

극지용 쇄빙 유조선 개발

김현수**, 하문근*, 안 당*, 전호환**

삼성 중공업(주) 조선 플랜트 연구소 제품연구*
부산대학교 조선해양공학과**

Development of an Arctic Tanker Design

Kim Hyun-Soo*, Ha Mun-keun*, Ahn Dang* and Chun Ho Hwan**

SAMSUNG Heavy Industries co., LTD . Shipbuilding & Plant R&D Institute Marine System
Research*

Pusan National University Faculty of Engineering Dept. of Naval Architecture & Ocean
Engineering**

Abstract

When Arctic offshore development in the 1970's first led to the consideration of ice capable tankers, there was a high level of uncertainty over design requirements for both safety and ship performance. Also here was a lack of reliable methods to evaluate design proposals. Since that time, improved understanding of the ice environment has raised the confidence of design specifications. Parallel developments have resulted in a suite of engineering tools for ship performance evaluation at the design stage. Recent development of offshore and near shore oil and gas reserves in several countries together with economic studies of increased transportation through the Russian Arctic has newly introduced the interest in ice capable tanker design. In response, Samsung Heavy Industries (SHI) applied its experience in tanker design and construction to the design of a specialized tanker with ice capability. SHI produced two prototype hull designs for further study. The performance of both hulls and of the propellers was evaluated at the Institute for Marine Dynamics (IMD) in St. John's, Newfoundland. This paper discusses the development of the design, describes the model experiments to determine performance and variations, and presents the results

접수일: 2003년 8월 6일, 승인일: 2003년 10월 22일

†주저자, E-mail :hs-john.kim@Samsung.com

Tel : 055-630-5355

※Keywords : Ice Breaking Tanker(쇄빙 유조선), Ice Tank model Test(빙 수조 시험), Ice resistance Test(빙 저항 시험), Ice self propulsion Test(빙 자항 시험), Ice Breaking Tanker Design(쇄빙선 설계)

1. 서론

그 동안의 내빙 선박에 대한 설계 경험을 바탕으로 1996년 페초라(Pechora) 지역을 운항할 유조선 설계를 수행하였다. 페초라 지역의 얼음은 주로 1년빙(First year ice)으로 빙 두께(Ice thickness)는 1~2m 이고 얼음의 최대 강도는 500Kpa 이다. 이러한 빙 상태에서 연속 쇄빙 능력을 갖는 선박의 설계는 국내에서 쉽게 접근하기 어려운 문제였다.

일반적으로 쇄빙선의 설계는 평탄 빙 위에 일정량의 눈(Snow)이 쌓여 있는 조건에서의 운항, 빙맥(Ice Ridge)을 통과하는 운항, 러블 아이스(Rubble Ice) 상태에서의 운항 등을 고려해야 한다. 또한 조종성능도 검증되어야 한다.

설계된 선박이 위에서 언급한 얼음 조건에서 운항 할 수 있는지 여부를 검증하기 위해 다양한 얼음 조건에서 모형 실험을 수행 하였다. 그러나 본 논문에서는 실험 결과의 일부인 평탄빙(Level ice) 결과와 소요 마력 추정 방법에 대해서 기술 한다.

2. 선형 설계

2.1 설계 제한 조건

설계된 쇄빙선의 주요 재원을 보면 재화 중량(DWT) 119,000 ton, 배의 길이 270m, 폭 44m, 방형계수(Cb) 0.749 이다. 운항 해역의 수심 제한으로 인해 흘수는 11.5m 이다. 쇄빙 능력은 500 Kpa의 얼음 강도, 2m 빙 두께에서 설계 속도는 빙 상태 4 knots, 평수 중에서 16 knots 를 목표로 하였다. 본 선박은 일반 해역과 빙 상태에서 모두 속도 성능을 만족해야만 하였다.

설계를 위해 몇 가지의 쇄빙선(Ice breaker) 선형에 대한 조사를 시작하였고 그 결과 조파 저항이 적고 상대적으로 내항 성능이 우수한

Canadian R-class bow(Spencer, 1992)를 선수 선형으로 선정 하였다.

11.5m의 흘수 제한과 프로펠러(Propeller) 날개 끝과 선체 사이의 거리를 확보하기 위해 프로펠러 직경은 7.0m 이하가 되어야 했다. 평탄 빙 운항 시 프로펠러 축을 보호할 목적으로 선미 선형은 Twin Skeg 선형을 선택하였다. Skeg의 측면 경사각과 중앙을 중심으로 한 경사각 그리고 Skeg 사이의 거리가 설계 변수로 고려 되었다.

