

氷海用船舶의 船首形狀 設計推定에 關한 研究

高尚龍* · 朴命圭**

A Study on the Prediction of the Bow Form Design for Icebreakers

Ko Sang-Young · Park Myung-Kyu

〈목 차〉

- | | |
|-------------------------|----------------------|
| 1. 서 론 | 3-4 인자의 가정 |
| 2. 쇄빙문제의 공식화 및 가정 | 4. 선수 형상의 설계 |
| 2-1 연속 모우드 쇄빙 | 4-1 개요 |
| 2-2 래밍 모우드 쇄빙 | 4-2 쇄빙/공급선의 설계 |
| 2-3 추출 난이도 | 4-3 본 설계의 특징 |
| 3. 쇄빙선 능력 추정을 위한 수학적 모형 | 5. 쇄빙능력의 계산 및 결과의 검토 |
| 3-1 연속 모우드 | 5-1 쇄빙능력의 계산 |
| 3-2 래밍 모우드 | 5-2 계산결과의 검토 |
| 3-3 추출 난이도 | 6. 결 론 |

Abstract

The analysis and investigation are described for White's[2] equations compared to the equations of Rubneburg[3] and Milano[5] for continuous icebreaking mode, Tunik[8-1] and Ghoneim[8-2] for ramming icebreaking mode.

Calculation results compare reasonably well with published model-scale and full-scale icebreaker data by Baker[1] and Dick[11].

During continuous and ramming mode operation, using characteristics of an icebreaker, downward force on ice and standard ice thickness broken are predicted.

Additionally draft, trim and extraction difficulty are also predicted. The bow part lines of an icebrea-

* 正會員, 韓國海洋大學 大學院 碩士課程 船舶工學科 船舶設計 專攻

** 正會員, 韓國海洋大學 船舶工學科 教授

king/supply vessel is designed aiming to maximize the ice breaking capability as following conditions-low bow angle(20 degrees) at designed waterline, small spread angle complement (6 degrees) at designed waterline, small spread angle complement (6 degrees) and high propeller thrust (220tons). with plow, two reamers and wave type bumper.

기 호 설 명

- E_i =extraction thrust, 추출추력 (kg)
- $F, F_{BZ}, F_{BZC}, F_{BZR}, F_z$ =氷을 깨는데 필요한 힘, 수직력 (kg, MN)
- H =평균홀수 (m)
- h, h_c, h_r =氷의 두께 (m)
- T =thrust, 추력 (kg)
- T_m =1m침하 kg (kg)
- T_{IB} =전진추력 (kg)
- $Trim_c$ =연속모우드에서의 트림 θ (degree, radian)
- V_i =충돌속도 (m/s)
- V_o =氷과접촉하기전의 碎氷船의 속도 (m/s)
- W.R.=White Ratio
- Z, Z_c =중심의 수직위치(+아래쪽) (m)
- β =spread angle complement, 전개여각 (degree, radian)
- ϕ =bow angle, stem angle, 船首角 (degree, radian)
- η_1 =碎氷계수
- μ =氷의 동점성계수
- μ_3 =氷의 정점성계수
- σ =氷의 강도,氷의 곡강도 (kg/cm²)
- ϕ_s, ϕ_p =마찰력 방향각 (degree, radian)

1. 서 론

碎氷船 설계와 그들의 碎氷능력의 예측에 대한 문제는 지금까지 造船학자 및 기술자에 의하여 碎氷船의 선형설계와 그들이 작업을 해야하는 환경에 관한 定性的 연구는 많은 진전이 있었다.

그동안 축적된 경험과 기술로 碎氷船의 선형은 비교적 잘 설계되고 있으나 碎氷능력을 추정하고 분석하여 이 결과를 실제의 설계에 적용한 예는

별로 발표된 것이 없다.

碎氷船의 碎氷능력을 추정하는 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다.

첫째는 실제 대응하는 모형선과氷의 왁스 모형을 만들어 모형실험을 하여 실선자료와의 상관관계를 따져서 추정하는 방법이며 둘째는 碎氷船의 행동에 관하여 수학적 모형을 세워서 이로부터 이론적으로 그 능력을 추정하는 방법이다.

첫째 방법에 있어서는 고르지 못한 성질을 갖는 실제氷에 대응하는 모형氷의 재현이 어려울 뿐 아니라 경제적으로도 비싼 방법이며 현재로서는 이 방법이 定量的인 것보다 定性的으로 확인 될 뿐이다.

본 논문에서는 둘째방법을 사용하여 碎氷船의 능력에 영향을 주는 요인들인 래밍 모우드(Ramming mode), 연속 모우드(Continuous mode), 추출 난이도(Extraction difficulty)를 향상시키는 인자를 전산화하여 계산한 결과와 D.Baker[1] 등에 의하여 발표된 MV Arctic호의 원래의 선형 및 개조된 선형의 모형 및 실선 자료와 비교하였다.

여기서 R. M. White[2]의 추정식 등을 사용하여 평坦氷에서의 碎氷 능력이 훌륭한 극지碎氷型流水공급선의 船首형상을 설계 및 컴퓨터 그래픽(CAD)화 함으로써 북극 지역에서의 가스, 광물 자원 및 석유등의 개발에 참여할 수 있는 부가가치가 큰 碎氷型 선박설계를 가능하게 하였다.

2. 碎氷 문제의 공식화 및 가정

碎氷船 船首의 전용어를 Fig.1에, 시간의 함수로서의 하향력을 Fig.2에 표시 하였으며, 선박과氷이 접촉하는 순간 1초내에 약 2000톤의 힘이 船首部에 작용하므로 구조상 이 힘에 견디어야 한다. 이상화된 碎氷과정 모형은 Fig.3에 표시하였다. 여기서 부채꼴 방향의 균열과 원둘레 방향

의 균열이 발생하는 것을 보여주고 있다.

2-1 연속 모우드 碎氷

Runeburg[3]는 일반적으로 碎氷과정을 처음으로 시험한 사람으로 믿어진다. 그의 방법은 연속 모우드 碎氷을 전개하여 많은 후속 연구자들에 대단한 영향을 주었다. 예를 들면 Vinogradov[4], Milano[5] 및 White[2]는 Runeburg[3]가 처음 인용하였던 것과 거의 동일한 방법으로 碎氷하는 선박의 船首에서의 힘을 추정하였다.

동일한 碎氷船의 특성을 이용하여 Runeberg [3], Milano[5] 및 White[2]식 등으로 계산한 것을 Fig. 4에 표시하였다. 이상의 식중에서 본 논문에서는 White[2]의 방법을 적용하였다.

래밍에서와 같이 氷에 대항하여 작용하는 하향력 F_{BZ} 를 길이, 폭, 흘수, 배수량 및 추력 같은 여러가지 인자들의 함수로 결정하는 것이다. 즉, 힘과 모우먼트들의 합에 근거를 두어, 다음의 (1) 식을 얻을 수 있다.

$$\sum F_z = \Delta + T_{IB} \sin \theta - (\Delta + T_m H) - F_{BZ} = 0 \quad (1)$$

여기서 $\sum F_z =$ 하향력(kg)

$\Delta =$ 배수량(kg)

$T_{IB} =$ 氷에 작용하는 추력(kg)

$\theta =$ 트림각(rad)

X방향합에 대한 식과 船首 성분에 대한 식을 사용하여 船首 밑의 하향력은 다음 (2)식과 같이 구할 수 있다.

$$F_{BZC} = T_{IB} \cos \theta \left[\frac{\cos \gamma (\cos \beta + \mu \sin \beta) - \mu \sin \gamma}{\sin \gamma (\cos \beta + \mu \sin \beta) + \mu \cos \gamma} \right] \quad (2)$$

여기서 $F_{BZR} =$ 연속모우드시 하향력(kg)

$T_{IB} =$ 전진추력(kg)

$\gamma =$ 船首角(deg)

여기서 연속 碎氷에서는 $\cos \theta \cong 1$ 로 가정하고, 신체와 氷사이의 동점성계수는 0.2로 가정한다.

배가 갖는 위치는 수직 방향 힘의 합, 모우먼트들의 합, 그리고 변수인 모우먼트에 대한 표현식들을 합성한 식에 의하여 결정된다. 단, 다음의

미지수 Z_c 는 중심의 수직위치(+가 아래쪽)이며 θ_c 는 트림각이다.

여기서 White[2]식에 의하면

$$Z_c = (b_3 c_4 - b_4 c_3) / (a_3 b_4 - a_4 b_3) \quad (3)$$

$$\theta_c = (a_4 c_3 - a_3 c_4) / (a_4 b_3 - a_3 b_4) \quad (4)$$

여기서 $a_3 = T_m$

$$b_3 = T_m (LCG - LCF)$$

$$c_3 = F_{BZ}$$

$$a_4 = F_{BZ} / \tan \gamma$$

$$b_4 = F_{BZ} (H - KG) + \frac{(L/2 - LCG)}{\tan \gamma} - (\Delta - F_{BZ}) GM_1$$

$$c_4 = F_{BZ} (L/2 - LCG)$$

따라서 위의 Z_c 와 θ_c 에 대한 결과로부터 船首 및 船尾에서의 트림과 흘수들은 쉽게 계산된다.

$$\text{Draft forward}_c = df_{aw} + Z_c - \theta_c (L/2 - LCG) \quad (5)$$

$$\text{Draft aft}_c = da_{aw} + Z_c - \theta_c (L/2 - LCG) \quad (5)$$

$$\text{Trim}_c \text{ deg} = \theta_c \times 57.296 \quad (7)$$

여기서 첨자 c는 연속(continuous)를 나타내며 첨자 sw는 無氷海水(sea water)에서의 흘수를 나타낸다.

Table 1의 碎氷船들의 Fig. 5, Fig. 6에서, Wind호, Glacier호 및 Lenin호는 한직선 또는 곡선상에 있으며 船首角과 전개여각이 작은 본 설계 船首보다 하향력 및 표준 氷두께가 작은 것을 알 수 있다. 즉, 碎氷船의 설계시 연속碎氷에서 발생하는 하향력을 증가시키는 것은 다음과 같은 것을 알 수 있다.

- ① 船首角의 감소
- ② 전개여각의 감소
- ③ 氷에 작용하는 추력의 증가

이 특성들은 연속 碎氷 뿐만 아니라 래밍 碎氷 특성도 향상시킨다.

2-2 래밍 모우드 碎氷

White[2], Vinogradov[4], 및 Shimansky[6]는 浮氷과 충돌시의 碎氷과정에 대한 수학적 모형의 수립, 전진하는 선박에서의 운동에너지 변환 및

프로펠러 추력의 氷板 표면과 수직한 분력의 추정 방법을 발전시켰다. White[2], Tunik[8-1], Ghoneim[8-2] 및 Johansson[8-3]의 식을 Fig. 7에서 비교하였고 White[2]의 방법을 적용하였다.

碎氷船에 의하여 전개되는 하향력 추정을 위하여, White[2]가 제안한 식은 다음 (8), (9)식과 같다.

$$F_{BZR} = 2.28 \cdot V_i \cdot (W \cdot R)^{0.845} \cdot \Delta^{0.845} \quad (8)$$

여기서 $W \cdot R = 0.000234 \cdot (10.72 + B/H) \cdot (0.1833 + C_w) \cdot (1.652 - C_B) \times (6.14 - \beta^2) \cdot (0.725 - \mu) \cdot (1.718 - \gamma)$ (9)

F_{BZR} = 氷에 작용하는 수직력(kg)

Δ = 배수량(kg)

V_i = 충돌속도(m/s)

B/H = 폭/홀수비

C_w = 수선면적 계수

C_B = 방형비척 계수

β = 전개여각(rad)

μ = 동마찰계수, 0.2

γ = 船首각(rad)

Fig. 8에서 碎氷船의 설계시 래밍에 의한 하향력을 증대시키기 위하여 다음의 사항들이 필요함을 알 수 있다.

- ㉠ 배수량의 증가
- ㉡ 충돌속도의 증가
- ㉢ 船首角(γ)의 감소
- ㉣ 전개여각(β)의 감소
- ㉤ 동점성계수의 감소
- ㉥ C_B 의 감소
- ㉦ C_w 의 증가
- ㉧ 폭-홀수비의 증가

2-3 추출 난이도

일단 전진 운동이 멈추면 船首에 작용하는 정점성은 동점성보다 큰 량을 갖게 된다. 이때 碎氷船은 저절로 뒤로 물러 나지 못하고 뒤로 미는 추력이 필요하다. 抽出推力가 White[2]식은 다음과 같다. 즉, 추출 추력 E_t 는

$$E_t = \frac{F_{BZA}}{\left(\frac{a_7}{b_7}\right) \cos\theta_4 - \sin\theta_4} \quad (10)$$

여기서 $a_7(\cos\beta)\cos(\gamma+\theta_4) + \mu_s\sin(\gamma+\theta_4)$

$b_7(\cos\beta)\sin(\gamma+\theta_4) + \mu_s\cos(\gamma+\theta_4)$

μ_s = 정점성 계수로서, 0.6으로 가정하였다

θ_4 = 트림각(rad)

배를 氷으로 부터 끌어 내는데 필요한 추출 추력은 船首밑의 하향력과 정점성이 작용하는 船首角에 직접 관련되기 때문에 하향력을 증가시키는 인자의 변화는 또한 필요한 추출 추력의 증가를 가져온다.

