

쇄빙선 및 쇄빙상선에 대한 빙저항 추정식과 실측자료의 비교 분석

최경식^{†*}, 이우람^{*}, 이진경^{*}

한국해양대학교 해양개발공학부^{*}

A Comparative Study of Ice Resistance Estimation Equations with Measured Data for Icebreakers and Ice-Strengthened Cargo Vessels

Kyungsik Choi^{†*}, Woo-Ram Lee^{*} and Jin-Kyoung Lee^{*}

Div. of Ocean Development Engineering, Korea Maritime University^{*}

Abstract

Ice resistance estimation equations based on model tests and full-scale sea trial data from many previous research articles are studied. Measured ice resistance data and its empirical/semi-empirical estimation equations are summarized in common format and are compared with each other, considering three ship categories, i.e. icebreakers, tug/supply vessels, ice-strengthened cargo vessels. The most suitable estimation methods or prediction equations are recommended based on this ice resistance data analysis.

※Keywords: Icebreakers(쇄빙선), Ice-strengthened cargo vessels(쇄빙상선), Ice resistance(빙저항), Full-scale and model test data(실선 및 모형선자료), Comparative study(비교연구)

1. 서론

북극해 항로는 동아시아와 대서양의 서유럽 국가를 연결하는 최단항로서 범세계적인 무역루트로 활용되는 추세이다. 북극해 항로를 통해 북유럽에서 동아시아나 북미의 서해안까지 가는 길은 수에즈운하나 파나마 운하를 통한 항로보다 35-60% 이상의 거리를 단축시켜 경제적인 측면

에서 아주 매력적인 해상 항로이다.

하지만 북극해 항로는 열악한 기후 및 빙상환경을 극복할 수 있는 쇄빙선박의 운항이 필수적이다. 북극해 항로의 동시베리아해와 랍테프해의 경우 겨울철 얼음의 두께가 평균 2m 이상이고 여름에도 얼음이 완전히 녹지 않는 상태가 지속된다(Ostreg 1999).

쇄빙선박의 설계와 건조에 있어서 빙저항(ice resistance)은 많은 사람들이 연구해 온 주제인데 대부분 평탄빙(level ice)에서의 연속쇄빙모드를 다루고 있다. 국내에서는 아직 이에 관한 연구나 실험이 몇몇 기본적인 주제 이외에는 그다지 이루어

접수일: 2005년 11월 1일, 승인일: 2006년 1월 7일

† 주저자, E-mail: kchoi@hhu.ac.kr

Tel: 051-410-4324

어지지 못한 형편이다(최경식 등 1992, 김현수 등 2004). 본 논문에서는 쇄빙상선에 대한 적합한 빙저항 산정식을 제안하기 위하여 현재까지 공개된 문헌에 발표된 많은 실선시험과 모형시험 자료를 수집하여 각 경험식의 도출과정과 장단점을 조사 정리하였고 상호 비교 가능한 형태로 재구성하였다.

조사된 빙저항 자료는 선종별로 쇄빙선, 예인/보급선, 쇄빙상선으로 나누어 선박의 속도, 얼음의 두께에 관하여 그래프로 정리하였다. 이 통합된 그래프를 통해 쇄빙상선에 대한 자료와 쇄빙선 및 예인/보급선의 자료를 서로 비교하여 그 차이점을 알아보았다.

2. 빙저항 추정식

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 가장 기본이 되며 또한 제일 용이하게 수행할 수 있다는 점 때문일 것이다.

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 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. 그리고 속도저항은 깨어진 빙편을 선체 주위로 배제

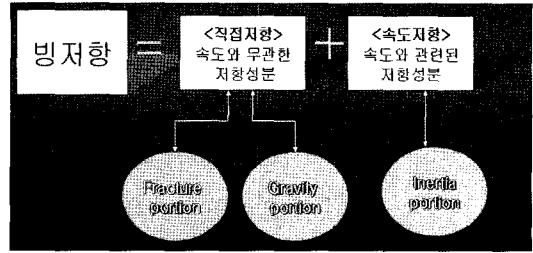


Fig. 1 Components of ice resistance

시키는 데 소요되는 저항(inertia portion)이다 (Fig. 1).