2.2 초기 마력 추정

사용된 빙 저항 수학적 모델에서 빙 저항 R_i 는 선박 속도 v , 길이 L , 흘수 T , 폭 B , 빙 두께 h , 빙 강도 σ_f , 물의 밀도 ρ_w , 얼음의 밀도 ρ_i , 물과 얼음의 밀도차 $\Delta\rho = \rho_w - \rho_i$ 의 함수이다. 모형선과 실선의 빙 저항은 식(1)과 같이 표현 된다.(Edwards,1976; Lewis,1982; Lewis and Edwards, 1970)

$$R_i / \rho_w g B h^2 = C_0 + C_1 \sigma_f / \rho_w g h + C_2 v / \sqrt{g h} \quad (1)$$

여기서 계수 C_0, C_1, C_2 는 경험식으로부터 구해진다. 차원 해석을 통하여 Vance(1975)는 밀도차와 배의 길이를 포함하는 (1)과 유사한 식을 유도하였다. 저항의 이론적인 배경은 빙 파괴력에 선형 요소를 고려하고 선박과 얼음의 상호작용은 이상화하여 상세한 계산을 수행한 Naegle(1980)과 milano(1980)의 결과에 근거한다. Lindqvist(1989)의 방법은 얼음의 특성을 고려하는 데는 약점이 있으나 쉽게 적용할 수 있다. Fig.1은 선박의 속도 3 knots에서의 Edwards and Lewis (1976)와 Lindqvist (1989)의 방법을 사용한 계산 예를 보여 주고 있다.

빙 중에서 프로펠러는 빙 저항이 증가하면 과부하 상태에서 작동하고 이때의 추진 효율은 물에서 추진 효율 보다는 감소하게 된다.

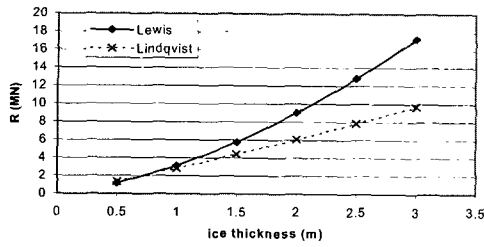


Fig. 1 Estimates of Ice Resistance, 3 knots

또한 빙 중의 추진 효율은 유체 흐름 속에 있는 얼음 조각의 충돌, blockage 효과 등으로 훨씬 더 줄어 들게 된다. 빙 중의 추진 효율은 0.11 부터 평균 중 추진 효율 범위의 값을 나타내는데 과부하 정도와 얼음 상호 작용의 정도(Molyneux, 1990)에 따라 다르다.

빙 중 추진 효율을 얻기 위해 얼음의 효과를 추정하는 것은 불가능 하기때문에 개념 설계 단계에서 이론적인 마력 추정은 쉽지 않다. 따라서 설계 초기 단계에서의 마력 추정을 하기 위해서 모형 시험을 수행 하게 되었다.

2.3 초기 선형 설계

초기 선형 설계 단계에서 선도는 Fig.2a 이다. 선수 각(Stem angle) A, 아이스 나이프(Ice Knife) B, 어깨 각(Shoulder Angle) C, 플레어 각(Flare Angle) D 는 주요 설계 인자들이다.

아이스 나이프는 선수에서 얼음을 부수는데 도움을 주고 선박이 얼음 위로 올라 타는 것을 방지 해 준다(White, 1970). 작은 선수 각과 어깨 각은 쇠빙 되는 힘의 수평 방향 성분을 줄여 준다(Schwarz, 1986). 그러나 선수 각과 어깨 각의 증가는 프로펠러로부터 얼음을 분리시켜 Clearing 을 증가 시키는 효과를 준다. 설계된 크기 유조선의 경우 수선면에서 선수 각은 25° 이고 아이스 나이프 근처는 35° 이며 어깨 각은 30° 이다. 중앙부에는 운항 중 얼음이 수직으로 서서 선박을 고립시킬 가능성을 줄이기 위해 러시아 선급 규칙(Russian Class Rule)에 따라 8°의 플레어 각을 주었다(Shipping, 1995).

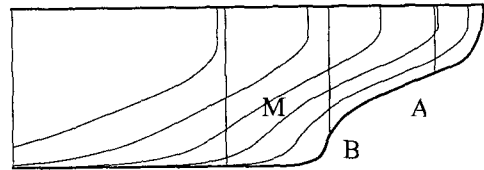
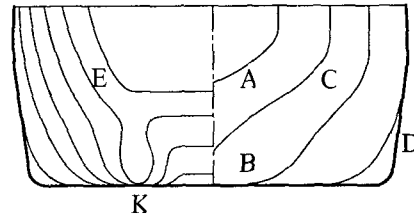


