

# 쇄빙선박에 작용하는 빙저항 산정을 위한 "IceView" 프로그램 개발

최경식\* · 이진경\*

\*한국해양대학교 해양개발공학부

## Development of "IceView" Program for Estimation of Ice Resistance on Ice-Transiting Vessels

KYUNG-SIK CHOI\* AND JIN-KYOUNG LEE\*

\*Division of Ocean Development Engineering, Korea Maritime University, Busan, Korea

**KEY WORDS:** Ice-Transiting Vessels 쇄빙선박, Ice Resistance Estimation 빙하중 산정, GUI Software Program 그래픽 사용자 방식 소프트웨어 프로그램

**ABSTRACT:** Ice resistance on ice-transiting vessels is one of the important issues concerning the design of ships with ice classes. In this study, the development of GUI software for estimation of ice resistance on ice-transiting vessels is discussed. Ice resistance estimation equations, based on model tests and full-scale sea trial data from many previous research articles, are studied in conjunction with two ship categories i.e., icebreakers/supply/tug vessels and ice-strengthened cargo vessels. Ice resistance estimation equations are summarized in common format and are compared with each other. The GUI software "IceView," written in MS Visual Basic language, can calculate ice resistances according to varying ice thickness and ship speed. The software can provide the calculated results, with suitable tables and graphs, for easy comparison of each ice resistance estimation equation.

### 1. 서 론

최근 에너지 수급의 불안정으로 국제 원유가격이 급등하면서 러시아 및 캐나다 등 북극권에서의 에너지 자원 개발이 많은 주목을 받고 있다. 또한 이들 에너지 자원을 개발하고 운송하기 위한 수송로로서 북극해 항로를 활용하고자 하는 노력이 유럽과 일본 등 선진 각국에서 활발해지고 있으며 빙해역을 운항할 수 있는 쇄빙선박의 설계와 건조도 눈에 띄게 증가하고 있다. 현재 북유럽의 바렌츠 해와 동아시아의 오후츠크 해에서는 해저 석유와 천연가스 개발이 활발히 진행되고 있으며 채굴된 에너지 및 기타 물자의 운송수단으로서 쇄빙선박의 발주도 점차 많아지는 추세이다 (Ostren, 1999; 최경식, 2001).

쇄빙선박의 설계에 있어서 빙저항(ice resistance) 산정은 매우 중요한 과제인데 이는 일반 선박에 비해 추진기관의 출력이 상당히 크고 또한 선체구조가 손상을 입지 않도록 충분한 쇄빙능력을 갖추어야 하는 쇄빙선박의 특징 때문이다. 보통 빙해역에서 쇄빙선박이 받는 유체저항의 크기는 전체저항의 15% 이내라고 평가된다.

빙해역에서 쇄빙선박이 받는 빙저항 산정은 많은 연구자들이 다루어온 주제이긴 하지만 얼음과 선체와의 상호작용에 불확실한 요소가 너무 많아 아직도 만족할 만큼 정확한 결과는 얻지 못하고 있다. 1960년대 이후 빙저항 산정에 관한 연구는 대부분 모형 실험 및 실선계측을 통해 데이터를 확보하고 이를 통계적으로 분석해 경험식 혹은 실험식을 유도하는 방법을 많이 사용하고 있는데 간혹 해석적인 방법으로 빙하중을 산정하기도 하지만 복잡한 유도과정 때문에 수치해석적인 방법을 병행하고 있다 (Valanto, 2001).

현재까지 빙저항 산정을 위해 많은 경험식과 실험식이 제안된 바 있다. 하지만 이들 빙저항 산정식들은 각 연구자들이 확보한 몇몇 선박의 데이터만을 이용한 것이기 때문에 그와는 다른 선종 혹은 크기와 선형이 다른 선박에 대해서는 적용하기에 부적합한 경우가 대부분이다. 더욱이 문헌에 나타난 여러 빙저항 산정식들이 영미단위계(ft-lb)를 사용하기 때문에 산정식들을 서로 비교분석하기에 많은 어려움이 있다.

이러한 이유로 본 연구에서는 문헌에 제안된 빙저항 산정식의 단위를 통일하여 상호 비교분석할 수 있도록 정리하였고 이를 이용하여 현장의 설계 실무자가 편리한 방법으로 빙저항을 계산할 수 있도록 Visual Basic을 이용한 GUI 소프트웨어 프로그램 "IceView"를 개발하였다.

IceView 프로그램은 정리된 각 빙저항 산정식을 이용하여 적

제1저자 최경식 연락처: 부산광역시 영도구 동삼동 1

051-410-4324 kchoi@mail.hhu.ac.kr

용할 선박의 종류에 따라 쇄빙선/예인/보급선과 쇄빙상선으로 나누었고, 선박의 속도, 얼음의 두께에 관한 빙저항 계산값을 표와 그래프로 보여주게 된다. 이 프로그램을 통해 각 쇄빙선박의 선종별로 빙저항 산정식을 적용하는 데 따른 장단점을 서로 비교할 수 있게 되었다.