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.

$$R_i = K_1 \mu_0 B \sigma h + K_2 \mu_0 B \rho_i h^2 + K_3 B^K \rho_i h V^{K_5} / \eta_2 \tag{1}$$

여기서 σ = 얼음의 강도 (ton/m^2), h = 빙판의 두께 (m), B = 선박의 폭 (m), V = 선박의 속도 (m/s), ρ_i = 얼음의 밀도 (ton/m^3) 그리고 μ_0, η_2 = 다양한 선체의 형상과 치수를 반영하는 Shimansky 계수이다.

$$\mu_0 = 1 + \frac{\tan \alpha}{\tan \beta}, \quad \eta_2 = \frac{1}{\tan \alpha}, \quad \alpha, \beta$$

는 수선면에서의 접선각이고 K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 는 러시아의 소형 쇄빙선 Ermak의 1:50 모형 및 실선시험에서 결정된 상수(0.004, 3.6, 0.25, 1.65, 1.0) 이다.

식(1)의 첫 번째 항은 빙판을 깨뜨리는데 필요한 저항이고, 둘째 항은 빙편의 부력에 기인한 저항을, 셋째 항은 선박 및 깨어진 빙편 사이의 운동량 교환에 기인한 모든 저항을 나타낸다. 여기서 빙저항에 가장 큰 영향을 미치는 성분은 빙편의 부력에 의한 둘째 항이다.

여기서 Kashteljan의 식(1)을 사용하는 데는 몇 가지 제한 사항이 있다. 우선 식의 차원이 일치하지 않아서 사용되는 단위계마다 식(1)의 상수들이 달라지는 단점이 있고 마찰의 영향이 어느 정도인지도 추정하기 어렵다. 물론 Shimansky 계수 μ_0

와 η_2 를 통하여 쇄빙선의 선수형상을 고려하고 또한 주요 선체요목을 식(1) 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 맞는다고 보장할 수 없다.

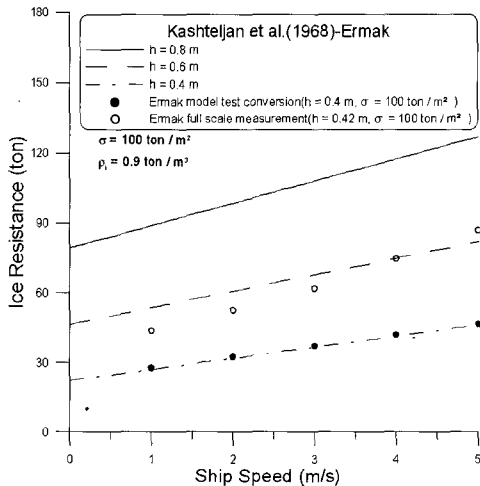


Fig. 2 Ice resistance vs. ship's speed based on Kashteljan's empirical formula with measured test data

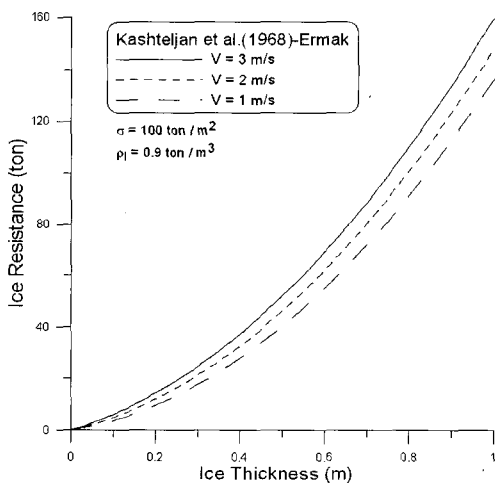


Fig. 3 Calculation of Ice resistance vs. ice thickness using Kashteljan's empirical formula, i.e., Eq.(1)

Fig. 2 에서는 실측자료가 발표된 바 있는 쇄빙선 Ermak의 속도에 맞추어 Kashteljan의 식(1)을 이용하여 빙저항을 새로 계산해 보았다. 제시된 Ermak의 실측자료에서는 실선시험 결과와 모형시험 결과를 실선 크기로 변환하되 유체저항 성분은 무시한 바 있다. 모형시험의 실선 변환 결과를 보면 식(1)을 이용하여 계산한 그래프와 일치하고 있지만 실선시험의 경우 약간의 오차가 발생하는데 이것은 빙판 두께의 미세한 차이와 유체저항 성분을 무시한 결과로 판단이 된다. 마찬가지로 Fig. 3은 빙판 두께를 변화시킬 때의 빙저항을 Kashteljan의 식을 이용하여 계산한 것이다.