Fig. 9에서 알 수 있듯이 정점성 계수의 감소는 추출 추력의 감소를 일으킨다. 여기서 세로 축은 추출 추력을 최대 계선 추력으로 나눈 값인 추출 난이도(Extraction difficulty index)을 사용하였다. Table 1의 碎氷船들의 추출 난이도는 Fig. 10과 같다.

하향력을 증가시키기 위하여는 船首角을 줄이는 것이 요구되지만, 船首角을 줄이는 것은 실제로 정점성의 감소없이 행하여 질 수 없다. 정점성을 감소시키는 방법은 船首를 저점성 코팅을 사용하여 매끈하게 만듦으로서 어느정도 달성할 수 있다.

Fig. 11, Fig. 12에서 碎氷船 船首를 더욱 뭉툭하게 할수록, 즉 전개여각이 작을수록 하향력의 증가와 추출난이도를 감소시킨다. 이 내용들을 4가지로 요약하면 다음과 같다.

첫째 - 전개여각의 경우를 제외하고, 하향력을 증가시키는 인자들의 변화는 또한 추출 난이도를 증가시킨다.

둘째 - 전개여각의 감소는 하향력 특성을 개선하는 한편, 추출 난이도를 현저히 감소시킨다.

셋째 - 하향력을 증가시키는 동점성의 감소는 추출 추력을 감소시키는 정점성의 감소를 가져온다.

넷째 - 정점성의 감소는 추출 추력을 현저히 감소시킨다.

3. 碎氷船 능력 추정을 위한 수학적 모형

船首 밑의 하향력에 대한 예측이 곤란함으로 깎 수 있는 氷의 두께로 표시하는 것이 편리하다.

또한 氷은 서로 다른 형상, 크기, 염도 및 온도를 갖고 있기 때문에 탄성율, 동점성계수, 정점성계수, 포아송비, 압축 파괴 응력 그리고 인장 파괴 응력등이 모두 다르다. 즉 부하율이 중요한 영향을 끼친다. Fig. 13, Fig. 14에서 부하율의 예를 보여준다.

따라서 깨어지는 氷의 두께를 예측하기 위하여는 氷層이 단일 분자로 구성되어 있으며 고르다는 가정이 수반되어야 한다. 또한 파괴는 굽힘에 기인한 인장력에 의하므로, 인장 파괴 응력에 대한 합리적인 값이 가정되어야 한다.

이 표준 단일 균일층의 인장 파괴 응력은 16.5 kg/cm²로 가정된다.

따라서 D.E. Nevel[9]의 식을 사용하면

$$F = coh^2 \quad (11)$$

단, F = 氷에 작용하는 수직력(kg)
 σ = 인장파괴응력(kg/m²)
 h = 氷層두께(m)
 c = 상수(425)

윗식에서

$$F = (425)(16.5)h^2 = 7020h^2 \quad (12)$$

3-1 연속 모우드

앞서 보인 바와 같이 연속 碎氷시 船首 밑의 수직력은 (2)식에 의하여 추정되며 (12)식에서 다음의 (13)이 유도된다.

$$h_c = \left[\frac{F_{BZC}}{7020} \right]^{0.5} \quad (13)$$

h_c = 碎氷시 깨진 표준 氷의 두께(m)

3-2 래밍 모우드

래밍의 영향에 대한 해석적 解는 R.M.White[2]의 식으로 구하였으며, (12)식에서 (14)이 유도

되었다.

$$h_r = \left[\frac{F_{BZR}}{7020} \right]^{0.5} \quad (14)$$

단, h_r = 래밍의 결과로 깨진 표준 氷의 두께(m)

만일 氷이 실제로 변하지 않는다면, 래밍의 결과로 나오는 홀수와 트림은 (3), (4), (5), (6), (7)식을 이용하여 예측할 수 있다.

3-3 추출 난이도

이것은 後退擊船推力(the backing bollard thrust available)과 비교되었을 때 의미있는 값이 된다. 여기서 후퇴 계선 추력은 前退擊船推力(the ahead bollard thrust)의 일정한 분수라고 가정한다.

따라서 추출난이도 율은 다음(15)식과 같이 정의한다. 추출 난이도 율은 0.5가 $\mu_s = 0.6$ 으로 하였을 때 일반적으로 상한이라 생각한다.

$$\text{추출난이도 율} = \left[\frac{E_i}{T_{IB}} \right] \quad (15)$$

여기서, T_{IB} = 전진추력(kg)

추출 난이도 율이 영이라는 것은 단순히 추출 추력이 필요없다는 뜻이며 음의 추출 난이도 율은 배가 저절로 미끄러져 빠져 나오는 것을 뜻한다.

3-4 인자의 가정

앞서 주어진 식들은 碎氷船의 능력을 해석적으로 예측하는 것들이다. 위 식들의 解를 구하는 과정에서 주어지지 않는 항들은 다음과 같이 가정되었다.

$$C_b = \left[\frac{\Delta}{(1.0252)(LBP)(d)(B)} \right]$$

단, Δ = 배수량 (kg)

$$KB = \frac{(C_w)(b)}{(C_b + C_w)} \quad (m)$$

$$BM_1 = \frac{0.087 C_w^{2.8} (LBP)^2}{(C_b)(b)} \quad (m)$$

$$KM_1 = KB + BM_1 (m)$$

$$KG = 0.95(d) \quad (m)$$

$$GM_1 = KM_1 - KG (m)$$

$$LCF = -0.005(LBP)(m)$$

$$LCG = -0.0096(LBP)(m) \quad (-는 배 중앙에서 뒷쪽)$$

이상의 식들을 이용하여 碎氷 능력에 영향을 미치는 얼음의 두께, 충돌속도등 30여가지의 요인들을 컴퓨터프로그래밍하여 이를 바탕으로 1천 8백여회에 걸친 컴퓨터시뮬레이션 끝에 이상적인 컴퓨터그래픽 형상설계를 하였다.

4. 船首 형상의 설계

4-1 개요

본 논문에서는 Table 1의 저자의 船首형상 특성을 가지는 극지역 해에서 운항 가능한 碎氷/공급선을 설계하였으며, Canmar의 Kigoriak호(1979), Robert Lemeur호 및 Swedish National Marine Administration의 Oden호(B.M.Johansson [10])를 참조하였다.

EWS Sun micro system (Model Sun3/60) 컴퓨터와 컴퓨터 그래픽 계통의 Autokon Interactive System의 Autodef-sculpture surface CAD프로그램에서 OFFSET 테이블을 계산하고 Auto CAD LISP를 이용하여 Fig. 15, Fig. 16과 같이 본 설계의 碎氷船首부분 선도를 작성하였다.

4-2 碎氷/공급선의 설계

(1) 보통 선형 결정과 동일한 수순에 의하여 주요 치수가 결정된 상태에서 碎氷 능력을 향상시키는 요소인 船首角 및 전개여각 만을 변경하여 Table 2와같이 4가지로 비교하였다. 碎氷 능력을 계산한 결과는 Table 3이다.

여기서 4척의 碎氷船중에서 거의 연속碎氷에서는 A선과 D선이 같으며 래밍碎氷에서는 A선과 C선이 같다.

따라서 동일한 주요 치수의 4척중에서 A선으로 설계하는 것은 적합하다고 생각된다.

(2) Fig. 17에서 알 수 있듯이 분선의 길이, 깊이, 흘수는 다른 碎氷船과 유사한 범위에 있으며, Fig. 18에서 마력과 선폭비가 다른 碎氷船들 보다 약간 큰 것을 알 수 있다.

(3) Fig. 19에서 수선각(waterline angle)은 커졌으나 Fig. 20과 같이 플레어각(flare angle)을 최대로 높였다. 전용 碎氷/공급선이기 때문에 碎氷 능력에 비중을 두었다.

4-3 본 설계의 특징

본 설계에서 碎氷船의 碎氷 능력을 향상시키기 위하여 다음 사항을 고려하였다.

(1) 하향력을 최대로 하기 위하여 船首角은 20°로 하고, 전개여각은 Fig. 21과 같이 6°로 낮게 하였으며, 큰 플레어각을 갖도록 하였다.

(2) 배의 길이 전체에 걸쳐 쟁기(plow)를 설치하여 船首멈춤(fore stopper)역할뿐 아니라 수로갓으로 氷을 밀거나 프로펠러에 氷편이 닿지 않도록 하였다.

(3) 중앙 평행부 보다 넓은 배길을 碎氷하고 중앙부 마찰을 줄이기 위하여 2.0m의 확공기(擴孔器, reamer)를 양현에 두었다.

(4) 경사 조건에서 선회 능력을 향상시키고, 보다 넓은 배길을 碎氷할 수 있도록 3.0m의 선회용 확공기를 양현에 설치하였다.

(5) 앞의 확공기와 선회용 확공기 사이에 파도형 돌출부를 만들어, 깨진氷 제거를 양호하게 하였다.

5. 碎氷능력의 계산 및 결과의 검토

5-1 碎氷 능력의 계산

한국해양대학 쇄빙선 선박설계 연구팀이 개발한 프로그램을 사용하여 다음 2그룹의 선형을 계산하였으며, 이들 碎氷船의 특성은 Table 4와 같다.

(1) Bulk carrier였던 MV Arctic호의 원래의 선형(old bow-1978년 건조)과 이를 OBO로 개조한

Melville선형(modified bow-1984년)의 선도는 Fig. 22, Fig. 23이며 이들의 전개여각을 구한 것은 Fig. 24, Fig. 25이다. 碎氷능력의 계산결과를 연속모우드의 경우 Fig. 26에, 래밍모우드인 경우 Fig. 27에 비교 표시하였다.

(2) 碎氷/공급선 인 Robert LeMeur호 및 Kigoriak호의 船首部 선도는 Fig. 28, Fig. 29이며 이들의 전개여각은 Fig. 30, Fig. 31이며 선형에 관한 계산 결과는 Fig. 32 및 Fig. 33에 표시하였다.

5-2 계산 결과의 검토

(1) MV Arctic(old bow)호와 Melville(modified bow)호의 Fig. 26 및 Fig. 27에서 알 수 있듯이 연속碎氷이나 래밍碎氷에서 모두 Melville호가 양호한 것은 하향력 증가에 효과적인 배수량의 증가와 船首角 및 전개여각의 감소때문이라 사료된다.

즉 船首角은 30°에서 20°로, 전개여각은 42°에서 37°로 감소되고, 배수량은 약 370톤 정도 증가되었기 때문이다.

D.Baker의 Fig. 34, Fig. 35 및 Fig. 36과 비교하여 보면 편차는 있으나 같은 경향을 나타내고 있다. 즉 원래의 선형보다 개선된 선형 Melville호가 碎氷능력이 향상되었음을 알 수 있다.

(2) Robert LeMeur호 및 Kigoriak호 특성은 Table 4와 같으며, 이들의 계산 결과는 Fig. 32 및 Fig. 33이며, Fig. 37과 비교하였다. 계산 결과를 Baker[1]의 Fig. 34, Fig. 35, Fig. 36 및 Fig. 37을 비교정리한 것이 Table 5이다. Table 5의 碎氷능력 계산결과와 자료는

- 1) 연속碎氷의 경우 약 5~28%의 +편차
- 2) 래밍碎氷의 경우 9% 즉 10%이내의 +편차인 것을 알 수 있다.

6. 결 론

(1) 연속 및 래밍 조작을 하는 동안, 碎氷船의 치수 및 특성을 이용하여 船首하의 힘의 능력 및 깨어질 수 있는 표준 氷두께를 예측하였고, 추가적인 중요정보 즉 홀수, 트림, 추출난이도 등도 간편하게 예측하였다.

(2) Table 5와 같이 모형 및 실선 자료와 계산 결과의 편차는

- 1) 연속 碎氷시 +28%이고
- 2) 래밍 碎氷시 +10%이며

Table 3에서 본 설계의 碎氷船(A)의 능력은 연속 碎氷시 2.14m, 래밍 碎氷시 3.36m로 추정된다.

또한 R.A.Dick[11]등이 발표한 Fig. 38에서 본 설계의 碎氷성능과 비교하면 이들 船首형상의 碎氷 성능중에서 가장 양호하다.