## 2. 빙저항 산정식

빙저항은 쇄빙선박이 빙판을 깨뜨리며 전진하기 위하여 갖추어야 할 추진기관의 출력을 결정하기 위해서 필요하다. 실제 빙해역의 빙상상태는 평탄빙(level ice)이나 빙맥(multi-year ice ridge), 얼음조각층(ice rubble field or brash ice) 등 매우 다양한 조건이지만 대부분의 연구는 평탄빙에서의 연속쇄빙모드에 의한 빙저항을 다루고 있다.

빙해역에서의 전체 저항은 순수하게 얼음을 깨뜨리며 진행하는데 필요한 빙저항 성분에 정수 중에서의 유체저항을 합쳐서 계산한다. 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, 빙판을 물속에 잠기게 하거나 빙판의 회전, 쇄빙선의 위치변화 및 마찰과 관련된 저항(gravity portion)으로 분리된다. 그리고 속도저항은 깨어진 빙판을 선체 주위로 배제시키는 데 소요되는 저항(inertia portion)을 말한다.

본 논문에 수록된 빙저항 산정식은 Kashteljan et al.(1968) 이후 최근까지 발표된 빙저항 산정 경험식 중 비교의 의미가 있는 것만을 선택하여 정리된 것이다. 단 Enkvist(1972), Milano(1973) 등 유도과정이 복잡하여 명시적으로 사용하기 불편한 경우는 생략하였다. 각 경험식에 대한 상세한 설명은 인용된 문헌(Jones, 1989; 이우람, 2005)을 참고 바란다.

### 2.1 쇄빙선(icebreakers) 및 보급/예인선(supply/tug vessels)

Kashteljan et al.(1968)을 이용한 빙저항 계산

평탄빙에서의 빙저항을 처음으로 세심하게 해석한 것은 Kashteljan et al.(1968)로서 제시된 빙저항식은 다음과 같다.

$$R_i = K_1 \mu_0 B \sigma h + K_2 \mu_0 B \rho_i h^2 + K_3 B^4 h V^{K_4} / \eta_2 \quad (1)$$

$\sigma$  = 얼음의 강도(  $ton/m^2$  )

$h$  = 빙판의 두께(  $m$  )

$B$  = 선박의 폭(  $m$  )

$V$  = 선박의 속도(  $m/s$  )

$\rho_i$  = 얼음의 밀도(  $ton/m^3$  )

$\mu_0, \eta_2$  = Shimansky 계수

$\mu_0 = 1 + \frac{\tan \alpha}{\tan \beta}, \eta_2 = \frac{1}{\tan \alpha}, \alpha, \beta$  는 수선면에서의 접선

각이고  $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5$  는 러시아의 소형 쇄빙선 Ermak

의 1:50 모형 및 실선시험에서 결정된 상수로 각각 0.004, 3.6, 0.25, 1.65, 1.0 이다.

Fig. 1은 Kashteljan의 식 (1)을 쇄빙선 Ermak에 대하여 빙판 두께와 선박의 속도를 다르게 적용하여 계산한 결과를 보여주고 있다. 여기서 1941년에 수행했던 Ermak의 실선시험 결과와 모형 시험 결과를 실선 크기로 변환하되 유체저항 성분은 무시하고 있다. 모형시험의 실선 변환 결과는 식 (1)을 이용하여 나타낸 그래프와 일치하고 있지만 실선시험의 경우 약간의 오차가 있다.

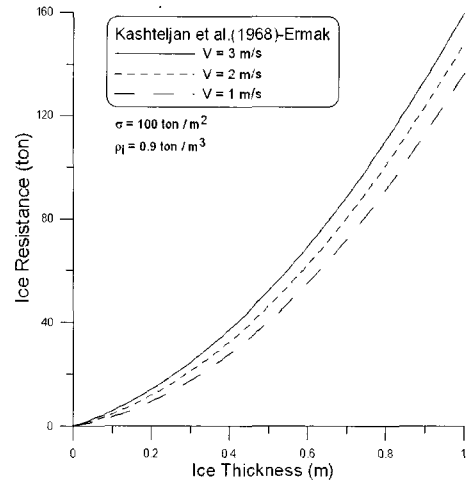


Fig. 1 Ice resistance vs. ice thickness with Kashteljan's Eq. (1)

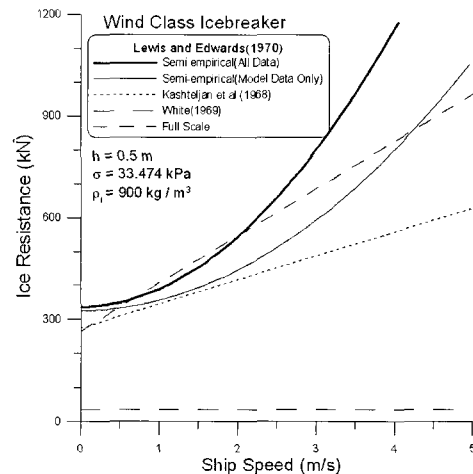


Fig. 2 Comparison of various continuous mode ice resistance prediction methods with full-scale data (Lewis and Edwards, 1970)

Lewis and Edwards(1970)을 이용한 빙저항 계산

1960년대 미국 해안경비대(USCG)에서는 보유한 쇄빙선을 이용하여 빙해역에서 실선시험과 모형시험을 수행하여 많은 실측자료를 확보하였다. Lewis and Edwards(1970)는 Kashteljan의 평탄빙 쇄빙현상에 관한 연구를 재검토하면서 다음과 같은 형태로 빙저항식을 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  $\sigma$  = 얼음의 굽힘강도,  $g$  = 중력가속도이고 나머지 변수들은 앞과 동일하다. 그들은 식 (2)를  $\sigma h^2$ 로 나누어 무차원화 하였으며 Wind class 쇠빙선 등의 모형시험 및 실선시험 자료를 이용해 계수를  $C_0 = 0.146$ ,  $C_1 = 8.840$  및  $C_2 = 5.905$ 로 결정하였다.