한편 1960년대 미국 해안경비대에서는 보유한 쇄빙선을 이용하여 빙해역에서 실선시험과 모형시험을 수행하여 많은 실측자료를 확보하였다. Lewis and Edwards(1970)는 Kashteljan의 평탄빙 쇄빙현상에 관한 연구를 재검토하면서 다음과 같은 형태로 빙저항 식을 제안하였다.

$$R_i = C_0 \sigma h^2 + C_1 \rho_i g B h^2 + C_2 \rho_i B h V^2 \quad (2)$$

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

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

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

그들은 Wind class 쇄빙선 등의 Fig. 4에 주어진 바와 같은 모형시험 및 실선시험 자료를 이용해 $C_0 = 0.146, C_1 = 8.840$ 및 $C_2 = 5.905$ 로 결정하였고 이 값을 이용하여 빙판 두께와 선속의 변화에 따른 빙저항을 계산한 것이 Fig. 5 와 Fig. 6 이다.

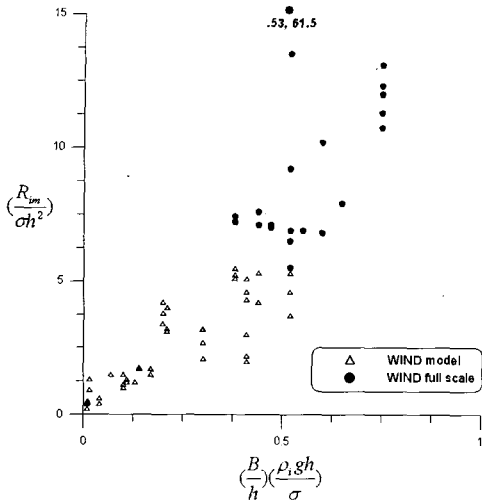


Fig. 4 Non-dimensional experimental continuous mode ice resistance data (from Lewis and Edwards, 1970)

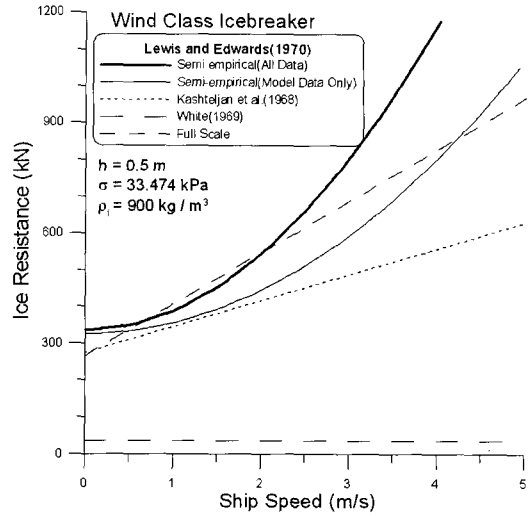


Fig. 6 Comparison of various continuous mode ice resistance prediction methods with full-scale data (redrawn from Lewis and Edwards, 1970)

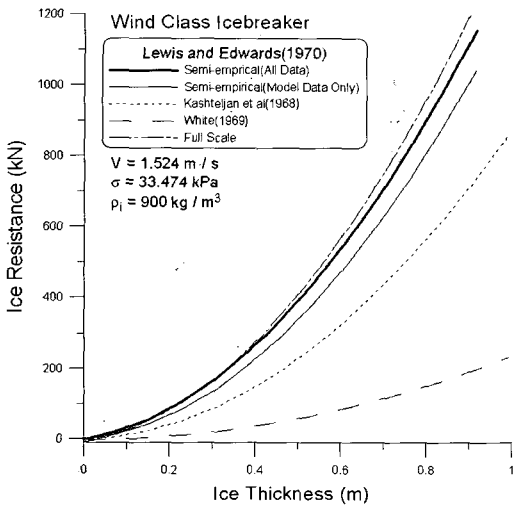


Fig. 5 Comparison of various continuous mode ice resistance prediction methods with full-scale data (redrawn from Lewis and Edwards, 1970)

Fig. 5를 보면 실선시험 결과와 Lewis and Edwards의 추정식 (3) 사이에 상관관계가 좋을 수 있다. 하지만 추정식의 경우 전체 저항은 속도의 제곱의 함수이지만 Kashteljan 공식이나 실선시험에서의 회귀분석은 속도의 1차식으로 나타난다(Fig. 6).