(3) 본 방법으로 초기 설계 단계에서의 碎氷 능력을 용이하게 예측할 수 있기 때문에 선도 작성에 있어서 시간적, 경제적으로 유리하여 조선 현업 기술자들의 碎氷船설계에 도움이 될 것으로 사료된다.

참고문헌

1. D. Baker et al. : "The MV Arctic-New Bow Form and Model Testing" SNAME, Vol. 94, 1986 pp. 57-74
2. R. M. White : "Prediction of Icebreaker Capability" RINA, Vol. 112, 1970 pp. 225-251
3. R. Runeburg : "Steamers for Winter navigation and Icebreaking" ICE, Vol. CXL, Session 1899-1900, Partll
4. I. V. Vinogradov : "Vessels for Arctic Navigation" Library of congress No.(VM)451. V5 Russia 1946
5. V. R. Milano : "Notes on the Preliminary Design of Icebreakers" MS thesis, Webb INA, 1961
6. J. A. Shimansky : "Conditional Standards of Ice Qualities of a Ship" AICANSR Vol. 130, Leningrad, 1938
7. H. A. Scarton : "On the Role of Bow Friction in Icebreaking" JSR, Vol. 19, No. 1, March 1975 pp. 34-39
8. G. A. M. Ghoneim et al. : "Global Ship Ice

Impact Forces Determined from Full-Scale Tests and Analytical Modeling of the Icebreakers Canmar Kigoriak and Robert Le-Meur" SNAME. Vol. 1984, pp. 253-282

9. D. E. Nevel : "Icebreaker and Ice Modeling (Preliminary)" U. S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory Report, February, 1967.
10. B. M. Johansson et al. : "Oden-Icebreaker Technology for the Year 2000" SNAME, Vol. 97, 1989, pp. 53-83
11. R. A. Dick et al. : "An Empirical Review of the Design and Performance of Icebreakers" Marine Technology Vol. 26, No. 2, April, pp. 145-154
12. C. B. Corlett et al. : "Some Aspects of Icebreaker Design" RINA, Vol. 106, 1964, pp. 389-413
13. E. Enkvist et al. : "Model and Full-Scale Tests with an Innovative Icebreaker Bow" SNAME, Vol. 94, 1986, pp. 325-359
14. 朴命圭 高尚龍 : "碎氷船 設計의 經驗的 考擦" 韓國航海學會誌 제13권 3호 1989. 12. 30, pp. 1-21
15. 朴命圭 高尚龍 : "碎氷船 設計에 있어 碎氷模型工學에 對한 分析" 韓國航海學會誌 제14권 1호 pp. 57-67
16. 朴命圭 高尚龍 : "平坦氷에서의 船舶性能에 關한 考擦" 韓國航海學會誌 제14권 3호 pp. 75-96
17. 朴命圭 高尚龍 : "碎氷船 設計에 있어 力量 및 豫測에 關한 分析" 船員船舶 韓國船員船舶問題研究所 '91년1월31호 pp. 50-69
18. 朴命圭著 : 'AUTO LISP(CAD) 活用' 韓國理工學社 1990년
19. 朴命圭著 : 'CAD/CAM 圖形情報技術' 韓國理工學社 1990년
20. 朴命圭 · 鄭在鉉共編著 : '컴퓨터自動設計製圖' 韓國理工學社, 1991년 8월

Table 1. Characteristics of Icebreakers used in Comparisons Glacier

	Wind	Glacier	Lenin	Author's Bow
LBP(m)	80.2	88.4	128.0	90.0
B(m)	19.4	22.0	19.4	24.0
d(m)	8.8	8.5	9.2	7.0
Δ (10^3 kg)	6604	8777	16238	12100
Bow Angle (deg)	30	30	30	20
Spread Angle	43.2	43.2	43.2	6
Complement (deg)				
C_w	0.742	0.800	0.800	0.800
Max. Thrust (10^3 kg)	122	206	331	220

Table 2. Characteristics of Icebreakers used for Calculations

	A	B	C	D
LBP(m)	90.0	90.0	90.0	90.0
B(m)	24.0	24.0	24.0	24.0
d(m)	7.0	7.0	7.0	7.0
Δ (10^3 kg)	12100	12100	12100	12100
Bow Angle (deg)	20	17.7	20	17.7
Spread Angle				
Complement (deg)	6	10	10	6
C_w	0.8	0.8	0.8	0.8
Max. Thrust(10^3 kg)	220	220	220	220

Table 3. Calculation Results

	A	B	C	D
Ice thickness				
broken (continuous) (m)	2.97	2.65	2.64	2.98
Ice thickness				
broken (ramming) (m)	3.74	3.19	3.73	3.20

Table 4. Characteristics of Icebreakers used in Comparison between Results by Model /Trial and Calculations

	Arctic (old)	Melville	Kigoriak	Robert LeMeur
LBP(m)	196.6	206.2	79.3	73.0
B(m)	22.8	22.8	17.3	18.0
d(m)	10.9	10.9	8.5	5.5
Δ (10^3 kg)	37293	37667	8548	5863
Bow Angle (deg)	30	20	24	20
Spread Angle Complement (deg)	42	37	17.7	4
C _w	0.8	0.8	0.8	0.8
Max. Thrust (10^3 kg)	155	155	162	107

Table 5. Comparision between Calculations and Data by D. Baker et al

	Arctic (old)	Melville	Kigoroak	LeMeur
Ice thickness Cal. (continuous) Model/trials	1.56	1.89	1.81	1.58
(m) Diff.(%)	+28	+20	+26	+5
Ice thickness Cal. (ramming) Model/trials	1.97	2.19	3.51	3.08
(m) Diff.(%)	+9	0	NA	NA

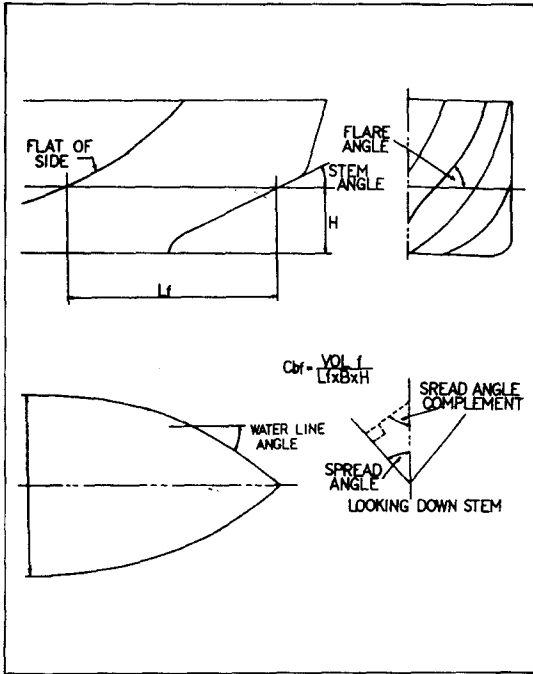


Fig. 1 Terminology of an icebreaker bow

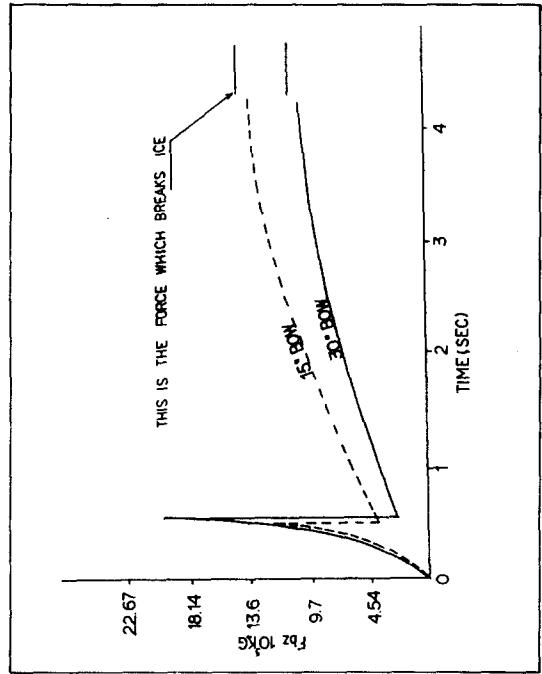


Fig. 2 Forces Downward under bow as a function of time

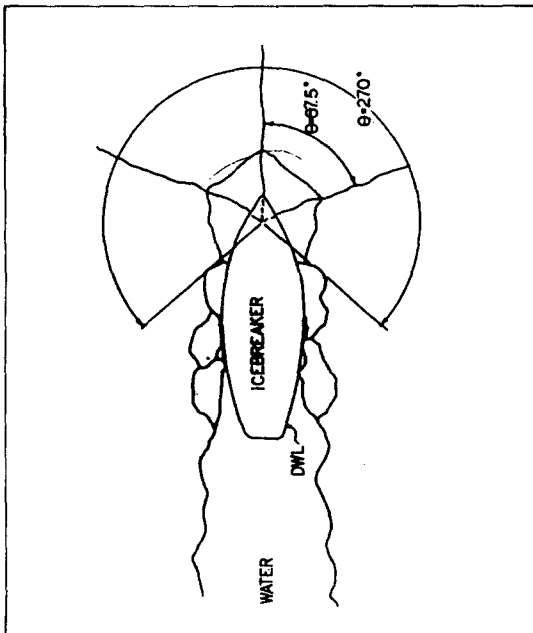


Fig. 3 Idealized path of a ramming icebreaker showing "Radial" Cracks and "Circumferential" cracks