실선시험 결과와 Lewis and Edwards의 추정식은 비교적 잘 일치하고 있으며 전체 저항은 속도 제곱의 함수로 표현된다. 반면 Kashteljan식이나 실선시험 데이터는 속도에 대한 1차식으로 나타나고 있다(Fig. 2).

Edwards et al.(1972)을 이용한 빙저항 계산

Edwards et al.(1972)은 식 (2)를  $\sigma h^2$  대신  $\rho_w g B h^2$  으로 나누어 무차원화 시켰는데 회귀분석을 사용하여 실측자료에 대해 다음과 같은 두 개의 식을 얻었다.

$$\frac{R}{\rho_w g B h^2} = 5.2594 + 4.3500 \frac{v}{\sqrt{gh}} + 1.6760 \frac{v^2}{gh} + 5.4635 \frac{SC}{h} \quad (3)$$

;  $\frac{\sigma}{\rho_w g h} < 380$

$$\frac{R}{\rho_w g B h^2} = 3.2625 + 1.6538 \frac{v^2}{gh} + 0.0194 \frac{v}{\sqrt{gh}} \cdot \frac{\sigma}{\rho_w g h} + 22.6187 \frac{SC}{h} \quad (4)$$

;  $570 < \frac{\sigma}{\rho_w g h} < 1100$

여기서  $\rho_w$  = 해수의 밀도,  $SC$  = 적설층 두께이다.

이 식들은 Wind class Staten Island와 Mackinaw를 비교하는데 사용되었다.

Vance(1975)을 이용한 빙저항 계산

Vance(1975)는 모형시험 및 실선자료(Mackinaw, Moskva class, Finncarrier, Staten Island 및 Ermak)로부터 빙저항에 대하여 다음과 같은 경험식을 얻었다.

$$R = C_s \rho_w g B h^2 + C_b \sigma B h + C_v \rho_i V^2 L h^{0.65} B^{0.35} \quad (5)$$

위 식의 각 항은 빙편의 침수 및 중력 성분, 순수 쇠빙저항, 그리고 속도에 관계하는 성분을 나타낸다. 그리고 여기서

$C_s$  = 압침저항계수 (submergence coefficient) = 16.91

$C_b$  = 쇠빙저항계수 (breaking coefficient) = 0.034

$C_v$  = 속도저항계수 (velocity coefficient) = 0.165

$L$  = 선박의 길이이다.

Vance는 식 (5)를 Mackinaw 자료에 대한 Lewis and Edwards 및 Milano의 공식과 비교하였다(Fig. 3). 동일한 선박의 실험결과지만 Vance의 결과가 가장 잘 맞는 것을 볼 수 있다. 하지만

Vance의 식에는 적설(snow cover)의 영향을 고려하지 않았고 각 항의 계수에 마찰의 영향이 어느 정도인지도 불분명하였다.

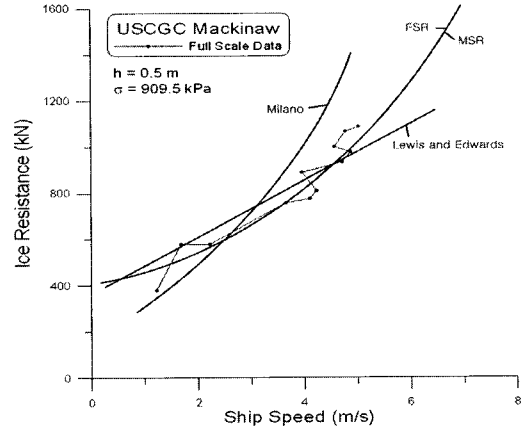


Fig. 3 Comparison of Mackinaw resistance data (Vance, 1975)

Zahn and Phillips(1987)을 이용한 빙저항 계산

Zahn and Phillips(1987)는 평탄빙에서 쇠빙선 Mobile Bay를 Mackinaw에 의해 예인하는 저항시험을 수행하였다. 그리고 측정된 빙저항 자료분석을 통해 유도된 무차원 변수들을 가지고 다음과 같은 빙저항식을 제안하였다.

$$\frac{R_i}{\rho_w g B h^2} = C_0 + C_1 \left( \frac{V^2}{gB} \right) \left( \frac{L}{h} \right)^3 \quad (6)$$

여기서  $C_0 = 4.25$ ,  $C_1 = 3.96 \times 10^5$ 이다. Fig. 4는 식 (6)을 이용한 빙저항 계산과 쇠빙선 Mobile Bay에 대한 실선시험자료이다.