가장 최근에 발표된 빙저항 추정식은 Spencer and Jones(2001)에 의한 것인데 이들은 캐나다 해안경비대(CCG)의 R-Class 쇄빙선에 대한 모형 시험 및 1978, 1979, 1991년에 실행되었던 실선 시험과 비교하였다. 이들은 1:20의 크기와 0.09의 높은 마찰계수를 갖는 모형과 동일한 크기와 0.03의 낮은 마찰계수를 갖는 모형으로 시험을 수행한 결과를 가지고 다음과 같은 빙저항 추정식을 유도하였다.

$$R_I = 0.90 F_n^{-0.739} \rho_i B h_i V_M^2 + 1.08 S_N^{-1.672} \rho_i B h_i V_M^2 + 1.31 \Delta \rho g h_i B T$$

for Low Friction (4)

$$R_I = 2.03 F_n^{-0.971} \rho_i B h_i V_M^2 + 2.19 S_N^{-1.579} \rho_i B h_i V_M^2 + 2.67 \Delta \rho g h_i B T$$

for High Friction (5)

여기서 $F_h = \frac{V}{\sqrt{gh_i}}$: Froude Number

$S_N = \frac{V}{\sqrt{\frac{\sigma_f h_i}{\rho_i B}}}$: Strength Number

그리고 h_i = 빙판의 두께

σ_f = 얼음의 굽힘강도

ρ_i = 얼음의 밀도

$\Delta\rho$ = 얼음의 밀도와 해수 밀도의 차

V = 선속

B = 선폭

T = 흘수

g = 중력가속도

Fig. 7은 1978년의 Pierre Radisson에 관한 실선시험과 실선시험 자료를 식(4)와 식(5)에 대입하여 계산된 결과의 상관관계를 보여주고 있다. 완벽한 상관관계를 가지는 1:1 대응 직선이 모형시험으로부터 나온 직선의 마찰계수 0.03과 0.09 직선 사이에 놓여있다. 그러므로 완벽한 상관관계를 가지는 직선의 마찰계수를 얻어낼 수 있었다.

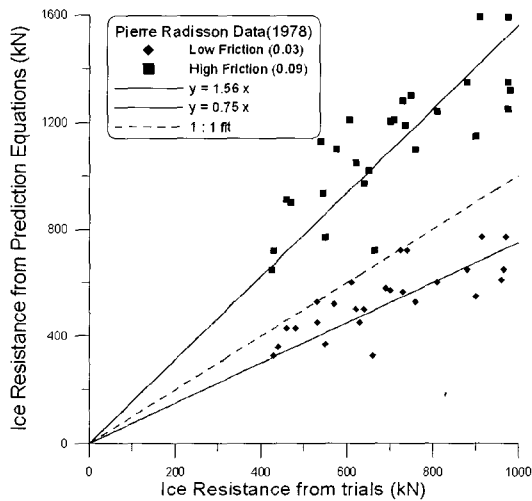


Fig. 7 Comparison between results from Eq. (4) and Eq.(5) and CCGS Pierre Radisson trials during 1978 (redrawn from Spencer and Jones, 2001)

이상과 같은 방법으로 최근(Spencer and Jones, 2001)까지의 빙저항 추정식과 이들 추정식 도출의 배경이 된 모형 및 실선시험 자료 등을 모두 검토하여 Table 1에 정리하였다. 각 빙저항 추정식에 대한 보다 상세한 설명은 인용된 문헌(이우람 2005)을 참고하기 바란다.

3. 빙저항 추정식의 비교

빙저항 추정식과 실측자료의 비교분석이란 본 논문의 목적을 위하여 조사 정리된 모든 빙저항 추정식들을 예인/보급선(tug/supply vessels), 쇄빙선(icebreakers), 쇄빙상선(ice-strengthened cargo vessels)으로 나누고 각 항목에 대해 빙하중 추정식과 실선시험 자료를 서로 비교해 보았다.