Fig. 2a M493, Body Plan and Bow Profile

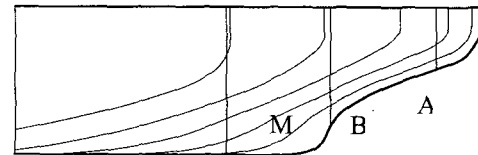
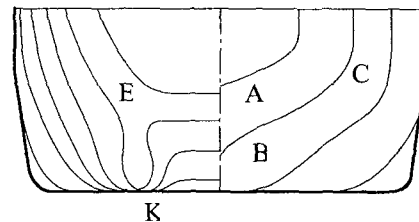
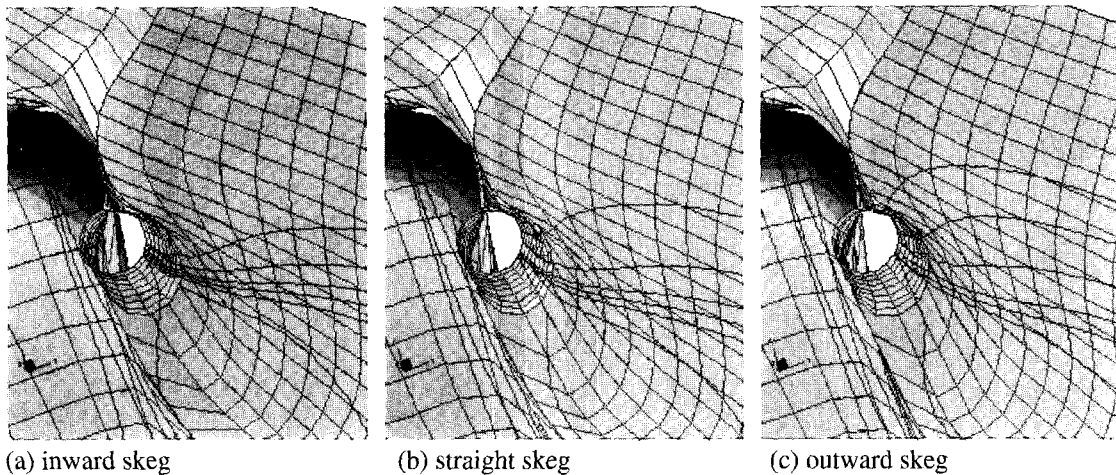


Fig. 2b M501, Body Plan and Bow Profile

선미에서는 Skeg 의 중앙선을 안쪽으로 기울이는 설계(Inward)와 바깥쪽으로 기울이는 설계(Outward) 및 수직으로 세우는 세가지 경우가 고려 되었다. 유선의 모양을 보기 위해 범용 해석 프로그램인 "SHIPFLOW"를 사용하여 계산 하였다. Fig.3 은 위의 세가지 선형에 따라 생성된 Twin Skeg 선미부 격자의 구조와 유선의 모양을 보여 주고 있다.



(a) inward skeg

(b) straight skeg

(c) outward skeg

Fig. 3 The flow pattern of three skeg direction types

Jonk(1985)는 배의 추진 성능에서 Skeg의 수직 경사에 대한 영향을 연구하였다. 그는 추진 성능의 차이는 skeg 안쪽과 바깥쪽의 압력차이에 기인한다는 결론을 얻었다. Fig. 3에서 보여 주는 결과는 바깥쪽 경사(Fig. 3c)가 유선이 밖으로 많이 흩어지는 것으로 볼 때 얼음 조각을 밖으로 유도할 것임을 알 수 있다. 3°의 바깥쪽 경사가 프로펠러로 유입되는 평수 중 흐름에서도 이점이 있는 것으로 판단하여 이러한 선형을 적용하였다. Skeg 사이의 거리는 0.39B를 적용하였고 Skeg 안쪽 경사는 13° ~ 15°를 적용하였다. 프로펠러의 회전 방향은 바깥쪽으로 하였다. 바깥쪽 방향의 회전은 얼음 조각을 분산시키는 효과는 있으나 일반적인 해수에서 운항할 경우 추진 효율 관점에서 좋지는 않다.

2.4 선형 수정

평수(Open water)에서의 실험과 빙 중의 모형 시험은 캐나다(Canada) 국영 연구소 수조인 IMD(NRC-CNRC, St. Johns) 빙 수조에서 수행하였다. M493 모형은 평수 중 성능은 만족하였으나 빙 중 Clearing 저항은 예상보다 크게 나왔다. 평수 중 추진 효율도 기대치 보다는 큰 결과를 주었다. 평탄 빙에서 많은 얼음 조각이 프로펠러면에 부딪히는 것을

관측할 수 있었다. 프로펠러 날개에 부딪히는 얼음 조각이 Torque를 증가시키고 효율을 저하시켰다. 선형 수정의 주요 관점은 프로펠러면에 들어오는 얼음 조각의 양을 줄여서 Clearing 성능을 증가시키는 데 있었다. 바깥쪽 Skeg에 의해 증가된 유동은 프로펠러 쪽으로 향하는 얼음의 양을 증가시켰다. 따라서 skeg 각을(Fig.2a의 "K") 안쪽으로 옮겨서 Skeg 사이의 흐름을 줄이려 시도하였다. 또한 얼음 조각의 크기를 줄이고, 선체를 따라 이동하는 얼음 조각의 이동 거리를 줄이기 위해서 선수 각(Fig.2의 "C")을 증가시켰다. 이것은 얼음 조각을 더 작게 부수는데 소요되는 추가적인 힘 때문에 Breaking 힘을 증가시키는 대신에 Clearing과 Buoyancy 힘을 줄여서 전체적으로 저항의 감소를 유도하고자 하였다. 스프레딩 각(Spreading angle, Fig. 2a의 "M")은 빙 중 Clearing 성능을 증가시키기 위해 줄였다. Fig.2b는 수정된 선형인 M501 선형이며 Table 1은 주요 제원이다.

