가능 했다고 생각합니다. 항상 저를 믿어주시고 위로해 주시던 어머님과 두 누님, 존재만으로도 스스로를 채찍질하고 노력할수 있게 만들어 주신 두 분 매형, 조영학 교수님, 전승수 교수님께도 진심으로 감사를 드립니다.



끝으로 항상 곁에서 힘이 되어주고 저의 불평을 말없이 들어주었던 사랑스런 아내와 존재만으로도 아빠에게 힘이 되어준 소중한 쌍둥이 딸, 아들, 수민, 지원에게도 깊은 사랑을 전하며, 항상 아들의 잘된 모습을 원하시며, 하늘에서 지켜보고 계실 아버님께 이 논문을 바치고자 합니다.