먼저 Fig. 8은 미국 해안경비대 소속의 예인/보급선인 Katmai Bay와 Mobile Bay의 전체 빙저항 추정치와 실선시험 결과를 나타내고 있다. 추정치와 실선시험 결과가 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 하지만 예인/보급선의 경우 작은 규모 때문에 평탄빙에서의 연속쇄빙이 가능한 빙두께가 0.5m 내외로 제한이 있고 대부분의 실선시험 결과가 빙저항이 100-200kN 사이에 있다. 이러한 이유로 쇄빙선이나 쇄빙상선의 실선시험 결과와는 직접 비교가 불가능한 것으로 판단이 된다.

한편 쇄빙선의 경우 Fig. 9와 Fig. 10에서 보듯이 추정식에 의한 전체 빙저항은 빙두께 0.5m에서 전체 빙저항이 1,000kN 내외이지만 빙두께가 1.0m로 늘어나면 2,000kN로 증가한다. 하지만 실선시험 자료는 빙두께가 0.5-0.9m에서 1,000kN을 넘는 자료가 거의 없다. 오히려 실선자료와 전체 빙저항은 빙두께가 0.5m 내외일 때 잘 일치하는 것을 알 수 있었다.

쇄빙선의 경우 평탄빙 두께 1m 내외에서의 실선시험 결과는 Carter(1983)의 Pierre Radisson 자료가 유일하다. 쇄빙상선과 비교해 볼 때 같은 빙두께는 아니지만 MV Arctic-Old bow form의 0.8m에서의 결과치와 비슷한 결과를 보여준다

(Levine et al. 1974). Carter의 빙저항 산정식은 MV Arctic에 적용할 경우 쇄빙상선의 빙저항 산정식으로 가능할 것이라고 판단이 된다.

쇄빙상선은 전장에 따라 실선 추정치에 많은 차이가 난다(Fig. 11). 특히 실험식에 의한 추정치와 실선시험 결과가 가장 잘 맞는 선박은 MV Arctic

Table 1 Various ice resistance estimation formulas

	빙파괴 저항 (icebreaking)	중력항 (buoyancy)	속도의존 저항 (momentum change)	비 고
Kashteljan et al. (1968)	$K_1 \mu_0 B \sigma h$	$K_2 \mu_0 B \rho_i h^2$	$K_3 \frac{1}{\eta_2} B^{1.65} V h$	1. Ermak 등 초기 중소형 쇄빙선으로부터 얻은 자료에 의해 계수가 결정되어 근래의 대형선에는 빙저항이 너무 크다. 2. 방정식이 차원적으로 맞지 않으며 마찰의 영향이 고려되지 않았다.
Lewis and Edwards (1970)	$C_0 \sigma h^2$	$C_1 \rho_i g B h^2$	$C_2 \rho_i B h V^2$	1. USCG의 Wind class 쇄빙선 등의 모형시험 및 실선시험으로부터 통계적으로 산정식을 유도하였다. 2. 빙파괴 저항에서 선풍이 제외되어 있고 마찰의 영향이 고려되지 않았다.
Enkvist (1972) : Wartsila	$C_0 \sigma B h$	$C_1 \rho_w g B h T$	$C_2 \rho_i B h V^2$	1. 해석적인 방법으로 산정식을 유도하였고 계수 결정에 쇄빙선 Moskva class, Finncarrier 및 Jeppari의 모형시험 및 실선자료를 이용하였다. 2. 마찰 영향이 계수(C_1, C_2, C_3)에 포함되어 있다.
Edwards et al.(1972)	$C_0 \sigma B h$	$C_1 \rho_w g B h^2$	$C_2 \rho_w B W \sqrt{g h^3}$	1. 이전 식과는 달리 빙파괴 저항에 선풍의 폭이 포함되었다. 2. 속도의존 저항성분이 다른 식과 판이하게 다르다. 두께(h)의 지수가 3/2이고 선속(V)에는 1승을 사용했다.
Levine et al. (1974)		$B h^2 \rho_w g C_\mu C_s$	$B h^2 \rho_w g C_\mu C_v$	1. 60,000 DWT Bulk Carrier에 대해 실선시험을 수행하였다. 2. 선수각이 80° 이상일 경우 모형시험 자체에 적용이 불가하다.
Vance (1975)	$C_0 \sigma B h$	$C_1 \rho_w g B h^2$	$C_2 \rho_i V^2 L h^{0.65} B^{0.35}$	1. 각 계수들에는 마찰이 포함되어 있지만 경험적으로 계수를 구할 수 없다. 2. 적설의 영향이 고려되어 있지 않고 broken channel에서의 저항 산정이 어렵다.
Baker and Nishizaki (1986)	$0.00008385 \sigma h^2$	$0.5517 h^2$	$0.1525 v h$	1. MV Arctic의 새로운 선수형상에 대해 모형시험 수행 2. 실선시험과 모형시험이 거의 일치하지 않았다.
Zahn and Phillips (1987)		$C_1 \rho_w g B h^2$	$C_2 \rho_w V^2 L^3 / h$	1. 메인/보급선인 Mobile Bay의 실선시험 수행 2. 17차례의 실선시험 결과 최적의 무차원계수를 찾아냈다. 3. 연속쇄빙가능한 빙두께 제한으로 쇄빙상선 적용 불가
Spencer and Jones (2001)	$C_0 S_M^a \rho_i B h V^2$ S_N : 무차원 강도계수	$C_1 \rho_w g h B T$	$C_2 F_h^b \rho_i B h V^2$ F_h : 빙두께를 길이 차원으로 사용한 Froude 수	1. 캐나다 R class 쇄빙선에 적용 2. 마찰저항의 정도에 따라 두 가지 모델 3. 모형선에만 적용되는 식으로 상사법칙에 따라 실선에 확장 가능하다 (유체 저항 처리와 유사).