3. 모형 시험

3.1 실험 개요

모형은 Fiberglass를 입힌 High Density Foam로 제작하였으며 Epoxy Paint를 사용하여 마무리 하였다. 축척 비는 Stock

프로펠러를 사용하였기 때문에 1 : 31.938 을 사용하였다. 모형은 흘수, 무게 중심, 및 관성 환경을 맞추었다.

Table 1 Principal dimensions of M501

Items	Values
LBP (m)	270
Breadth (m)	44
Depth (m)	20
Draft (m)	11.5
Cb	0.7499
Displacement (cu. m)	102,458

모형 얼음은 IMD 의 EG/AD/S(CD)(Spencer, 1990, Ethylene Glycol/Aliphatic Detergent / Sugar 첨가한 Controllable Density 얼음)을 사용 하였다. 모형 선박과 얼음의 상사 법칙을 만족하기 위해 강도적, 동역학적 특성을 맞추어야 한다. (Spencer and Timco 1990; Timco 1986). 모형 얼음의 두께는 실제 운항 조건인 1m 와 2m 를 사용하였다. 각 얼음의 두께와 밀도, 전단응력, 굽힘응력, 압축 파괴응력, 배와 얼음의 마찰 계수를 계측 하였다.

모형은 예인 전차에 고정 시켰고 Pitch, Heave, Roll 은 구속하지 않았다. 저항 시험에서는 M493 은 IMD Stock 프로펠러를 사용하였고 M501 의 경우는 설계된 프로펠러를 사용하였다. 추력, Torque 및 회전 수를 양 축에서 모두 계측 하였다. 저항 시험은 일정한 모형선 속도로 달리면서 프로펠러 회전 수를 예상되는 저항점 범위에서 3~4 차례 바꾸면서 실험을 수행 하였다. 조종 시험은 두 선박에 대해서 PMM 방법으로 모두 수행 하였고 프로펠러 설계를 위해 반류 측정을 실시 하였다. 본 논문에서는 저항과 저항 시험에 대해서만 기술 하기로 한다.

3.2 평수 중 성능

M493 의 평수 중 모형 시험은 수온 0.5° C 에서 동점성 계수 1.76×10^{-6} 을 사용하였다. M501 의 경우는 수온 3.2° C 에서 동 점성 계수 1.61×10^{-6} 을 사용하였다. 형상 계수는

M493 이 1.23, M501 이 1.30 이다. 모형 시험 결과는 15° C 해수에서의 값으로 환산하였다. 평수 중 저항 Row 는 모형시험을 통해 마찰 저항과 조파 저항으로 나누어 전통적인 방법으로 구하였다. 마찰 저항은 ITTC 1957 에 따라 Reynolds number 로 구하였다. 상관 계수는 0 을 사용하였다.

Fig.4 는 두 선형에 대한 실험 결과를 비교한 것으로 속도 변화에 따른 실선 유효 마력의 변화를 보여 주고 있다. M501 의 경우가 수선면적 증가와 배수량 증가로 평수에서 저항 값이 큰 것을 볼 수 있다.

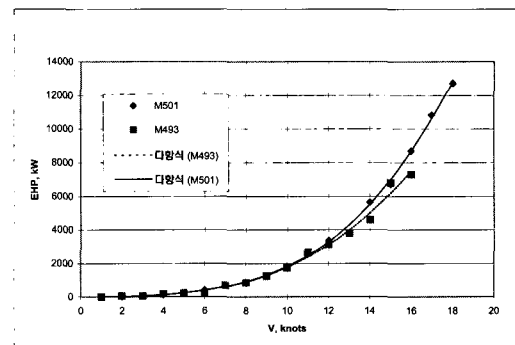


Fig. 4 Comparison of Effective power in Open Water, full scale

3.3 빙 저항

빙 저항은 평수에서의 저항과 얼음을 깨는데 필요한 저항(Breaking 저항), 부력에 의한 저항(Buoyancy 저항), 얼음을 제거하는데 필요한 저항(Clearing 저항)의 합으로 나타난다.

$$R_{tot} = R_{ow} + R_s + R_{cl} + R_{br} \quad (2)$$

임의 속도와 얼음의 두께에서 buoyancy, Clearing, Breaking 저항을 무 차원 값으로 표현하면 다음과 같다.

$$R_s = C_s \Delta \rho g B h d \quad (3)$$

$$R_{cl} = C_{cl} \rho_i B h v^2 \left(\frac{gh}{v^2} \right)^{c/2} \quad (4)$$

$$R_{br} = C_{br} \rho_i B h v^2 \left(\frac{\sigma_f h}{\rho_i B v^2} \right)^{b/2} \quad (5)$$

위의 식은 Spencer(1992)가 유도한 것들과 유사하고 상당히 많은 Canadian R-class icebreaker 의 실험 결과를 사용해 검증된 것이다. 해석 방법에 따라서 모형 시험으로부터 각 선형의 무 차원 계수 c, b, C_s, C_{cl}, C_{br} 가 결정 되었다.