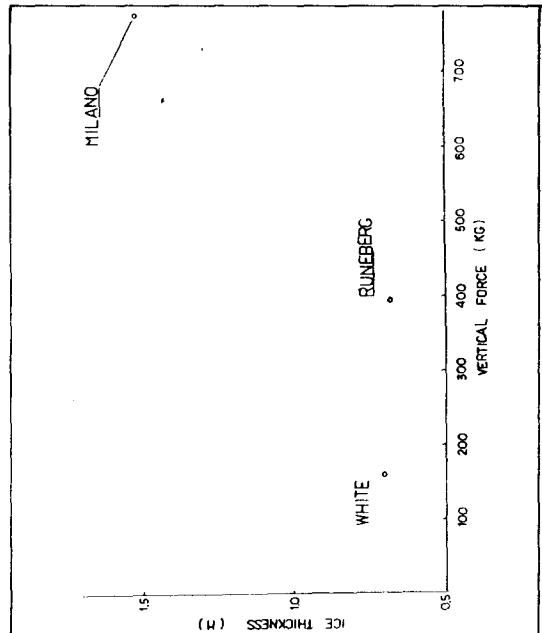


Fig. 4 Comparison of ice thickness broken as a function of vertical force

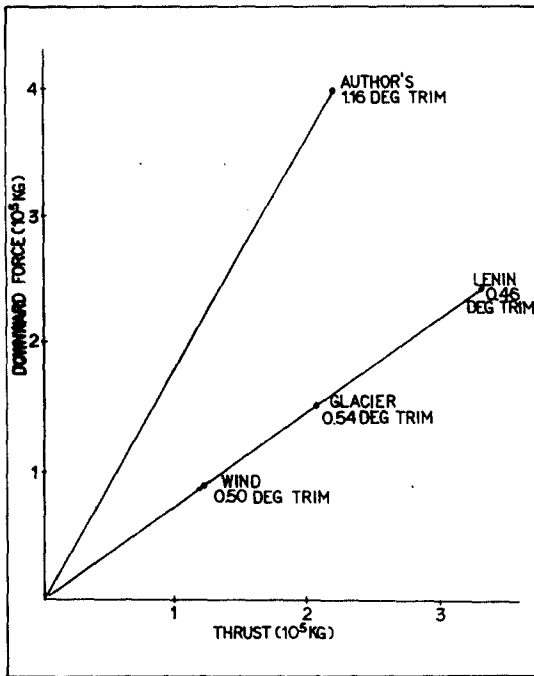


Fig. 5 Downward force on the ice during continuous mode versus thrust

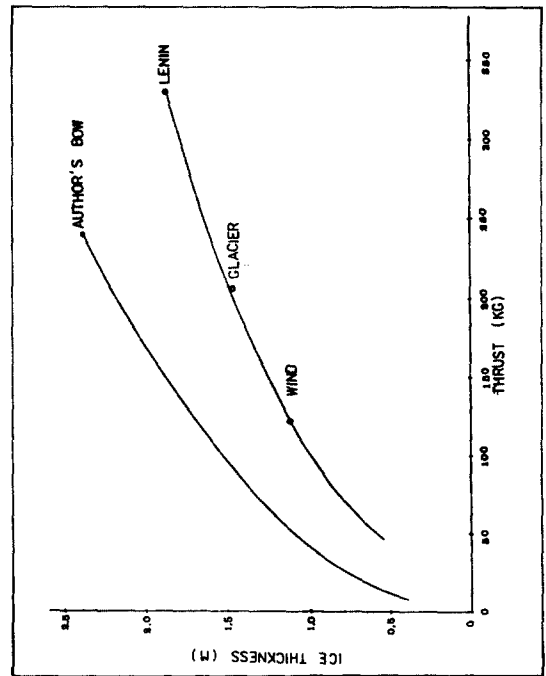


Fig. 6 Ice thickness broken versus thrust during continuous mode

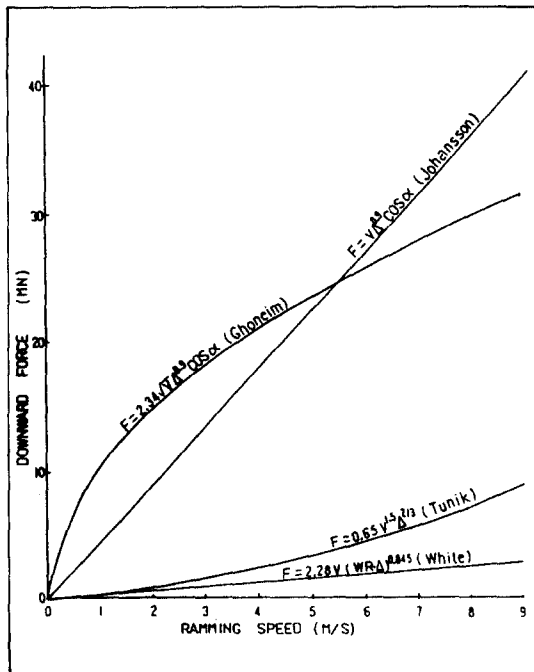


Fig. 7 Impact force-speed relationship

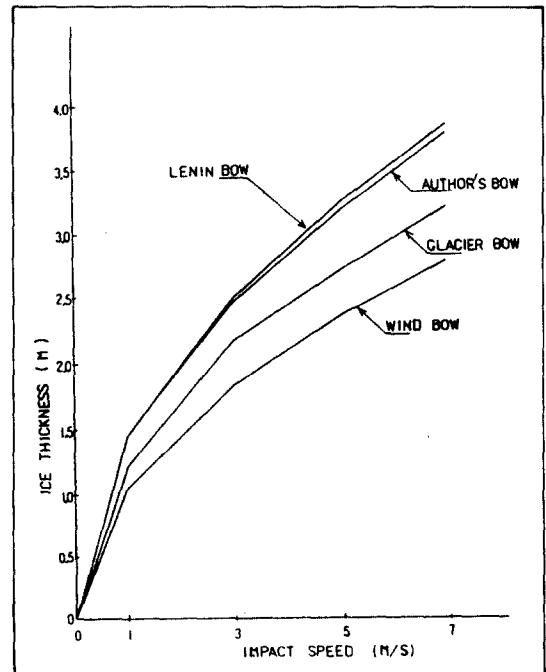


Fig. 8 Ice thickness broken versus impact speed during ramming mode

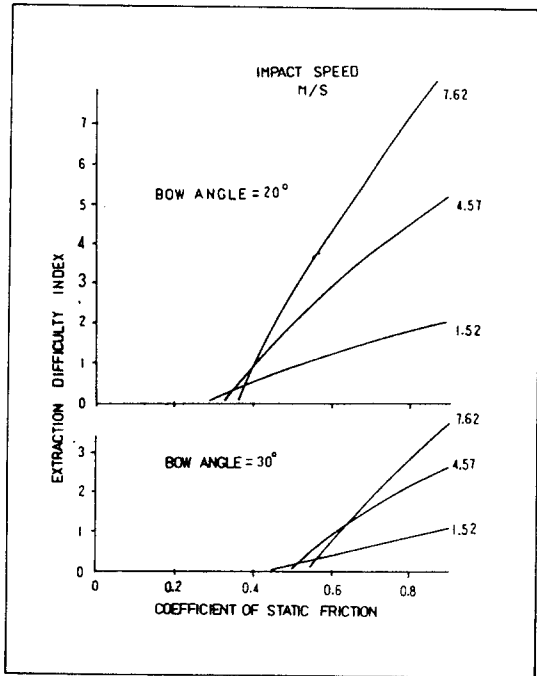


Fig. 9 Extraction difficulty index versus coefficient of static friction

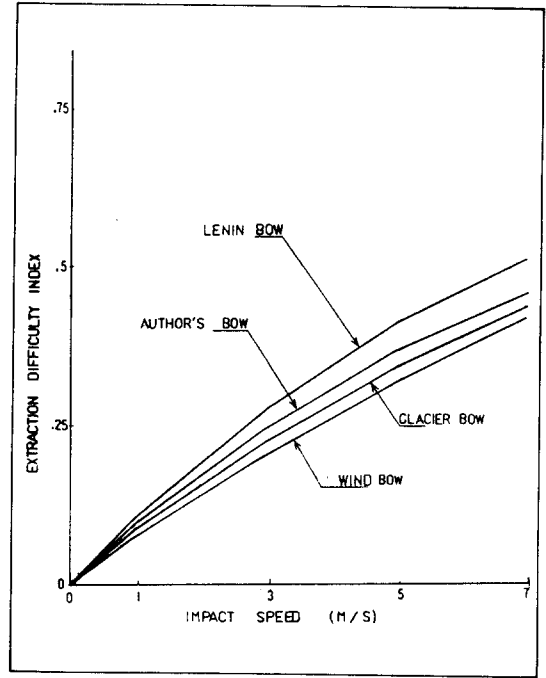


Fig. 10 Index of extraction difficulty as a function of impact speed

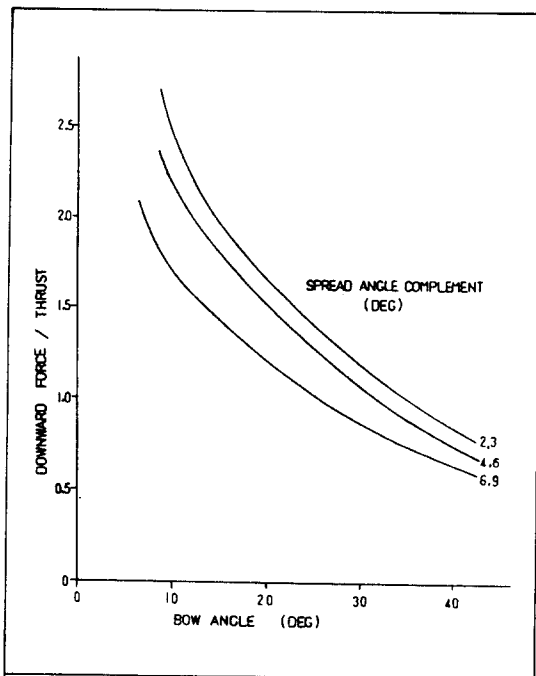


Fig. 11 Ratio of downward force to thrust versus bow angle

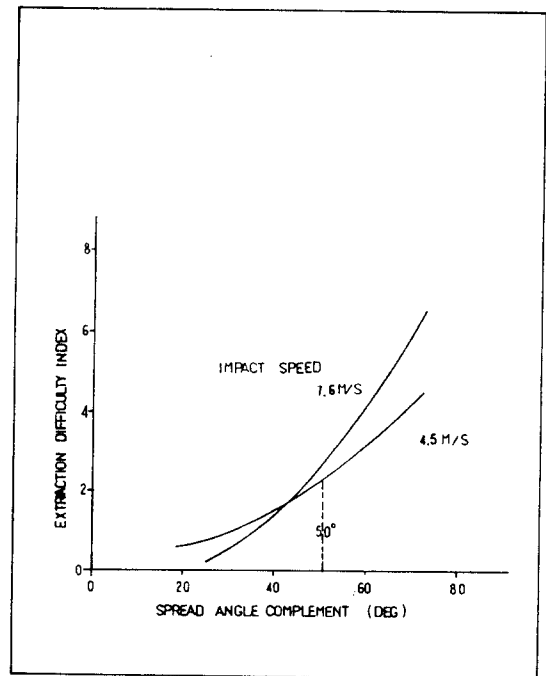


Fig. 12 Extraction difficult index versus spread angle complement

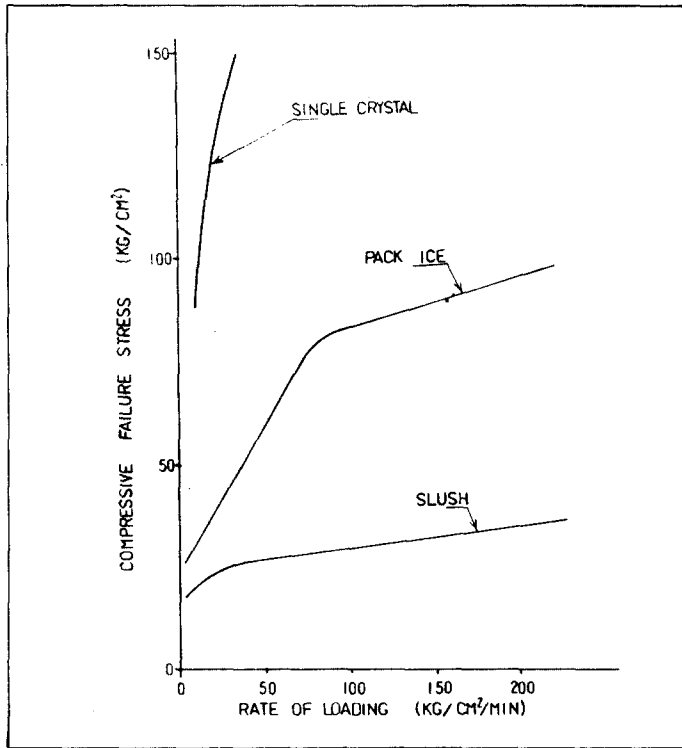


Fig. 13 Compressive Failure Stress of sea ice versus rate of loading

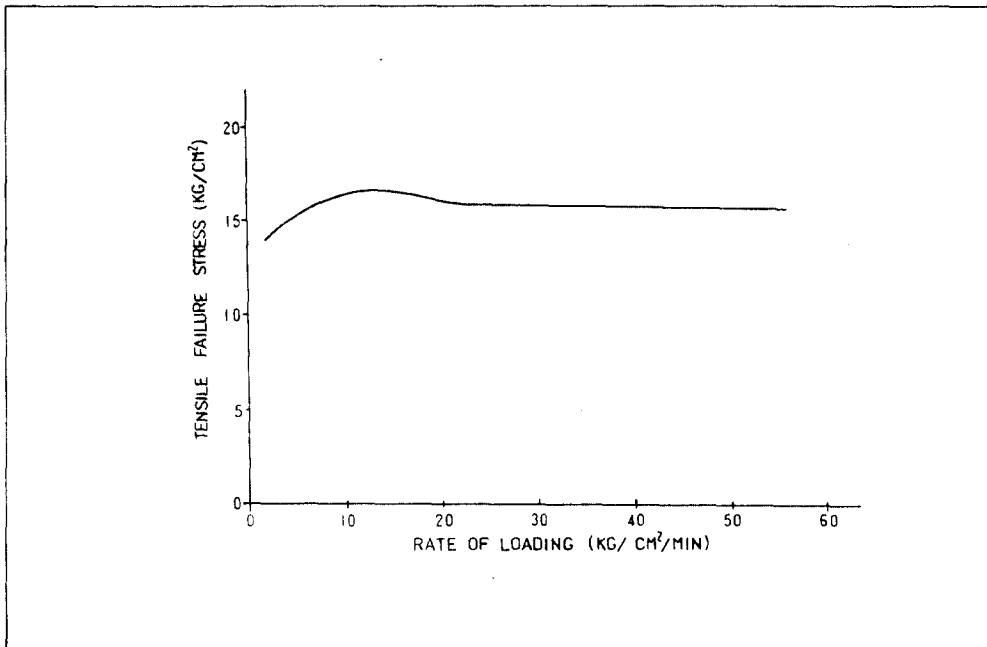
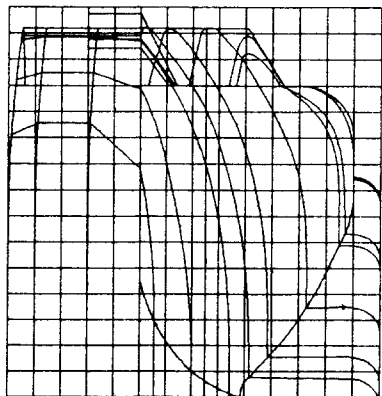