으로 New bow form 및 Old bow form 모두 실선 예측치와 실선시험 자료가 좋은 일치를 보여주고 있다. 삼성의 IMD-614는 AIMB와 Wartsila에서 내놓은 실선 추정치와 거의 일치한다(김현수 등 2004). 이는 IMD-614와 AIMB와 Wartsila의 빙저항 추정 시 선박의 길이나 폭이 비슷한 결과 때문

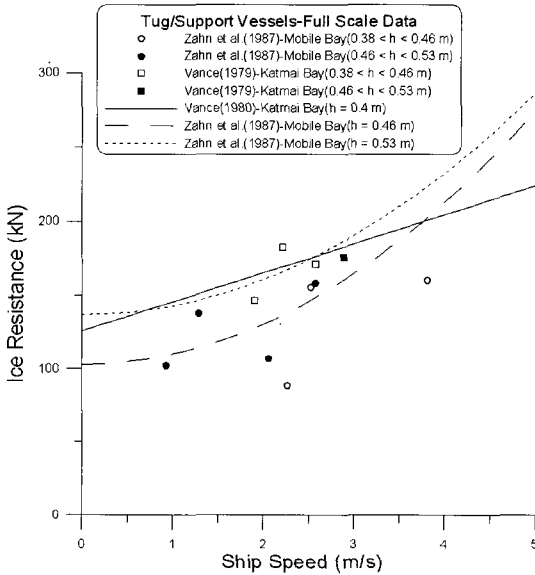


Fig. 8 Total ice resistance and full scale data for tug/supply vessels

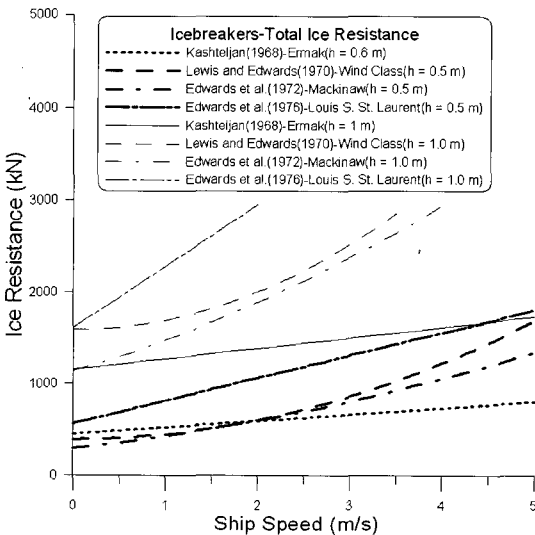


Fig. 9 Total ice resistance for icebreakers

이라고 볼 수 있다.

한편 일본에서 개념 설계한 쇄빙형 탱커는 200,000 DWT로 비교 대상 중 가장 큰 선박이다.