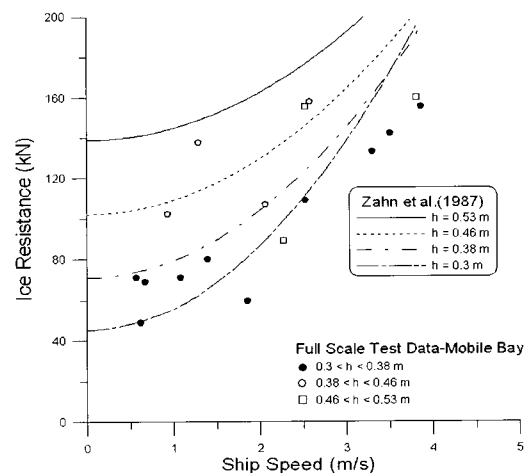


Fig. 4 Ice resistance versus ship speed data for Mobile Bay

## 2.2 쇠빙상선(ice-strengthened cargo vessels)

Levine et al.(1974)은 오대호 지역의 석탄 운반과 북극의 원유

수송을 위한 쇄빙상선의 빙저항 산정을 위해 서로 다른 두 곳에서  
의 모형시험을 기술하였는데 Wartsila Ice Model Basin(WIMB)  
과 ARCTEC Ice Model Basin(AIMB)이 그것이다.

WIMB(1973)의 빙저항 산정식

통상 전체 빙저항은 빙파괴항, 침수항, 속도의존항의 세 개로  
가정하지만 WIMB에서는 다른 두 항에 비해 실선시험 저항이 작  
기 때문에 빙파괴항을 무시하였다. WIMB에서는 회귀분석을 통  
해 다음과 같은 실선 저항식을 유도하였다.

$$R_{ice} = Bh^2 \rho_w g C_\mu (C_s + C_v)$$

$$C_\mu = [1.0347 + 0.009087\phi + 0.0000445(\frac{L}{B})]$$

$$C_s = [60.64\phi^{-0.72571} \times (\frac{B}{h})^{(0.00673\phi + 0.14115\sqrt{L/B})}]$$

$$C_v = [20068.3\phi^{-1.77088} \times (\frac{v^2}{Bg})^{0.77867\sqrt{B/L}} \times (\frac{B}{h})^{0.0144\phi}] \quad (7)$$

여기서  $\rho_w$  = 얼음의 밀도와 해수 밀도의 차이이고  $\phi$  = 선수각  
(deg)이다.

하지만 식 (7)은 등근 선수의 선박에서는 다른 모드의 빙파괴  
가 발생하므로 사용될 수 없고 다음 조건에만 적용된다.

- velocity : 2.3 ~ 13.8 mph for 1 ft ice thickness
- 2.3 ~ 10.4 mph for 2 ft ice thickness
- 2.3 ~ 6.9 mph for 3 ft ice thickness
- stem angle : 30 ~ 82 deg
- L/B : 4.33 ~ 9.54
- B : 50 ~ 120 ft

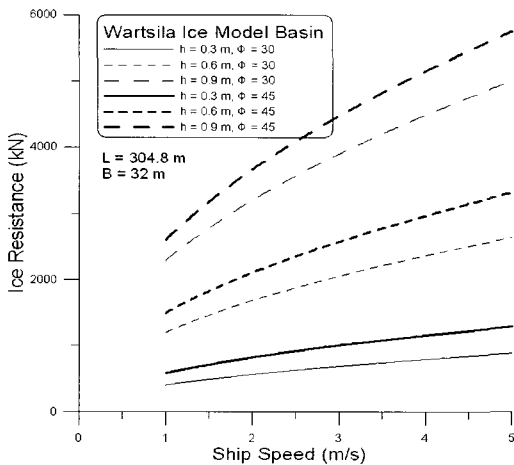


Fig. 5 Estimated ice resistance of a 60,000 DWT bulk carrier (WIMB)

AIMB(1974)의 빙저항 산정식

ARCTEC에서의 모형시험에서는 빙저항에서의 L/B 에 따른 변  
화에 주목하였다.

$$R = 1.5767\rho_w g Bh^2 + 0.9114\rho_w g Lh^2 + 3.1059\rho_w Bhv^2 + 0.0252\sigma_f Bh \quad (8)$$

식 (8)은 다음 조건하에서 30°의 선수각에 대해서만 적용한다.

$$2B \leq L \leq 8B$$

$$0.17\sqrt{gh} \leq v \leq 2.63\sqrt{gh}$$

$$34\rho_w gh \leq \sigma_f \leq 289\rho_w gh$$

Fig. 5와 Fig. 6에는 전장 304.8m, 폭 32m의 가상 쇄빙상선에  
대해 식 (7)과 (8)을 이용해 빙저항을 계산한 결과가 나타나 있다.

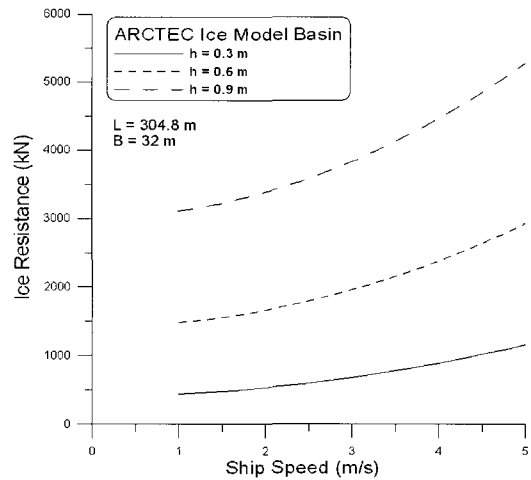


Fig. 6 Estimated ice resistance of a 60,000 DWT bulk carrier (AIMB)