평수에서 저항은 별도의 실험으로 구하고, 빙 저항은 두 가지 빙 두께에 대한 평탄 빙(level ice) 및 미리 잘라놓은 얼음(Pre-sawn)의 실험 결과로부터 구한다. 유체역학적 저항 R_{ow} 은 평수 중 저항 시험 결과로부터 속도의 2 차 함수로 결정 된다. 잘라놓은 얼음에서의 저항은 R_{ow} + R_s + R_{cl} 로 정의된다. 구해진 값에서 R_{ow} 를 빼고 정해진 두께 h 에서 R_s + R_{cl} 를 Y 축으로 속도의 항을 X 축으로 해서 그래프를 그리면 Y 절편이 R_s 가 된다. 무 차원 값 R_{cl} 과 두께 무 차원 계수라 불리는 gh/v² 를 모든 v 와 h 에 대해서 그래프로 그려서 C_{cl} 과 c 를 구할 수 있다. 평탄 빙 실험으로부터 예측된 전자항에서 계산된 R_{ow} + R_s + R_{cl} 를 빼면 R_{br} 을 구할 수 있다.

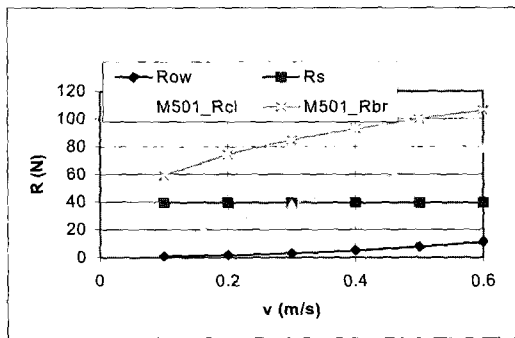


Fig. 5 Model Scale Resistance Components for M501, 2 m ice

마지막으로 무 차원 계수 R_{br} 는 강도수라 불리는 $\sigma_f h / \rho_i B v^2$ 를 X 축으로 해서 모든 v 와 h 에 대해 그래프를 그려서 C_{br} 과 b 를 구할 수

있다.

두 선형에 대해 실험을 통해 구한 계수들은 Table 2 에 정리 하였다. 이 계수를 활용하여 어떤 평탄 빙 조건이든 빙 두께와 강도를 알면 빙 저항을 구할 수 있다. Figure 5 는 M501 선형에 대한 2m ice 에서의 전자항을 보여 주고 있다.

Table 2 Comparison of resistance coefficients

	Cs	Ccl	c	Cbr	b
M493	1.10	1.86	1.02	0.89	1.92
M501	1.15	2.18	0.96	1.59	1.67

계수를 비교해 보면 breaking 요소의 가장 큰 변화를 보여 주고 있다. M493 의 경우 계수 b 값은 breaking 에서 굽힘이 거의 전부를 차지하고 속도 변화에 따른 큰 증가는 없는 것으로 나타났다. 반면 M501 의 경우는 전단 성분이 있어서 속도의 증가에 따라서 breaking 저항이 증가한다.

설계 단계에서 예상했던 바와 같이 M501 의 breaking 저항은 증가 하였다. 그러나 기대와는 반대로 buoyancy 저항과 Clearing 저항은 M501 에서 줄어 들지 않았다. 모든 속도 구간에서 변화량은 크지 않았다. Fig.6 은 M493 및 M501 이 2m 두께의 얼음에서 속도 변화에 따른 Breaking 과 Clearing 저항 요소를 비교 하였다.

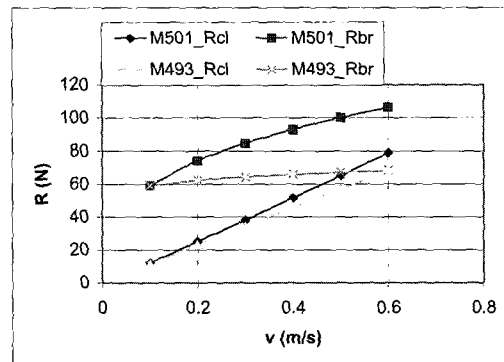


Fig. 6 Model Scale Resistance Components for M493 and M501, 2 m Ice

3.4 빙 중 저항 실험 해석 및 마력

빙 중 저항 시험에서 예측된 추력과 Torque 는 각 빙 두께에서 모형선 속도에 따라 프로펠러 회전수의 2 차 방정식으로 표현 된다. 저항점은 모형의 예인력을 상쇄할 만큼의 프로펠러 회전수로 결정 된다.