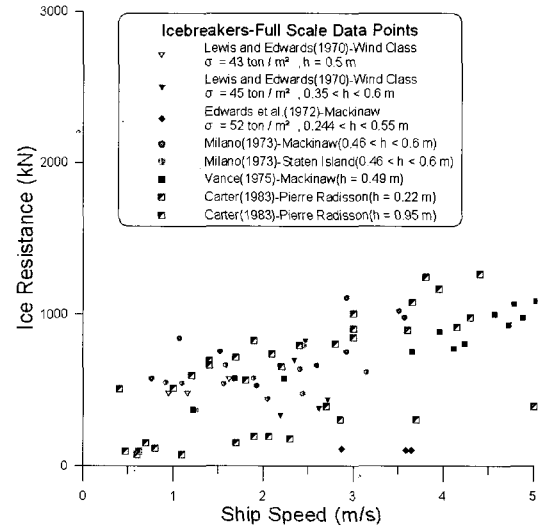


Fig. 10 Full scale data for icebreakers

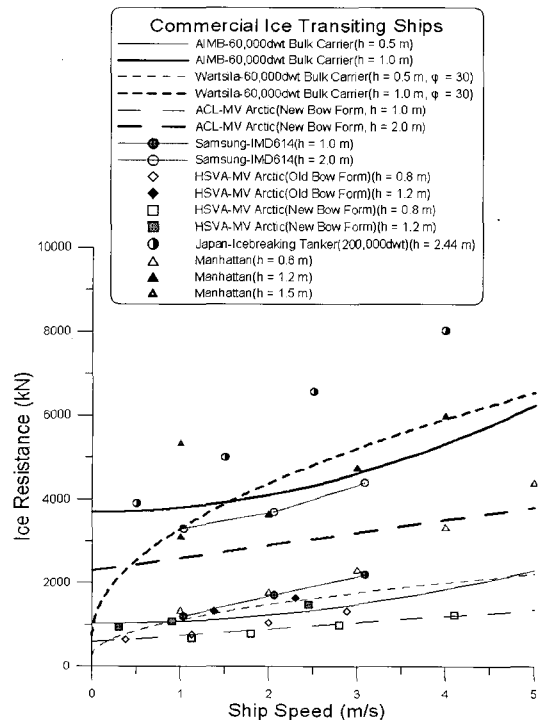


Fig. 11 Total ice resistance and full-scale data for ice-transiting cargo vessels

실선시험 시 평탄빙의 빙두께가 2.44m로 너무 커서 여타의 추정치와 오차가 크다(Baker and Nishizaki 1986). Manhattan의 경우에는 전장이나 폭 등이 AIMB의 선박과 유사하여 AIMB의 예측치와 비교해 볼 수 있는데 저속에서는 어느 정도 일치를 보이지만 속도가 증가할수록 오차가 커진다.

쇄빙상선의 경우 현재 실선시험 자료가 불충분하다. 특히 북극해 항로를 운항하게 될 선박이 극복해야 할 평탄빙의 두께는 최대 2m 정도지만 실선시험 자료가 전혀 없어 실험식에 의한 추정치와의 비교는 불가능했다.

4. 결 론

본 논문에서는 초기의 빙저항 산정식으로부터 최근의 추세까지 어떤 변화가 있는 지를 알아보고자, 특히 우리나라의 여건에 맞는 쇄빙상선에 초점을 맞추어 쇄빙선 혹은 예인/보급선의 빙저항 실측치와 어떠한 차이가 있는 지 비교해 보고자 하였다. 빙저항 결과에 대한 자료가 명확한 저자들을 위주로 그들이 유도한 방법을 검토하였으며 실험에 이용된 쇄빙선박에 대한 자료를 조사하여 계산이 가능한 실험식의 경우 직접 계산을 통해 추정치를 계산해 보았다. 그리고 전체적인 경향을 분석하기 위해 쇄빙선, 예인/보급선, 쇄빙상선으로 구분하여 각각 실선시험 결과치와 회귀분석을 통해 얻어진 추정식을 서로 비교해 보았다.