**Baker and Nishizaki(1986)의 빙저항 산정식**

Baker and Nishizaki(1986)는 북극해용 bulk carrier인 MV Arctic에 대한 선수형상에 대하여 타 연구자들의 모형시험 결과와 비교하였다. MV Arctic은 1978년에 Arctic Class 2 선박이었지만 선주의 요구로 1985/86년에 선수형상 변화와 Arctic Class 4로의 업그레이드를 하게 된다. 새로운 선수형상의 설계를 위해 광범위한 빙수조 실험이 Arctec Canada Ltd.(ACL), 독일의 HSVA, 핀란드의 WARC에서 각각 수행되었다.

이들은 플레어각 및 수선면각이 빙저항에 미치는 영향을 조사하기 위해 무차원의 선수부 길이와의 비교를 통해 새로운 선수부 형상을 설계하고자 하였고 이 과정에서 새로운 선체형상으로 선수부 설계를 맡았던 Melville사의 이름을 따서 "Melville bow"가 결정되었다.

ACL은 회귀분석을 통해 두 개의 선수형상에 대해 다음과 같은 실선 빙저항 추정식을 얻었다.

Old bow form :

$$R = 0.001166\sigma h^2 + 0.1504vh + 0.5167h \quad (9)$$

New bow form :

$$R = 0.00008385\sigma h + 0.1525vh + 0.5517h^2 \quad (10)$$

HSVA에서 수행된 빙수조 시험에서는 모형이 완전히 자유로운 상태의 self-propulsion test가 있었다. 실선 빙저항 예측은 Froude 관계를 이용하여 각각의 모형시험자료를 확장함으로써 얻었다.

Fig. 7은 MV Arctic의 Old bow form에 대하여 HSVA의 모형시험 결과를 실선으로 확장한 자료와 ACL에서 내놓은 실선 빙저항 예측치를 서로 비교해 놓은 결과이다. 서로간의 빙모델 혹은 해석방법의 차이로 인해 너무 넓게 분산이 되어있는 것을 볼 수 있다. Fig. 8은 Meville new bow form에 대한 결과이며 Fig. 7과 마찬가지로 분산이 되어있는 것을 볼 수 있다. 하지만 선수형상의 변화에 따른 빙저항은 줄어든 것을 알 수 있다.

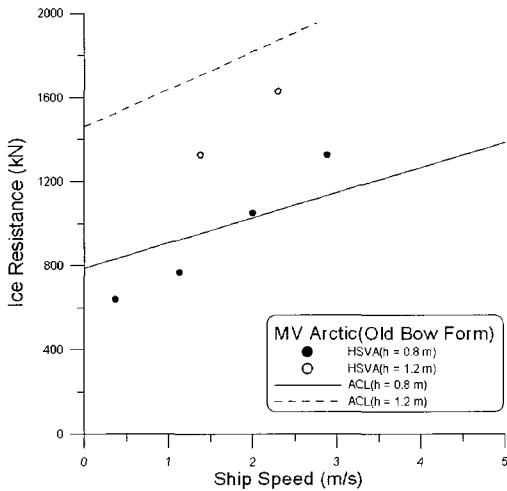


Fig. 7 Comparison of full scale predictions from ACL, HSVA for MV Arctic old bow form. Ice strength = 500 kPa

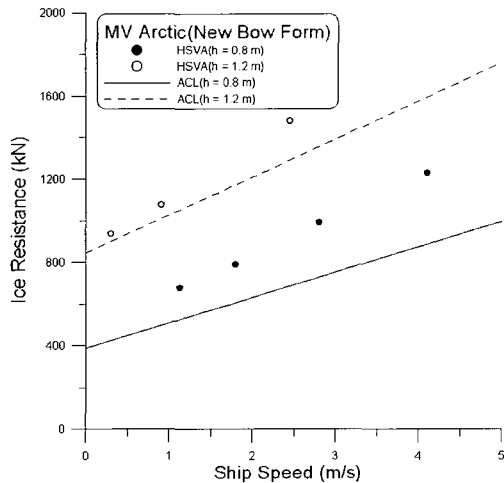


Fig. 8 Comparison of full scale predictions from ACL, HSVA for MV Arctic Melville bow form. Ice strength = 500 kPa

Spencer and Jones(2001)의 빙저항 산정식

Spencer and Jones(2001)는 캐나다 해안경비대(CCG)의 R-Class 쇄빙선 Pierre Radisson 및 Sir John Franklin에 대한 모형시험

을 1978, 1979, 1991년에 실행되었던 실선시험과 비교하였다. Spencer and Jones는 1:20의 크기와 0.09의 높은 마찰계수를 갖는 모형과 동일한 크기와 0.03의 낮은 마찰 계수를 갖는 모형으로 시험을 수행한 결과를 가지고 두 가지 빙저항식을 유도하였다.