Fig. 14 Average Tensile failure stress of sea ice versus rate of loading

ICE BREAKER LINES

LENGTH B. P.	90 M	SCALE	1/100
BREADTH MLD	24 M	DATE	1991. 4. 30
DEPTH MLD	11 M		
DRAFT MLD	7 M		

BODY PLAN



PLAN & PROFILE

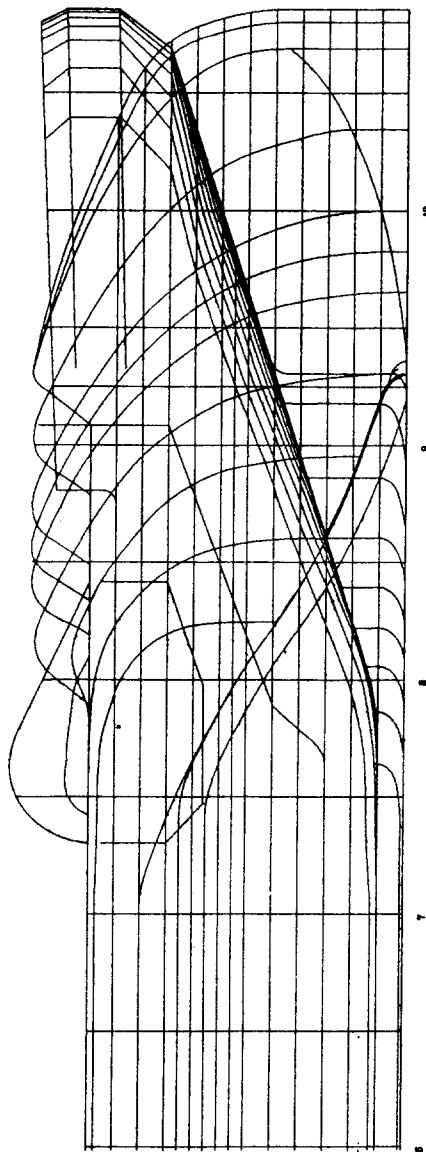


Fig. 15 Author's Lines

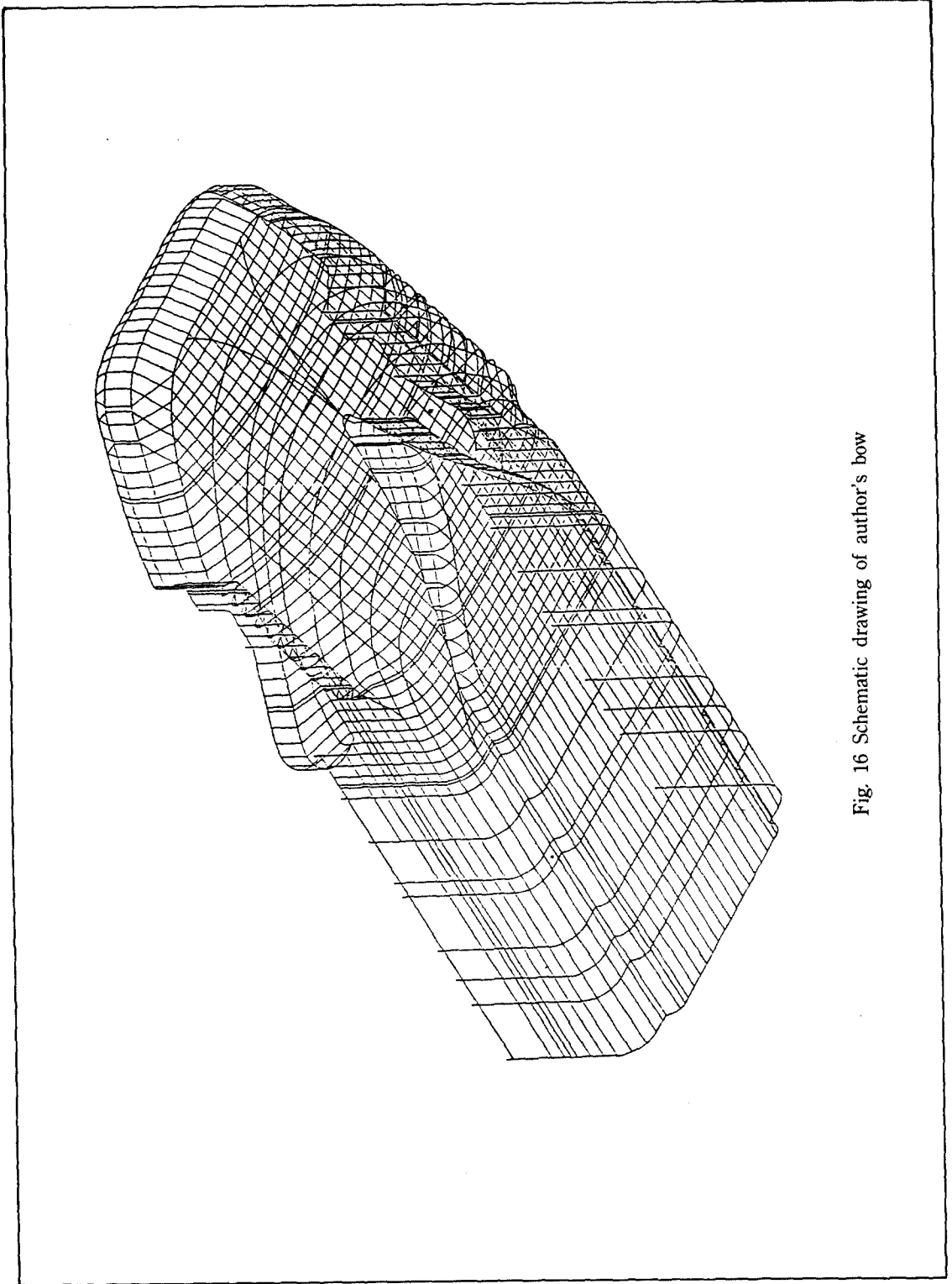


Fig. 16 Schematic drawing of author's bow

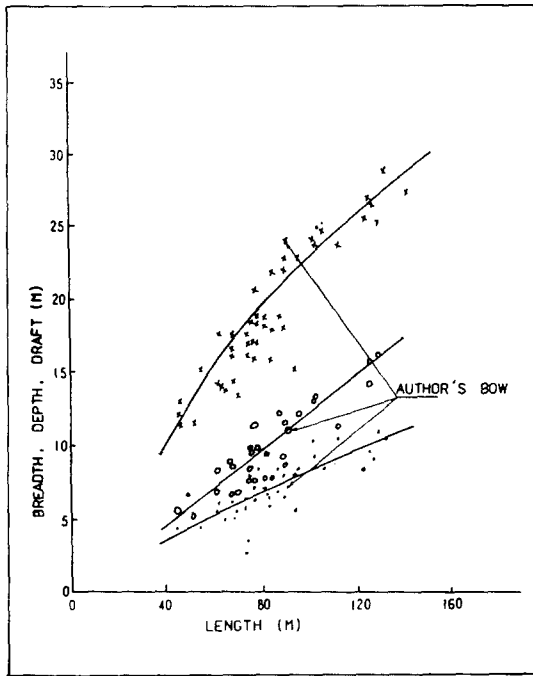


Fig. 17 Breadth, Depth, Draft as a function of length

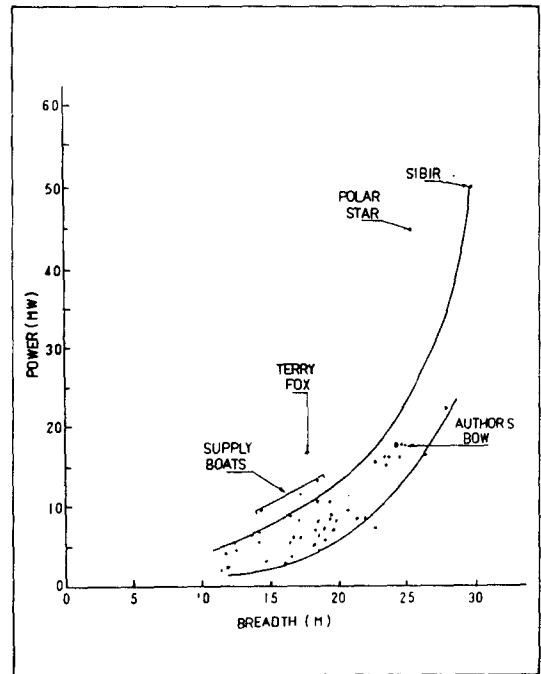


Fig. 18 Power as a function of breadth

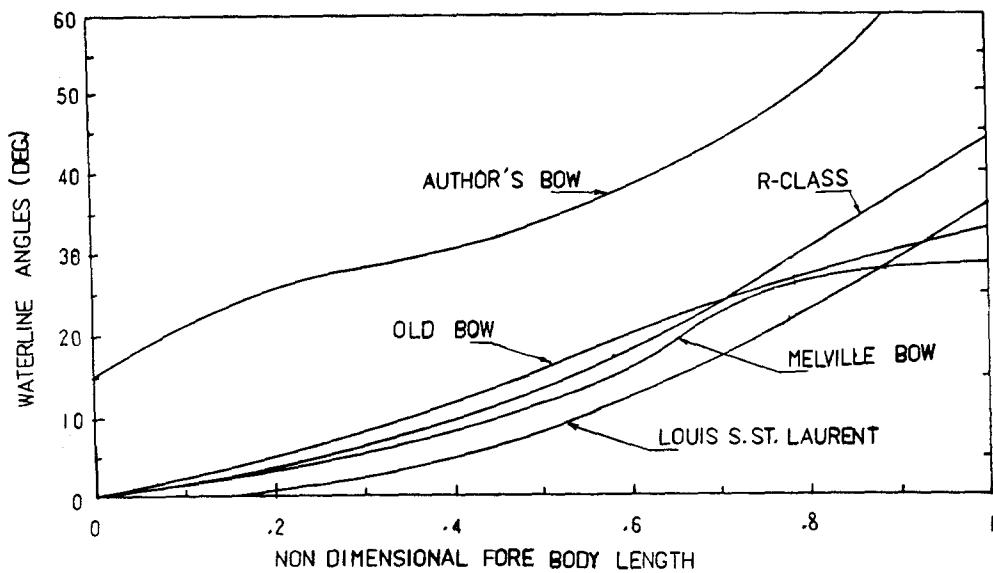


