

## 쇄빙선박에 작용하는 빙저항 추정식 고찰

정성엽\*, 최경식†\*

한국해양대학교 해양개발공학부\*

A Review on Ice Resistance Prediction Formulas for Icebreaking Vessels

Seong-Yeob Jeong\* and Kyungsik Choi†\*

Div. of Ocean Development Engineering, Korea Maritime University\*

### Abstract

In this paper, one of the widely-used ice resistance prediction methods, introduced by Spencer(1992) of the Institute for Ocean Technology, Canada, is reviewed. Spencer's component-based scaling system for ship-ice model tests is analysed to estimate the ice resistance of various types of icebreaking vessels (Canadian MV Arctic, Terry Fox, R-Class icebreaker, US icebreakers Polar Star and Healy, Russian SA-15 cargo ships, Japanese PM Teshio and a model ship). The general form and the non-dimensional coefficients in ice resistance prediction formula are obtained using the published ice model test and full-scale sea trial data. The applicability of Spencer's method on R-Class icebreaker is discussed to estimate ice resistance for the larger icebreaking cargo vessels. Additional parameters to account for the difference in hull forms of icebreakers and cargo vessels are recommended to be included in the Spencer's original ice resistance prediction formula.

※Keywords: Ice resistance(빙저항), Icebreaking vessels(쇄빙선), Icebreaking cargo vessels (쇄빙상선), Model and full-scale test data(모형선 및 실선 실험자료), Ice resistance prediction formulas(빙저항 추정식)

### 1. 서론

최근 들어 극지 천연자원 개발에 대한 관심이 증가함에 따라 빙해역을 운항할 수 있는 쇄빙선박의 건조에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있다.

접수일: 2008년 6월 4일, 승인일: 2008년 10월 8일

†교신저자: kchoi@hhu.ac.kr, 051-410-4324

일반적으로 빙저항은 빙하중(ice load)과 달리 선박의 진행방향에 반대방향으로 작용하는 힘으로서, 선박의 추진기관의 출력과 관계된 문제로 쇄빙과정에서 일정한 전진방향의 속도를 유지하기 위한 추력의 요구조건(power requirement)과 밀접한 관련이 있다. 빙저항 산정은 1970년대 이래 많은 연구자들이 관심을 가져 온 주제인데 비해 아직도 유체저항 추정만큼 정교한 방법이 사용되고 있지 못한 실정이다. 그 이유는 빙해역에서의 빙저항 계

측 및 빙수조(ice model basin) 모형시험이 그만큼 까다롭고 실제 상황의 재현이 부정확하다는 데 있다. 국내에서는 빙해역과 일반해역 모두 운항 가능한 내빙선박에 대한 빙수조에서의 저항시험과 추진성능에 관한 연구가 있었고(Kim et al. 2006) 또한 얼음과의 충돌에 따른 쇄빙 LNG선의 구조해석과 선박의 안전성 평가에 대한 연구도 시도된 바 있다(Lee et al. 2007). 그리고 문헌으로부터 쇄빙선박의 실선시험과 모형시험을 통한 빙저항 자료가 정리된 바 있다(Choi et al. 등 2006). 하지만 지금까지 빙저항 추정에 대한 연구를 볼 때 쇄빙선박의 모형시험 결과를 실선으로 확장하는 충분히 정교한 방법이 확립되었다 보기는 어렵다.

본 연구에서는 빙해역에서 쇄빙선박에 작용하는 빙저항 산정을 위해 캐나다의 IOT(Institute for Ocean Technology)에서 사용되고 있는 Spencer의 방법(Spencer 1992, Spencer and Jones 2001)을 검토한 뒤 이 방법을 다른 여러 선박에 적용하여 모형시험의 결과를 잘 반영하는 빙저항 추정식을 도출하였다. 그리고 모형시험의 결과를 실선으로 확장하여 현재 국내외에서 건조 혹은 건조(계획) 중인 쇄빙선박에 적용시켰고 향후 주종을 이룰 쇄빙상선에 대하여 이 빙저항 추정법의 적용 가능성을 고찰하였다.

## 2. Spencer 방법에 의한 빙저항 성분

실제 빙해역의 빙상상태는 평탄빙(level ice)이나 빙맥(ice ridge), 개수로에 부서진 빙편으로 차있는 상태(brash ice) 등 매우 다양한 조건이지만 대부분의 연구는 평탄빙에서의 빙저항을 다루고 있다. 이는 평탄빙에서의 빙저항 해석이 가장 기본이 되며 또한 제일 용이하게 수행할 수 있다는 점 때문이다. 빙저항은 편의상 쇄빙 메커니즘에 따라 몇 개의 성분으로 구분하여 추정한다. 빙저항은 속도와 무관한 저항성분(직접저항, direct resistance)과 속도와 관련된 저항성분(속도저항, velocity resistance)으로 분리하여 취급하며 이중 직접저항은 빙판을 깨뜨리는 데 소요되는 저항(fracture portion)과, 빙판을 물 속에 잠기게 하거나 빙편의

회전, 쇄빙선의 위치변화 및 마찰과 관련된 저항(gravity portion)으로 분리된다. 속도저항은 깨어진 빙편을 선체 주위로 배치시키는 데 소요되는 저항(inertia portion)이다.