Low Friction :

$$R_I = 0.90F_h^{-0.739} \rho_i B h_i V^2 + 1.08S_N^{-1.672} \rho_i B h_i V^2 + 1.31 \Delta \rho g h_i B T \quad (11)$$

High Friction :

$$R_I = 2.03F_h^{-0.971} \rho_i B h_i V^2 + 2.19S_N^{-1.579} \rho_i B h_i V^2 + 2.67 \Delta \rho g h_i B T \quad (12)$$

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

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

$\Delta \rho$  = 얼음의 밀도와 해수 밀도의 차

$T$  = 흘수

Fig. 9는 1978년의 Pierre Radisson에 관한 실선시험과 실선시험 자료를 식 (11)과 식 (12)에 대입하여 계산된 결과의 상관관계를 보여주고 있다. 완벽한 상관관계를 가지는 1:1 대응 직선이 모형시험으로부터 나온 직선의 마찰계수 0.03과 0.09 직선 사이에 놓여있음을 알 수 있다.

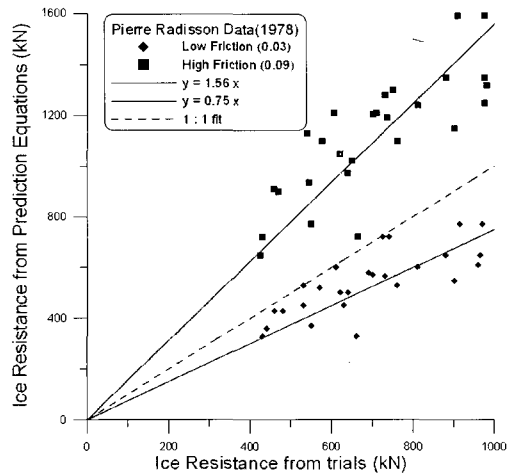


Fig. 9 Comparison between results from Eq. (11) and Eq. (12) and CCGS Pierre Radisson 1978 trials

### 3. 빙저항 산정 프로그램 "IceView"

IceView 프로그램은 Visual Basic 언어를 이용하여 GUI 방식으로 쇄빙선박이 받는 빙저항을 계산하고 이를 도표 및 그래프로 나타내는 프로그램으로서 앞에서 언급된 바와 같이 60년대 후반부터 최근까지 발표된 빙저항 산정식을 이용하도록 설계되었다. 본래 이 프로그램은 해역의 빙상환경과 항로에 대한 GIS 정보,

빙해역을 운항하는 선박의 Ice Transit Model, 빙저항/빙하중 산정, 그리고 쇄빙선박의 DB 및 선형, 구조설계 등 빙해역의 쇄빙선박에 관한 포괄적인 정보를 제공하기 위한 것이다. 그중 빙저항 산정을 위한 프로그램의 구성과 자료처리 절차는 Fig 10과 같다.

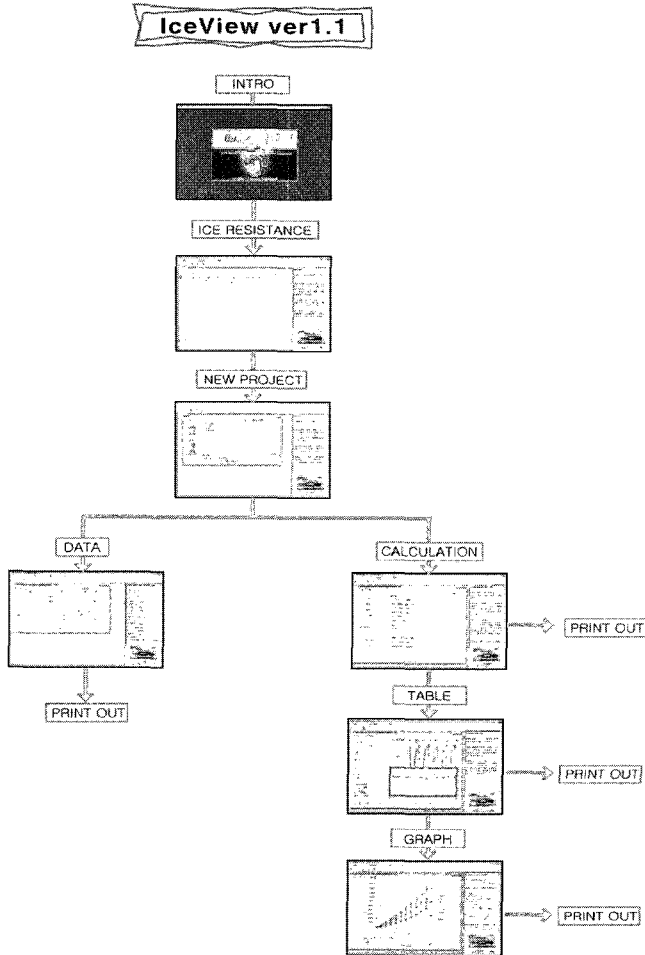


Fig. 10 Flowchart for "IceView" program

프로그램을 실행하는 첫 화면이 Fig. 11에 나타나 있다. <Data> 화면은 빙저항 산정식에 필요한 설계 파라미터를 입력하는 화면이다(Fig. 12). 사용된 설계 파라미터는 다음과 같다.