프로펠러 회전수의 2 차 함수로 표현되는 추력과 torque 는 임의 속도에서 저항점 해석에 사용 된다. 빙 저항점을 해석하기 위해서는 평수 중 저항 점 해석 결과를 사용한다. 또한 평수 중과 빙 중의 두 조건에서 저항점의 비율을 하나의 계수로 사용한다. 이 계수는 빙 상태와 평수에서의 상대 성능을 알아보기 위하여 사용한다. 빙 중에서 얼음과 프로펠러의 충돌 및 얼음으로 인해 교란된 흐름으로 인해 프로펠러의 추력과 Torque 의 변화는 평수 중 반류의 영향보다 훨씬 크다. 또한 정확히 모형 얼음의 상사법칙을 만족 시키는 것은 불가능 하기 때문에 모형 실험에서 실제 빙 해역의 운항상태와 잘 일치하는 프로펠러의 운동을 정확히 표현하기는 어렵다. 프로펠러의 평균 유속 값을 결정하기 위하여 평수 중 흐름에서의 wake 와 모형선에 프로펠러를 장착하고 예측된 wake 사이의 값을 사용하여 Wake 를 구하고 추력 혹은 torque 일치법을 사용하여 해석한다. 그러나 얼음이 유동에 들어오면 비정상 상태가 되고 선박에 장착된 프로펠러의 평균성능을 나타내는 wake 의 개념은 적용하기 어렵다. 평수 중 선박의 후미에서 정상 상태 흐름에서 상대적인 회전 효율을 생각할 수 있으나 이러한 개념 역시 빙 상태에서는 적용하기 어렵다.

빙 중에서 예측된 추력은 빙 저항과 비교 될 수 있고 추력 감소 계수를 결정할 수 있다. 이것은 평수 중 과부하 실험 (overload experiment) 결과로 결정된다. 평수 중 과부하 실험 결과는 Flow identity method 를 사용하였다. Flow identity method 는 빙 중 저항 점에서 회전 수와 동일한 모형 속도에서 평수 중 과부하 실험 결과를 사용한다. 이 경우 유체역학적으로 다른점은 프로펠러와 부딪힌 얼음의 상호 작용이다.

빙 중 추진 효율에 영향을 주는 주요 인자는

얼음 조각의 크기, 밀도, 속도, 선미 주위의 얼음 유동 등이다. 이러한 요소들이 실제 빙 해역 운항 조건과 상사를 이루기 위해서 모형 시험 수조에서는 세심한 준비가 필요하다. 실선 성능 예측에는 모형 시험으로부터 얻은 추진 효율 값을 그대로 실선 적용한다. 추진 효율은 선박의 속도 및 얼음 두께 함수이다. 따라서 강도 변화에 따라 전달 마력을 계산할 때는 실험에서 얻은 저항 결과를 사용하고 추진 효율은 변하지 않는다고 가정하여 사용한다. 각각의 모형 속도와 ice 상태에서 실제 저항은 실험 결과로부터 계산 되어 진다. 이때 추력 감소 계수 t 는 식(6)과 같이 계산 된다.

$$t = 1 - \frac{R_{tot}}{T} \quad (6)$$

그리고 Ice 에서 순 추진 효율 η_D 은 식(7)과 같이 표현 된다.

$$\eta_D = \frac{R_{tot}v}{2\pi nQ} \quad (7)$$

식 (6)과 (7)의 T , Q , n 은 추력, 토오크, 회전수이다. 결과 비교를 위해 평수 중 과부하 실험 결과를 사용하여 계산을 수행 하였다. 같은 프로펠러 회전 수를 사용하고 추력 감소 계수 및 추진 효율은 식 (8) 과 (9)로 구할 수 있다.

$$t = 1 - \frac{R_{tot} + F_x}{T} \quad (8)$$

$$\eta_D = \frac{(R_{tot} + F_x)v}{2\pi nQ} \quad (9)$$

여기서 F_x 는 주어진 회전 수에서 예인력 이다. 평수 중 추진 효율은 과부하 조건에서 최적화 한다. Table 3은 결과를 보여 주고 있다. Fig.7 은 1m 및 2m 빙 두께에서 두개의 모형 실험으로부터 얻은 전체 추진 효율을 보여 주고 있다. Skeg 각의 변화에 따른 선미 근처의 유동 형태의 변화는 추진 효율에 중요한 영향을 주지 않았다. 고속 영역에서는 추진 효율은 변화가 나타났다.

Table 3 Model propulsion efficiency in open water and in ice

V m/s	t	t	ηd	ηd	t	t	ηd	ηd
	M493_ice	M493_ow	M493_ice	M493_ow	M501_ice	M501_ow	M501_ice	M501_ow
h = 30mm								
0.18	0.20	0.07	0.12	0.16				
0.27					-0.16	0.25	0.23	0.24
0.36	0.31	0.09	0.20	0.23	0.04	0.26	0.21	0.24
0.55	0.22	0.10	0.32	0.31	0.04	0.33	0.30	0.27
h = 63mm								
0.18	-0.15	0.06	0.12	0.11				
0.27					-0.13	0.13	0.16	0.14
0.36	-0.05	0.08	0.17	0.18	-0.09	0.15	0.18	0.16
0.55	-0.06	0.09	0.23	0.25	-0.06	0.17	0.19	0.19