Fig. 19 Comparison of waterline angles

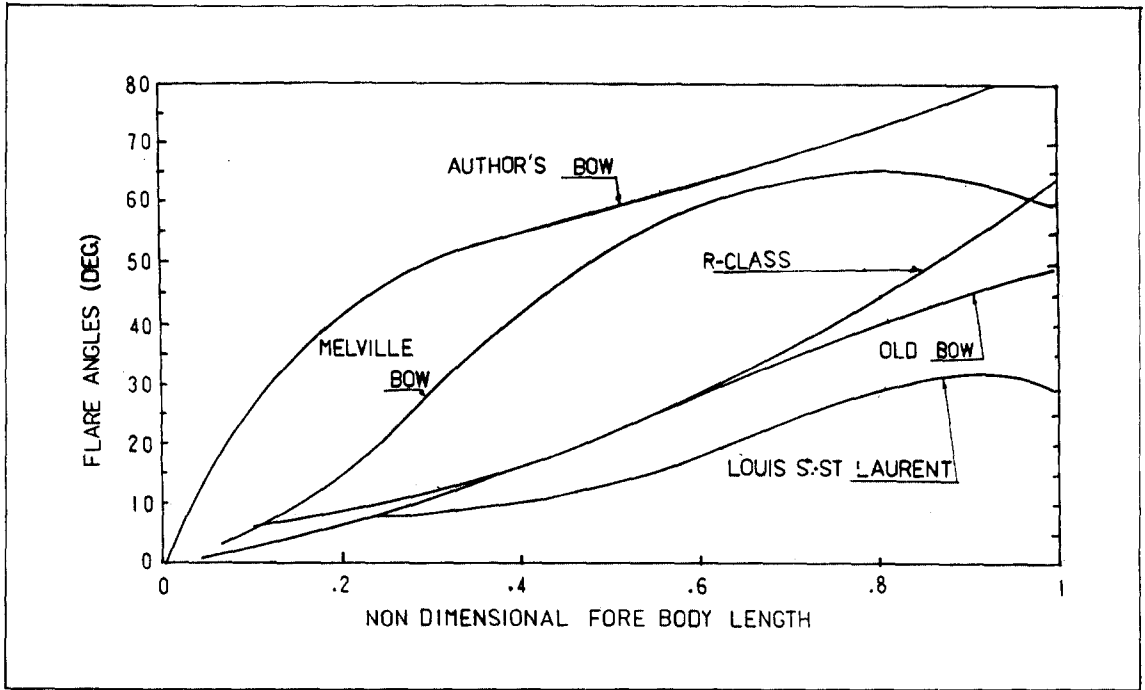


Fig. 20 Comparison of Flare angles

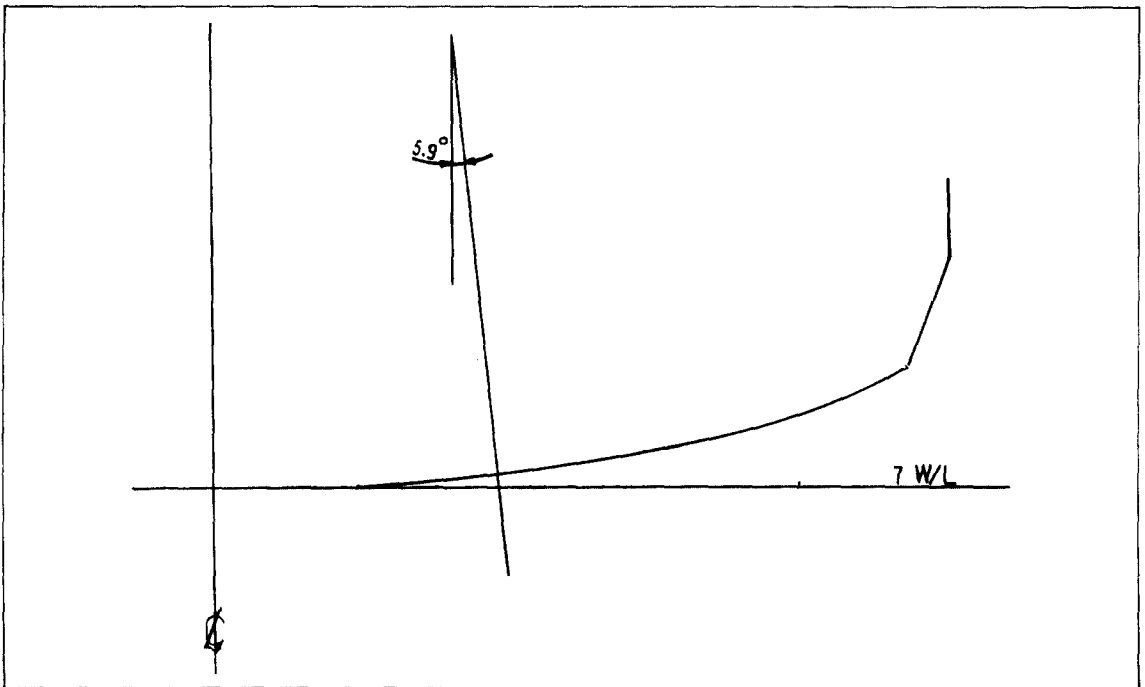


Fig. 21 Spread angle complement of author's bow

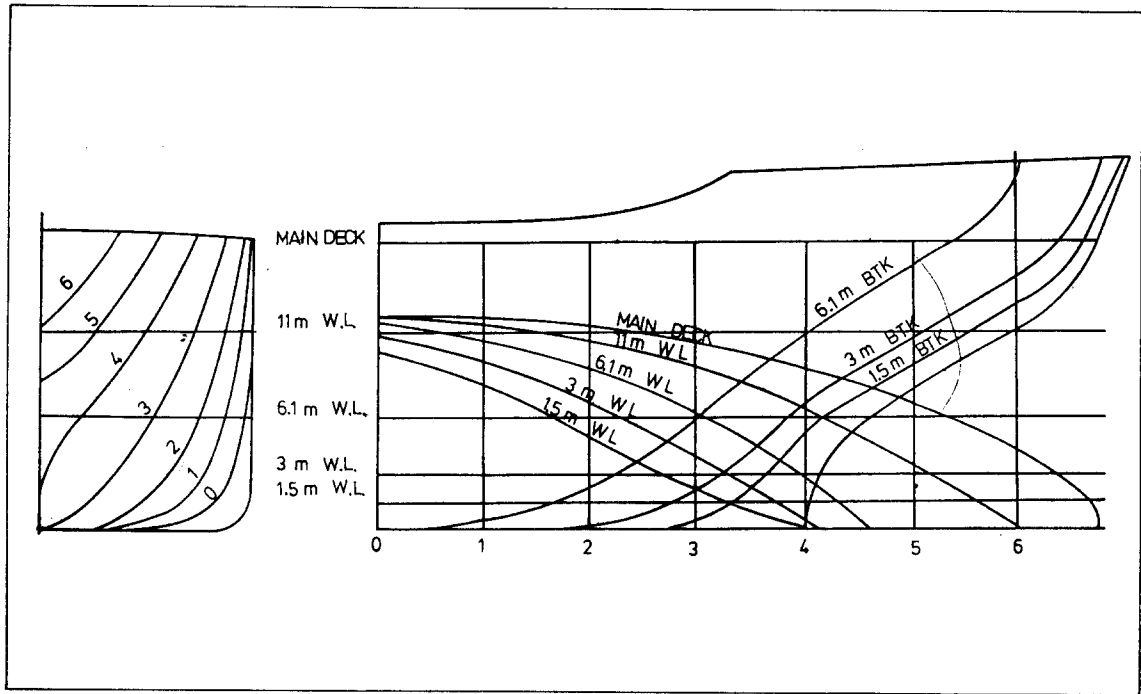


Fig. 22 Old MV arctic lines

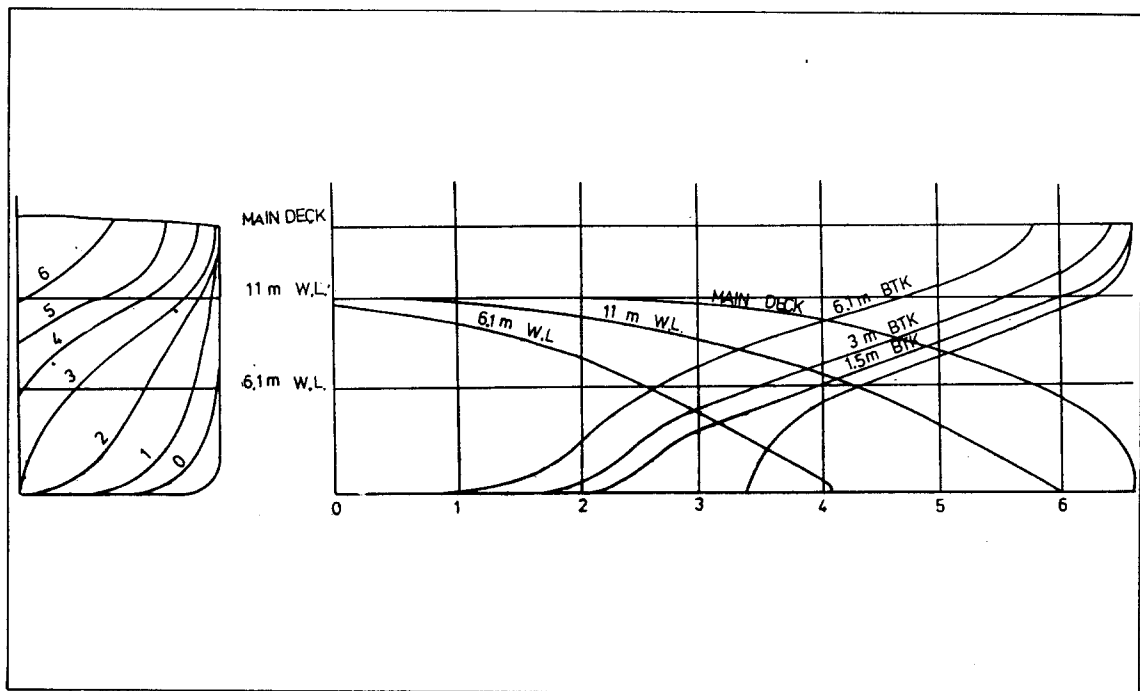


Fig. 23 Melville bow lines

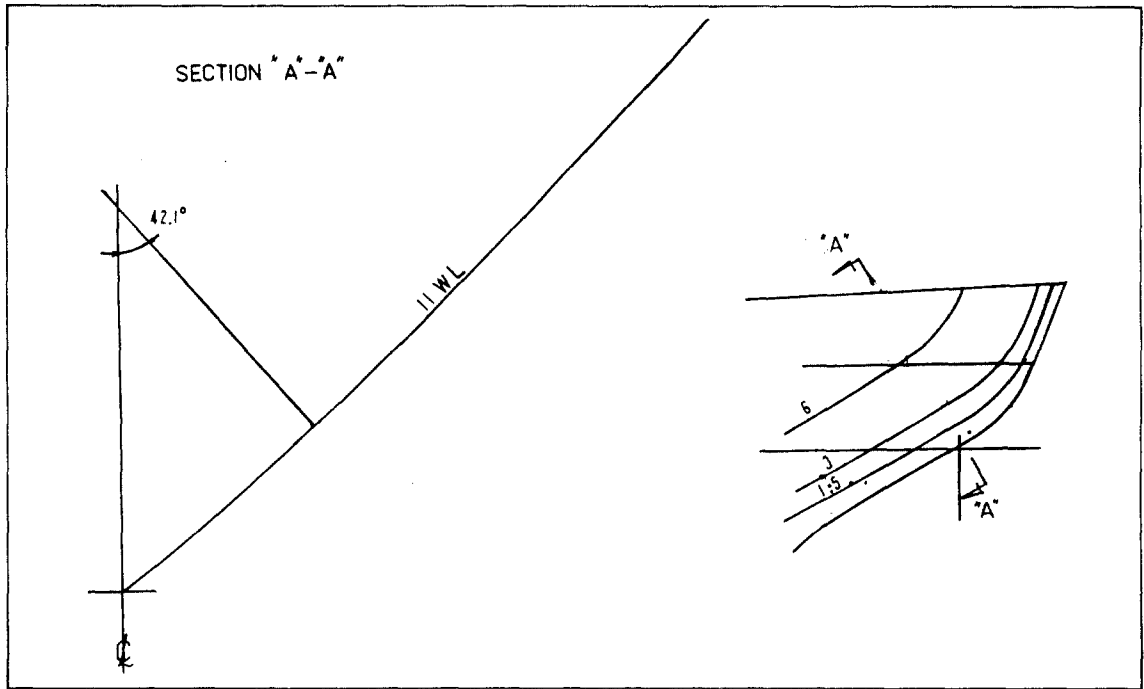


Fig. 24 Spread Angle complement of old MV arctic bow

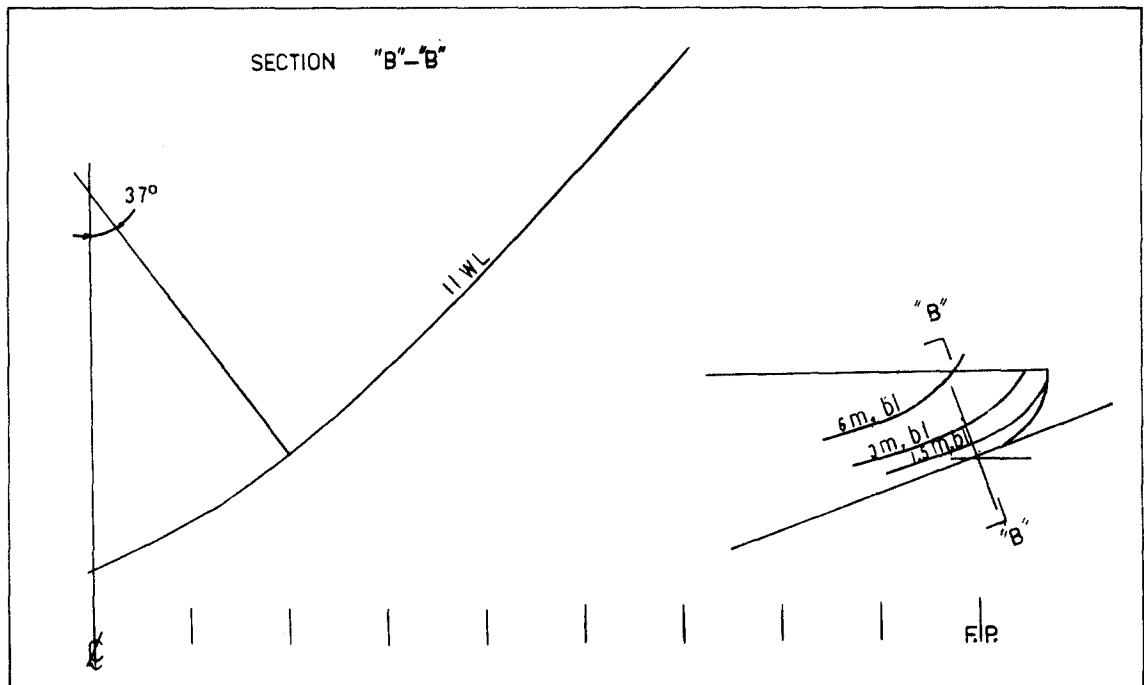


Fig. 25 Spread Angle complement of Melville bow

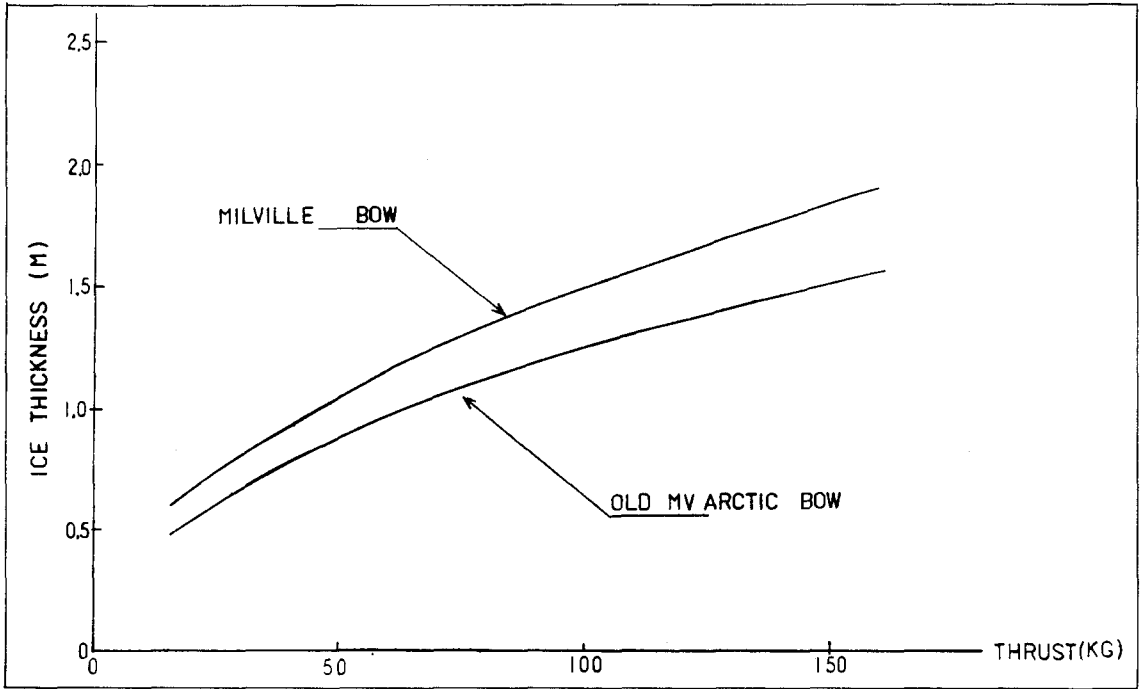