- B (m) : 최대 선폭
- L (m) : 선체 길이
- V (m/s) : 선속
- T (m) : 흘수
- Delta (1000 Ton) : 배수량
- P (MW) : 출력
- alpha (deg) : 수선면각
- beta (deg) : 수선면경사각
- gamma (deg) : 선수각

- sigma\_f (kPa) : 얼음의 굽힘강도
- h (m) : 얼음 두께
- rho\_i (kg/m<sup>3</sup>) : 얼음의 밀도
- h\_s (m) : 적설층 두께
- g (m/s<sup>2</sup>) : 중력가속도
- rho\_w (kg/m<sup>3</sup>) : 해수의 밀도
- f : 마찰계수

그리고 계산되는 빙저항 값은 (kN)으로 표시된다.

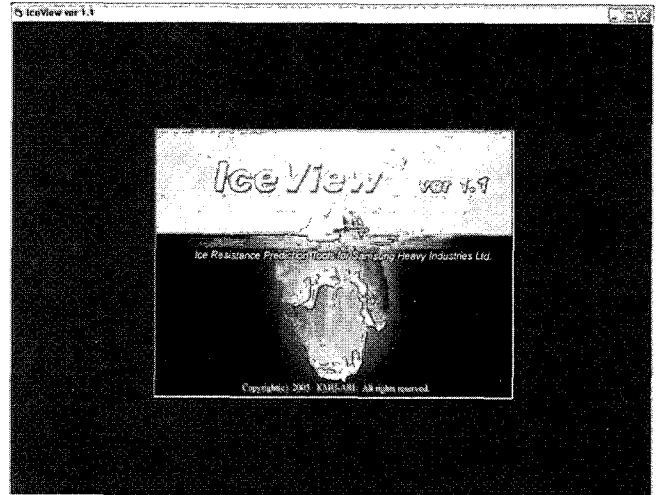


Fig. 11 Introductory screen

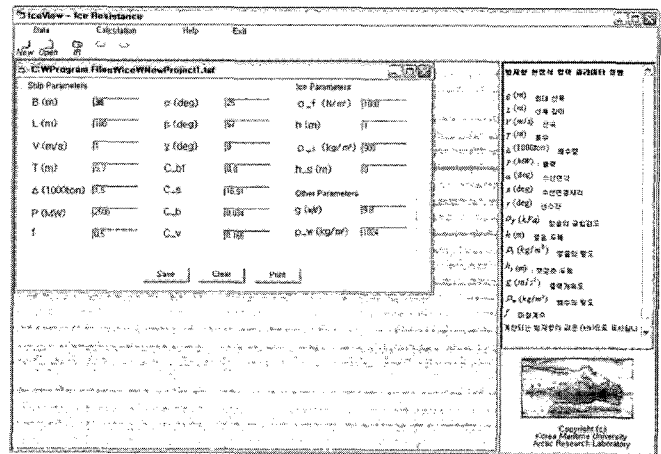


Fig. 12 Data input screen

<Calculation> 화면은 입력된 파라미터에 대하여 빙저항을 구하는 데 사용되는 경험식을 선택하는 화면이다(Fig. 13). 현재는 평탄빙에서의 연속쇄빙(Continuous Icebreaking) 문제만 처리한다. 한편 사용된 빙저항 경험식은 전형적인 쇄빙선 형상(icebreakers)과 쇄빙상선(ice-strengthened cargo vessels)의 두 가지로 구분하였으며 동일한 파라미터에 대하여 하나 이상의 경험식을 복수로 선택할 수 있으며 <All>을 선택하면 모든 식에 대하여 한 번에 계산할 수 있다.