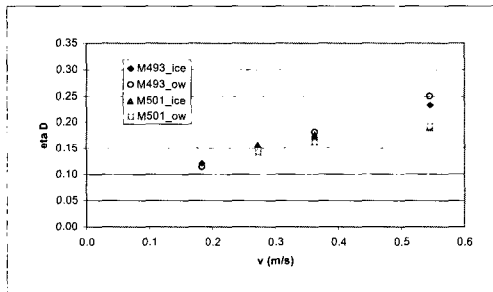


Fig. 7a Propulsion Efficiencies, 2 m ice

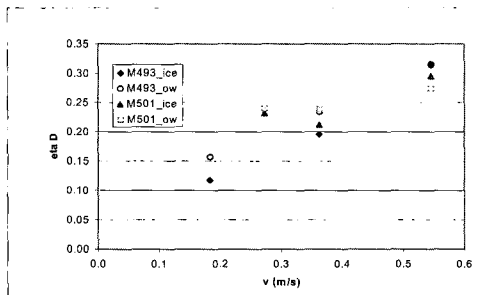


Fig. 7b Propulsion Efficiencies, 1 m ice

추력 감소 계수는 분산되어 있다. 추력 감소는 유동이 얼음 조각에 의해 교란 받을 때 증가하는 경향이 있고 얼음에 의한 프로펠러 면의 충돌은 추력 감소의 직접적 원인이 된다.

실험 결과의 해석 시 수조에서 실험 가능한

거리를 주행한 후 원하는 실험 계측치를 충분한 시간동안 얻는 것은 빙 수조에서 쉬운 일은 아니다. 2m 얼음에서 두 선형 모두 음의 값을 갖는 것은 자주 얼음 조각이 프로펠러에 부딪히는 것을 의미 하고 비디오 기록을 관찰 하면 확실히 알 수 있다. 얇은 얼음에서는 M493 의 경우 충돌이 적었고 따라서 추력 감소 계수는 높은 값을 보여 주고 있다. M501 의 경우 얼음이 수선면을 따라 가다가 경우에 따라서는 프로펠러 흐름으로 들어갔다. 따라서 t 값이 섞여 있는 것을 볼 수 있다.

추력과 torque 의 변화는 프로펠러와 얼음의 상호 작용 정도를 측정하는 하나의 예로 사용된다. T_i / T_o 비는 추력에서 얼음의 영향을 보여주고 Q_i / Q_o 비는 Torque 에서 얼음의 영향을 보여 준다. 이 비율에 대한 M493 과 M501 의 비가 Figure 8 에 비교 되었다. 이 그림은 두 모형이 비슷한 T_i / T_o 비를 갖는 것을 보여 주고 있다. 그러나 M501 의 경우 전체 속도 범위에서 Q_i / Q_o 비가 큰 값을 갖는다. M493 과 M501 에서 얻어진 값은 다른 실험의 결과(Molyneux, 1990)와 비교 검토 되는데 Fig.8 과 유사한 경향을 보여 주고 있다.

평탄 빙 조건에서 선박의 유효 마력은 식 (1) 성분의 합으로 구하였다. 빙 저항의 성분은 식 (2) ~ (5)의 관계와 Table 2 의 계수들을 사용하여 주어진 빙 조건에서의 실선 저항을 계산 하였다. 전달 마력은 Table 3 에 있는 추진

효율과 계산된 유효 마력 결과를 사용하여 계산하였다.

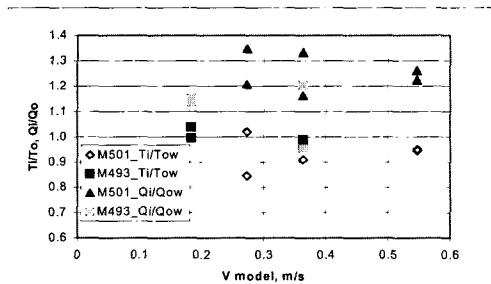


Fig. 8 Propulsion ratios in ice, based on flow identity

Fig.9 는 M493 과 M501 이 2m 두께, 500Kpa 의 강도를 갖는 평탄 빙 상태에서 전달 마력 비교를 보여 주고 있다. 두 선형의 유효 마력 차이는 매우 작지만 M493 이 M501 보다 작은 유효 마력을 갖는 것을 보여주고 있다. 추진 효율이 포함될 경우 6 knots 에서 전달 마력 차이는 매우 크다.

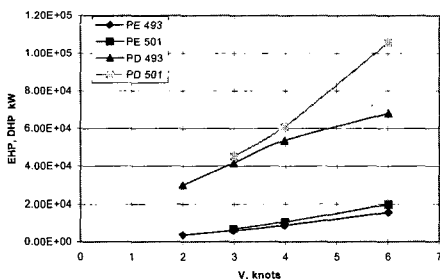


Fig. 9 Comparison of Power Predictions In 2m level ice

4. 결론

선형 요소의 작은 변화가 빙 중에서 선박의 성능에 뚜렷한 차이를 주는 것을 알 수 있었다. 선수 각의 증가가 Breaking 저항을 증가시키는 결과를 주고 두꺼운 얼음과 높은 선 속에서는 더 큰 차이를 보여 주었다.