Fig. 26 Ice Thickness broken versus thrust during continuous mode

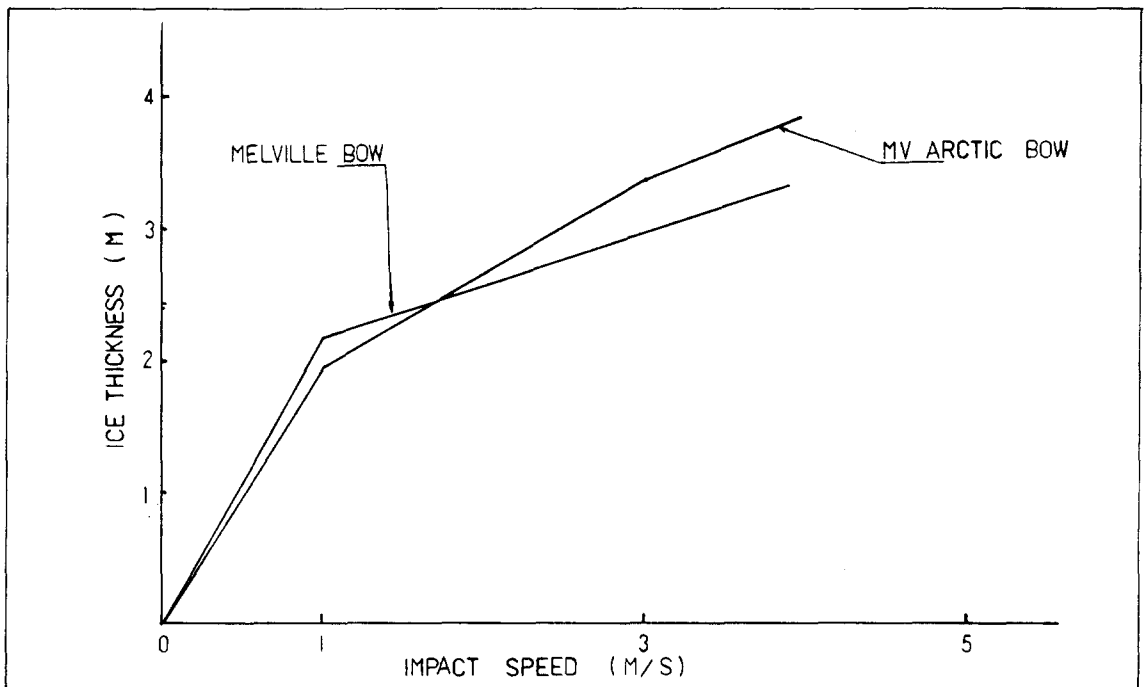


Fig. 27 Ice Thickness Broken Versus Impact speed during Ramming mode

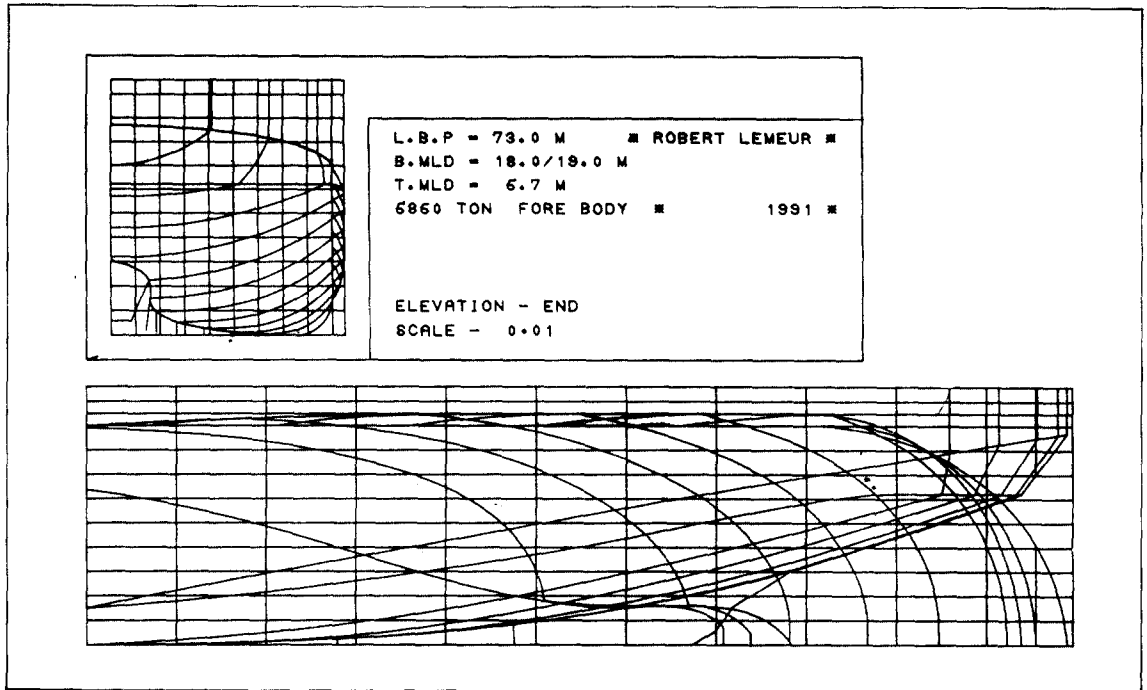


Fig. 28 Lines of Robert lemeur

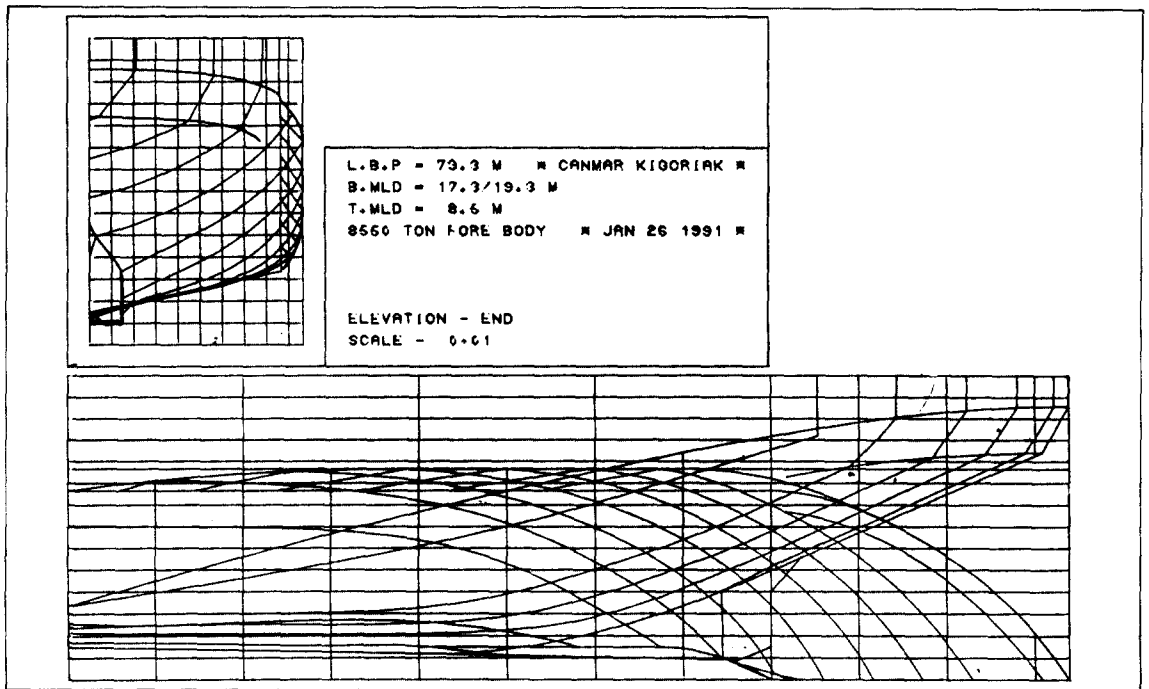


Fig. 29 Lines of Kigoriak

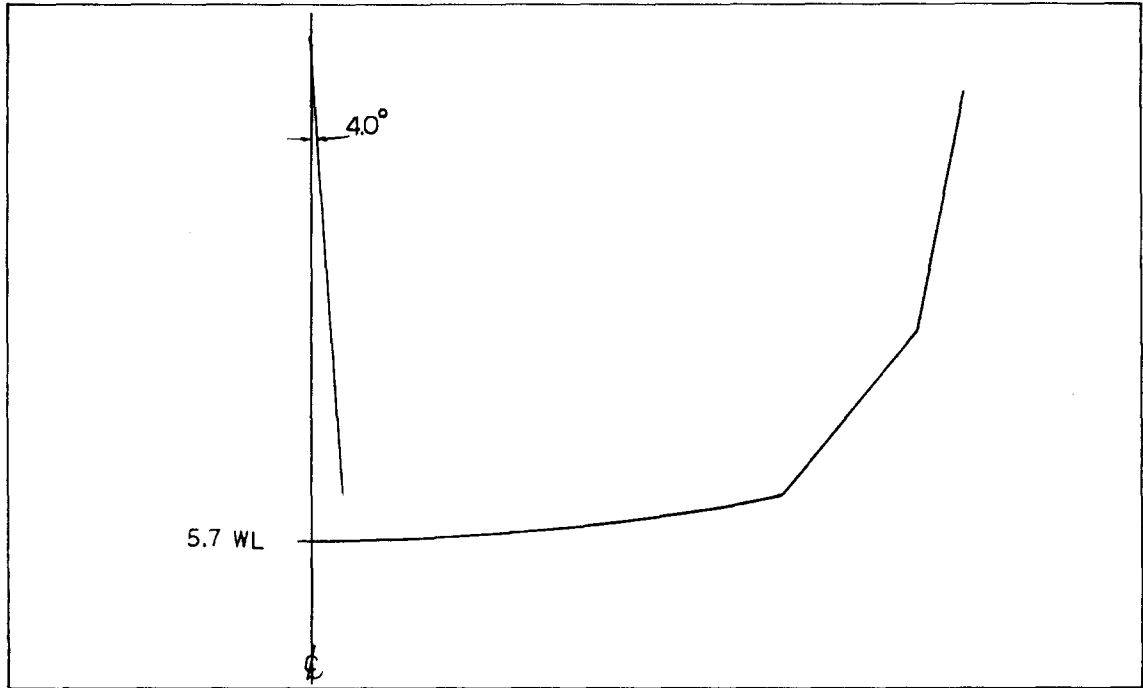


Fig. 30 Spread Angle Complement of Robert Lemeur

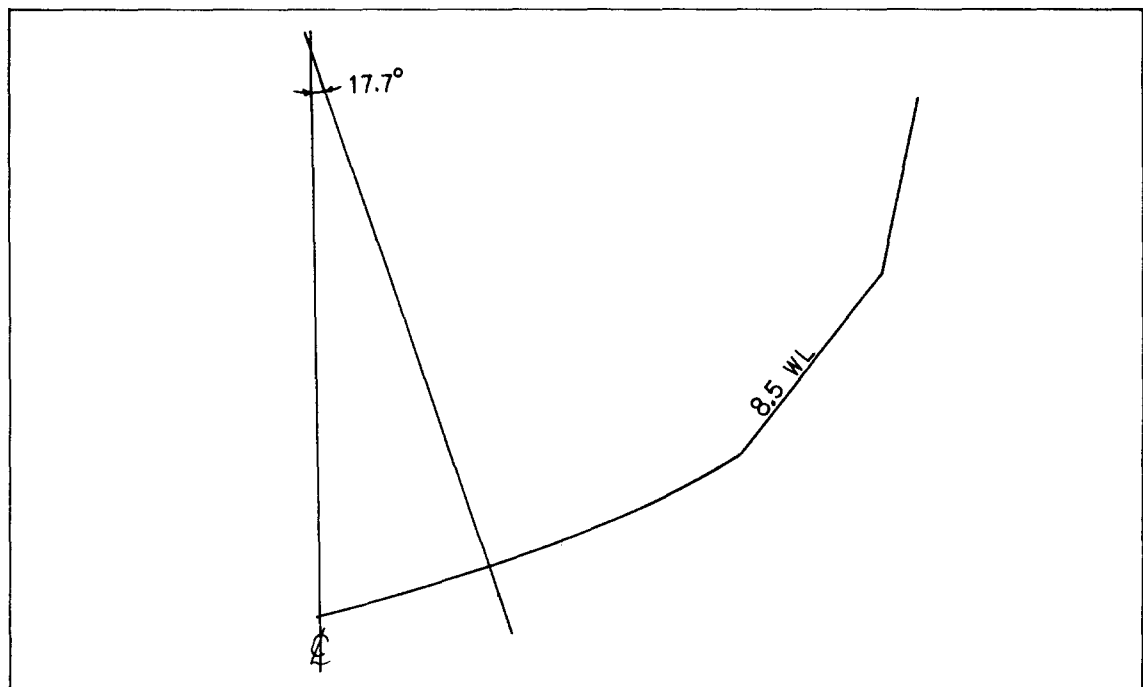


Fig. 31 Spread Angle Complement of Kigoriak

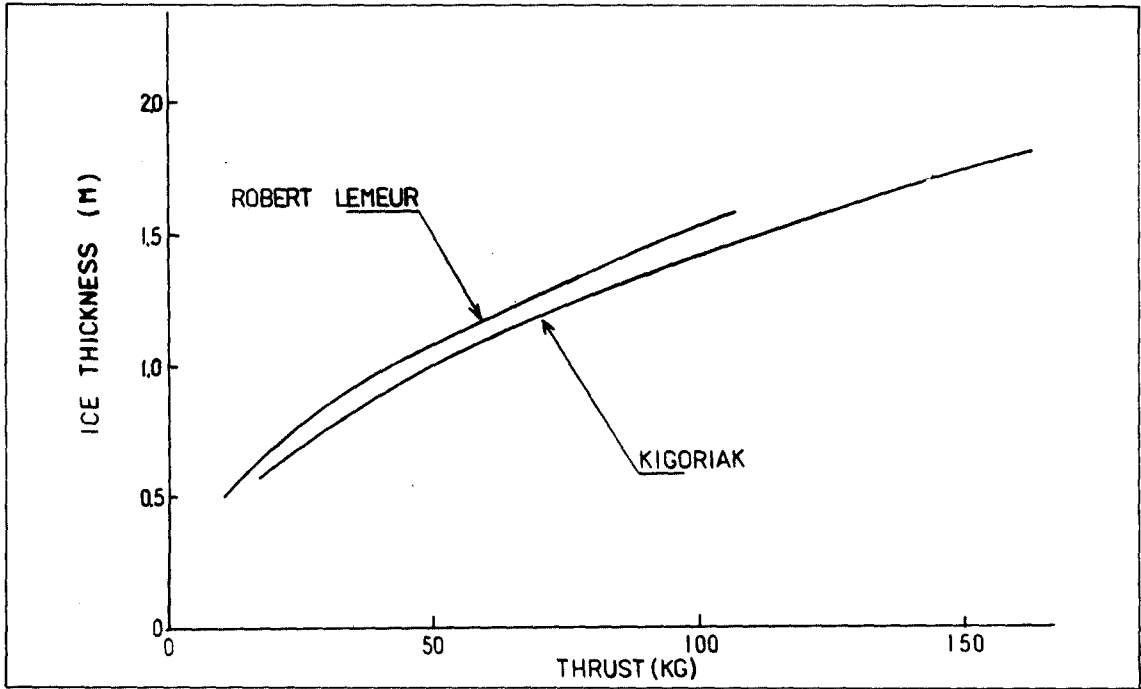


Fig. 32 Ice Thickness Broken Versus Thrust During Continuous Mode