쇄빙선의 경우 입수한 자료는 쇄빙상선에 비해 연속쇄빙 할 수 있는 평탄빙의 두께가 대략 1m 내로 제한이 있다. 또한 예인/보급선의 경우는 대부분 0.5m 이내이다. 쇄빙선이나 예인/보급선의 전체 저항은 쇄빙상선에 비해 낮게 예측이 되었고 실선시험 자료 또한 이 결과를 말해주고 있다. 이것은 쇄빙선이 쇄빙상선보다 배수량 당 출력비가 높은 결과이고 예외적으로 규모가 쇄빙상선에 거의 근접하는 쇄빙선의 경우 쇄빙상선의 저항값과 유사하게 나온다.

본 논문에서 조사한 문헌에서 이용한 선박은 대부분 쇄빙선이고 빙저항 추정식 또한 자신들이 시험한 선박을 근거로 제시한 경험식이기 때문에 여타의 선박에 적용할 경우 잘 맞지 않아서 쇄빙상선에 적용하는 것은 적합하지 않다고 판단이 된

다. 쇄빙상선을 위해서는 별도의 빙저항 추정식이 필요하지만 쇄빙상선으로 실선시험 및 모형시험을 실시한 경우에도 결과가 만족스럽지 못하였다. 추후 연구로 빙저항과 관련하여 좀 더 다양한 쇄빙상선 시험자료를 수집하여 비교할 필요가 있다고 판단되며 그에 따라 쇄빙상선에 적합한 새로운 빙저항/빙하중 산정식을 제안할 수 있을 것이다.

후 기

본 논문은 한국과학재단 지정 첨단조선공학연구센터(ASERC)와 삼성중공업(주)의 연구비 지원으로 수행된 연구결과임.

참 고 문 헌

- 김현수, 하문근, 안당, 전호환, 2004, "쇄빙 유조선과 일반 유조선의 저항 특성 연구," 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp. 681-686.
- 이우람, 2005, 쇄빙선박의 빙저항 및 빙하중 산정식에 대한 연구, 한국해양대학교 석사학위논문.
- 최경식, 손창배, 평은경, 1992, "빙해항행선박의 선수부 형상과 쇄빙능력에 관한 연구," 대한조선학회 논문집, 제 29권, 제 4호, pp. 87-97.
- Baker, D. and Nishizaki, R., 1986, "The MV Arctic-New Bow Form and Model Testing," SNAME Transactions, Vol. 94, pp. 57-74.
- Carter, D., 1983, Ship Resistance to Continuous Motion in Level Ice, Transportation Development Centre, Transport Canada, Montreal, Canada, Report Number TP3679E.
- Edwards, R.Y., Lewis, J.W., Wheaton, J.W. and Coburn, J., 1972, "Full-Scale and Model Tests of a Great Lakes Icebreaker," SNAME Transactions, Vol. 80, pp. 170-207.
- Enkvist, E., 1972, On the Resistance Encountered by Ships Operating in the Continuous Mode of Icebreaking, Report No. 24, Swedish Academy of Engineering Sciences in Finland.
- Kashteljan, V.I., Poznjak, I.I. and Rylvlin, A.J

1968, "Ice Resistance to Motion of a Ship," Vol. 1 (Ch.1-5), Sudostroyenie, Leningrad.

- Levine, G.H., Voelker, R.P. and Mentz, P.B., 1974, "Advances in the Development of Commercial Ice-Transiting Ships," SNAME Transactions, Vol. 82, pp. 313-343.
- Lewis, J.W. and Edward, Y., 1970, "Methods for Predicting Icebreaking and Ice Resistance Characteristics of Icebreakers," SNAME Transactions, Vol. 78, pp. 213-249.
- Ostreng, W., 1999, INSROP Integration Book The Challenge of the Northern Sea Route, INSROP Working Paper No. 167-1999.
- Spencer, D. and Jones, S.J., 2001, "Model-Scale/Full-Scale Correlation in Open Water and Ice for Canadian Coast Guard "R-Class" Icebreakers," Journal of Ship Research, Vol. 45, No. 4, pp. 249-261.

- Vance, G.P., 1975, "A Scaling System for Vessels Modelled in Ice," Proceedings of SNAME Ice Tech. Symposium, Montreal, Paper H.
- Zahn, P.B. and Phillips, L., 1987, "Full-Scale Towed Resistance Trials of the USCGC Mobile Bay in Uniform Ice," SNAME Transactions, Vol. 95, pp. 45-77.



< 최 경 식 >



< 이 우 랑 >



< 이 진 경 >