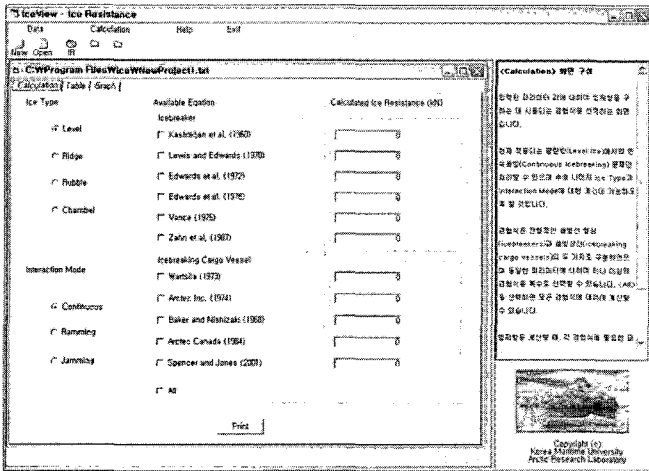


Fig. 13 Ice resistance calculation screen

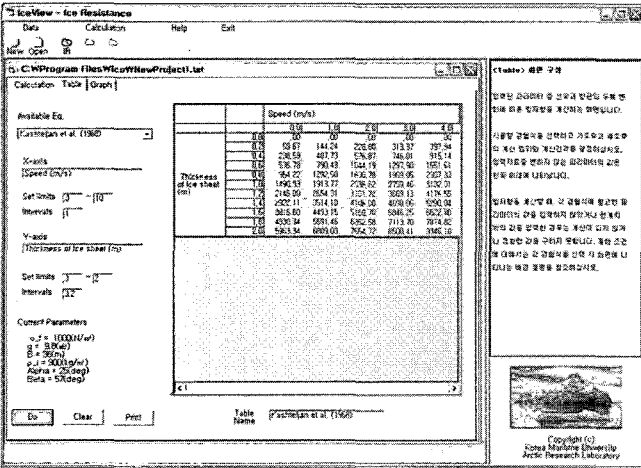


Fig. 14 Table making screen

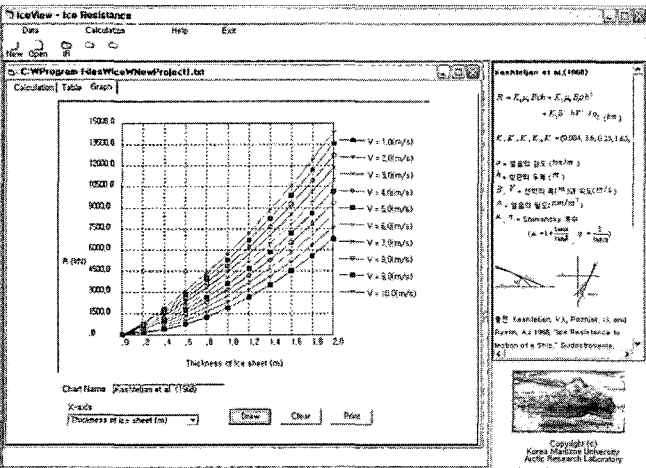


Fig. 15 Graph visualization screen

<Table> 화면은 입력된 파라미터 중 선속과 빙판의 두께 변화에 따른 빙저항을 계산하는 화면이다(Fig. 14). 사용할 경험식을 선택하고 가로축과 세로축의 계산 범위와 계산간격을 결정

하면 표가 만들어 진다. 입력자료 중 변하지 않는 파라미터의 값은 왼쪽 아래에 나타난다. <Graph> 화면은 앞서 표로 나타낸 빙저항 계산값을 그래프로 나타내는 화면이다(Fig. 15).

### 5. 결 론

현재까지 빙저항 산정을 위해 많은 경험식과 실험식이 제안된 바 있다. 하지만 이들 빙저항 산정식들은 제한된 선박의 데이터만을 이용한 것이기 때문에 크기와 선형이 다른 선박에 대해서는 적용하기에 부적합하다. 더욱이 문헌에 나타난 여러 빙저항 산정식들이 서로 다른 단위계를 사용하기 때문에 산정식들을 비교분석하기에 많은 어려움이 있었다.

본 연구에서는 문헌에 제안된 각 빙저항 산정식의 단위를 통일하였고 아울러 Kashteljan et al.(1968) 이후 최근까지 발표된 빙저항 산정식 중 비교의 의미가 있는 것을 선택하여 정리하였다. 그리고 이를 이용하여 현장의 설계 실무자가 편리한 방법으로 빙저항을 계산할 수 있도록 Visual Basic을 이용한 GUI 소프트웨어 프로그램 IceView 를 개발하였다.

IceView 프로그램은 각 빙저항 산정식을 이용하여 적용할 선박의 종류에 따라 쇄빙선/예인/보급선 및 쇄빙상선으로 구분하여 선박의 속도, 얼음의 두께에 관한 빙저항 계산값을 표와 그래프로 보여준다. 이 프로그램을 통해 각 쇄빙선박의 선종별로 빙저항 산정식을 적용하는 데 따른 장단점을 서로 비교할 수 있게 되었다. 빙하중 산정식은 제안자에 따라 편차가 크기 때문에 쇄빙선박의 설계 시 각 공식에 적용된 기본적인 가정과 적용한계 등을 명확히 파악하고 사용할 필요가 있다.

### 후 기

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

### 참 고 문 헌

이우람 (2005). 쇄빙선박의 빙저항 및 빙하중 산정식에 대한 연구, 한국해양대학교 석사학위논문.  
 최경식 (2001). 북극해 항로의 경제성 분석과 빙해용 쇄빙상선 모델 개발, 해양수산부 연구보고서.  
 Baker, D. and Nishizaki, R. (1986). "The MV Arctic-New Bow Form and Model Testing," SNAME Transactions, Vol 94, pp 57-74.  
 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.

- Jones, S.J. (1989). "A Review of Ship Performance in Level Ice," Proceedings of 8th OMAE Conference, The Hague, The Netherlands, Vol IV, pp 325-342.
- Kashteljan, V.I., Poznjak, I.I. and Ryvlin, A.J. (1968). "Ice Resistance to Motion of a Ship," Vol 1, Sudostroyenie, Leningrad (Translation from Russian).
- 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, R.Y. (1970). "Methods for Predicting Icebreaking and Ice Resistance Characteristics of Icebreakers," SNAME Transactions, Vol 78, pp 213-249.
- Milano, V.R. (1973). "Ship Resistance to Continuous Motion in Ice," SNAME Transactions, Vol 81, pp 274-306.
- Ostreng, W. et al. (1999). "The Challenges of the Northern Sea Route - Interplay between Natural and Societal Factors", 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.
- Valanto, P. (2001). "The Resistance of Ships in Level Ice", SNAME Transactions, Vol 109, pp 53-83.
- Vance, G.P. (1975). "A Scaling System for Vessels Modelled in Ice," Proc. of SNAME Ice Tech. Symposium, Montreal, Paper H.
- White, R.M. (1970). "Prediction of Icebreaker Capability," The Royal Institution of Naval Architects, Vol 112, pp 225-251.
- 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.

---

2005년 11월 1일 원고 접수

2005년 12월 1일 최종 수정본 채택