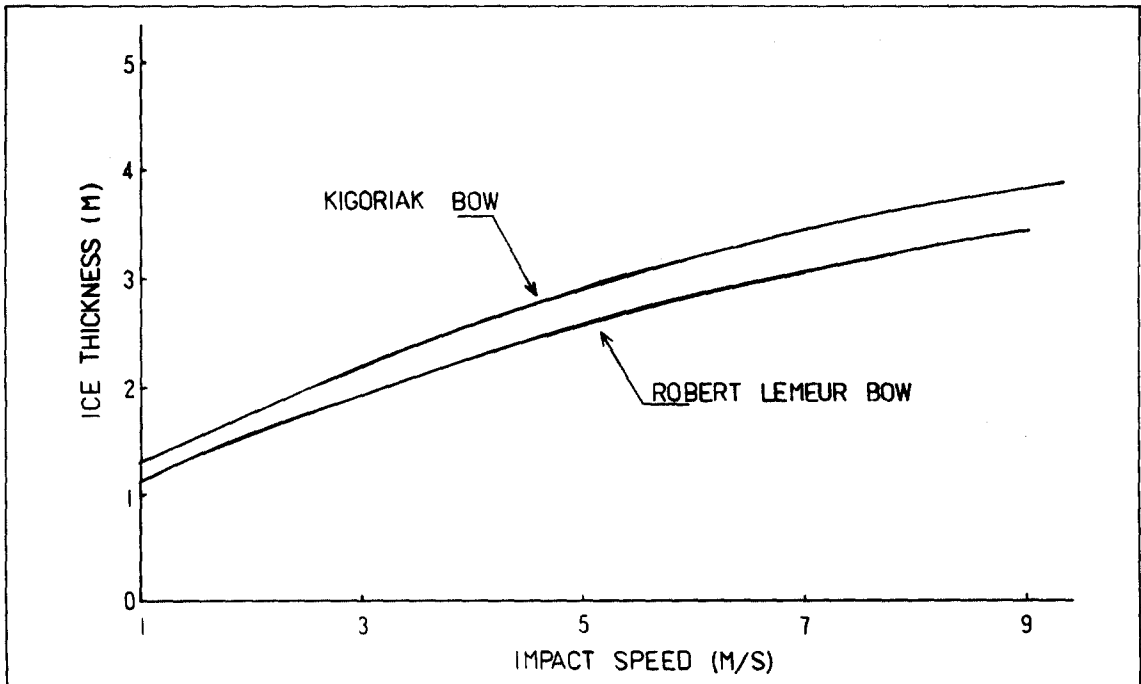


Fig. 33 Ice Thickness Broken as a function of impact speed during ramming mode

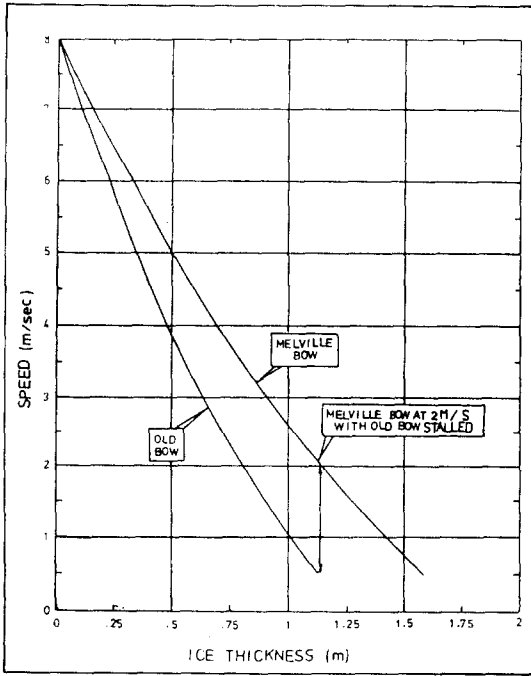


Fig. 34 Old Bow Versus Melville Bow
(Level Ice Performance)

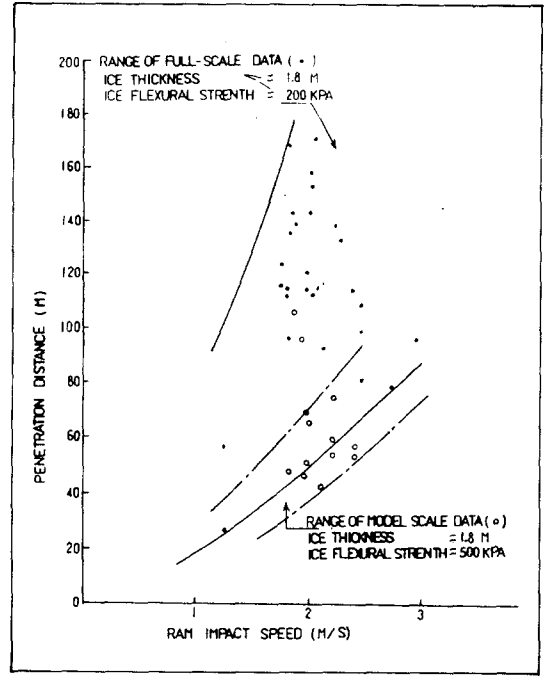


Fig. 35 Full-scale and Model-scale ram impact
versus penetration distance for old
MV arctic

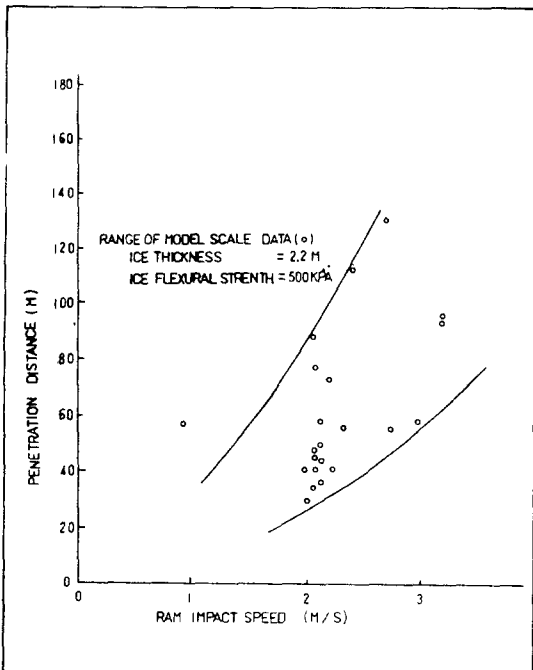


Fig. 36 Full-scale and model-scale ram impact
versus penetration distance for melville bow

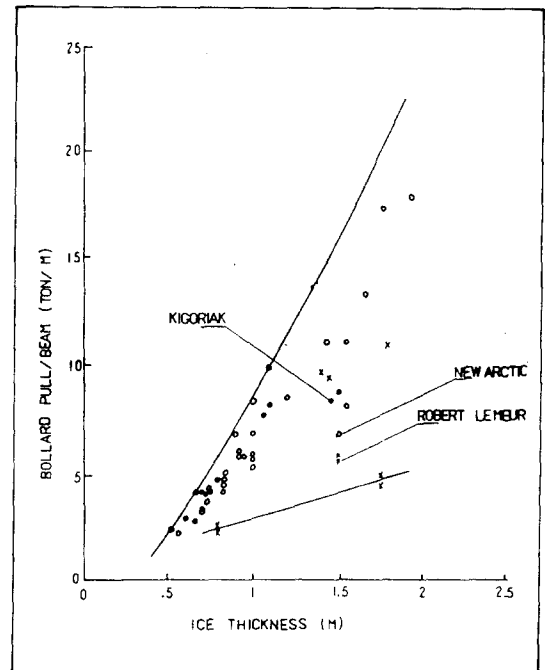


Fig. 37 Bollard pull/breadth versus ice
thickness