Bbuoyancy 와 Clearing 저항의 증가는 모형 시험의 비디오 기록의 조사로부터 알 수 있었다. 가파른 수선면 각은 얼음 조각을 밖으로 밀어 내기보다는 선수부 아래로 밀어내는 것을 볼 수 있었고 경우에 따라서는 선측에 얼음 조각이 끼이는 현상을 보여 주었다. Clearing 저항의 증가는 모든 속도 범위에서 발생하였고 Buoyancy 저항도 같은 경향을 보여 주었다.

Skeg 각의 변화가 선미부의 유선 변화에 약간의 영향을 주었으나 빙 중 설계 속도에서는 추진 효율의 개선에는 큰 영향을 주지 못했고 설계 속도보다 높은 속도에서는 많은 차이를 보였다. Fig.8 은 M501 이 프로펠러와 얼음의 상호 작용이 더 많음을 보여 주었다. 수중 촬영 비디오를 분석해 보면 M501 의 경우 얼음 덩어리가 선수부 아래로 밀려서 선저를 따라서 밀려 가다가 skeg 쪽으로 이동하여 프로펠러면에 유도 되는 것을 볼 수 있었다.

Video 분석 결과에 의하면 선형 변환의 효과는 오히려 없었으며 M493 선형이 이런 영향을 완화하고 추진 효율을 증가 시킨 것을 볼 수 있다. Figure 9 에서 보는 바와 같이 쇄빙선의 저항, 추진성능에서 중요 관점은 빙 중에서 프로펠러 면에 얼음 조각의 유입을 최소화하여 추진 효율을 개선하는 것임 알 수 있었다.

본 연구는 흘수의 제약 등 제한된 구속 조건과 얼음의 두께 강도 등 환경 조건 아래에서 빙 중의 선속 등 성능을 만족하는 쇄빙 선박의 저항 추진 성능을 검증하는 과정과 결과를 보여 주고 있다. 두 개의 선형이 설계되고 실험되었다. 모형 시험에서는 선형 요소의 영향을 명확히 볼 수 있었고 추진 성능 향상 방안을 제시 하였다. 빙 중에서 운항하는 대형 선박의 설계 및 모형 시험 자료로 활용 되기를 기대한다.

참 고 문 헌

- Edwards Jr., R. Y., Major, R. A., Kim, J. K., German, J. G., Lewis, J. W., and Miller, D. R., 1976, "Influence of major characteristics of icebreaker hulls on their powering requirements and maneuverability in ice." Transactions of SNAME, vol.84, pp.364-407.
- Jonk, A., 1985, "The use of Non-Viscous Flow Calculations in Hull Form Optimization", Workshop on Development in Hull Form Design, Vol. 1, MARIN.
- Lewis, J. W., DeBord, F. W., and Bulat, V. A., 1982, "Resistance and propulsion of ice-worthy ships." SNAME Transactions, vol.90, pp.249-276.
- Lewis, J. W., and Edwards, R. Y., 1970, "Methods for predicting icebreaking and ice resistance characteristics of icebreakers." SNAME Transactions, vol.78, pp.213-249.
- Lindqvist, G., 1989, "A straightforward method for calculation of ice resistance of ships." The 10th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, Luleå, pp.722-735.
- Milano, V. R., 1980. "A reanalysis of ship resistance when in continuous motion through solid ice." Intermaritec Symposium, Hamburg, pp.456-475.
- Molyneux, W. D., et al., 1990, "Recent developments in model experiment techniques for large icebreakers." IceTech90, Calgary.
- Naegle, J. N., 1980, "Ice resistance prediction and motion simulation for ships operating in the continuous mode of icebreaking."
- Russian Maritime Register of Shipping, 1995, "Rules for the classification and construction of sea-going ships." Russian Maritime Register of Shipping.
- Schwarz, J., 1986, "Some latest developments in icebreaker technology."

Journal of Energy Resources Technology, vol.108, pp.161-167.

- Spencer, D., Williams, F. M., and Newbury, S., 1992, "Model scale/full scale ice resistance correlation for the CCG R-Class icebreakers." LM-1992-20, Institute for Marine Dynamics.
- Spencer, D. S., and Timco, G. W., 1990, "CD Model Ice: a process to produce correct density (CD) model ice." IAHR Tenth International Symposium on Ice, Espoo, Finland, pp.745-755.
- Timco, G. W., 1986, "EG/AD/S: a new type of model ice for refrigerated towing tanks." Cold Regions Science and Technology, vol.12, pp.175-195.
- Vance, G. P., 1975, "A scaling system for vessels modelled in ice." IceTech 75, Montreal.
- White, R. M., 1970, "Prediction of icebreaker capability." Transactions of RINA, vol.112(2), pp.225-251.



< 김 현 수 >



< 하 문 근 >



< 안 당 >



< 전 호 환 >