쇄빙선박의 빙저항 추정 문제는 빙해역을 운항하는 선박의 성능과 관련된 사항으로서 최근 국내 및 해외 조선 현장의 공통된 중요한 관심사이다. 지금까지 대다수의 연구자들은 빙저항 문제를 성분별로 구분하여 접근하였다. 현재 캐나다 IOT에서는 Spencer의 방법을 이용해 쇄빙선박에 작용하는 빙저항을 추정한다. Spencer가 제안한 빙저항 추정법에서 전체 빙저항( $R_T$ )은 다음과 같이 성분별로 구분된다.

$$R_T = R_{OW} + R_B + R_C + R_{BR} \quad (1)$$

여기서  $R_T$  = total ice resistance  
 $R_{OW}$  = open water resistance  
 $R_B$  = ice buoyancy resistance  
 $R_C$  = ice clearing resistance  
 $R_{BR}$  = ice breaking resistance

전체 빙저항( $R_T$ )은 유체저항( $R_{OW}$ ), 빙부력 저항( $R_B$ ), 빙제거 저항( $R_C$ ), 쇄빙저항( $R_{BR}$ )의 4가지 성분의 합으로 구성된다. 실제 현장에서 측정되는 전체 빙저항은 각 성분별로 따로 측정되지 않지만 빙수조에서의 모형시험에서는 온전한 평탄빙 실험뿐만 아니라 빙판을 미리 톱으로 절단해 놓은 pre-sawn 상태에서도 빙저항을 측정하기 때문에 빙판을 깨뜨리는 데 소요되는 쇄빙저항 성분을 다른 성분과 분리시켜 처리할 수 있다. Pre-sawn 상태에서의 모형시험은 1970년대 빙수조가 본격적으로 활용되기 시작한 이래 빙수조 시험의 중요한 부분으로 인식되고 있다. 미리 2-4줄로 잘라 놓은 마름모꼴 빙편은 크기가 아주 크지만 얇다면 빙편 형상에 따른 빙저항 차는 아주 작다고 알려져 있다(Enkvist 1983). 따라서 쇄빙저항( $R_{BR}$ ) 성분을 제외한 pre-sawn 상태에서의 빙저항은 다음 식으로 표현된다.

$$R_{PS} = R_{OW} + R_B + R_C \quad (2)$$

2.1 유체저항 (Open Water Resistance)

유체저항 혹은 개수로 저항( $R_{OW}$ )은 선박이 개수로를 운항할 때 발생하는 저항을 일컫는다. 일반적으로 유체저항은 일반 예인수조에서 모형시험을 통해 직접 측정된다. 하지만 유체저항의 경우 전체 빙저항( $R_T$ )의 3~5% 정도이기 때문에 다른 성분들에 비해 그렇게 중요하지 않다. Spencer는 R-Class 쇄빙선의 모형시험에서 모형선 속도( $V$ )가  $1.0m/s$  (실선의 경우  $4.6m/s$ ) 보다 느린 저속상태에서의 유체저항을 구하였고 그 결과를 다음과 같이 속도의 제곱에 비례하여 나타내었다.

$$R_{OW} = 14.6 V^2 \quad (3)$$

2.2 빙부력 저항 (Ice Buoyancy Resistance)

빙부력 저항( $R_B$ )은 쇄빙과정에서 깨진 빙편이 선측 및 선저로 밀려 물속에 잠겼다가 떠오르는 빙편의 부력에 의해 발생하는 저항을 말하며 전체 빙저항( $R_T$ ) 중에서 약 10~15% 정도를 차지한다. 식(2)의 pre-sawn 상태에서의 저항( $R_{PS}$ )에서 유체저항( $R_{OW}$ )을 빼면 빙부력 저항( $R_B$ )과 빙제거 저항( $R_C$ )의 합으로 나타낼 수 있다. 여기서 빙부력 저항( $R_B$ )은 속도에 무관하지만 빙제거 저항( $R_C$ )은 속도에 관련되므로, 모형선의 속도가 매우 저속인 경우 빙제거 저항( $R_C$ )을 무시할 수 있으며, 이로부터 pre-sawn 상태의 저속구간에서 측정되는 값으로 빙부력 저항( $R_B$ )을 구할 수 있다. 즉 Fig. 1에서 속도가 0 인 경우에 해당하는,  $R_B + R_C$  축과 만나는 값이 빙부력 저항( $R_B$ )이 된다.

한편 빙부력 저항( $R_B$ )과 부력( $\Delta \rho g h_i B T$ )의 관계에서 무차원 빙부력 저항계수  $C_B$ 를 구할 수 있는데, 이는 Fig. 2에 표시된 직선의 기울기에 해당한다. Spencer는 모형시험을 통해 마찰계수( $\mu$ )가 0.09인 경우  $C_B$ 가 2.67라는 값을 얻었다.

$$R_B = R_{PS(V \rightarrow 0)} = C_B \Delta \rho g h_i B T \quad (4)$$

여기서  $C_B$  = nondimensional coefficient of ice buoyancy resistance

$$\Delta \rho = \rho_w - \rho_i$$

$h_i$  = ice thickness

$B$  = max. beam of the ship

$T$  = max. draft of the ship

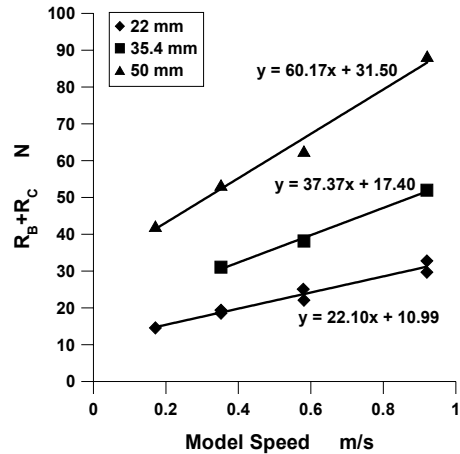


Fig. 1 Plot of pre-sawn resistance minus open water resistance ( $R_B + R_C$ ) for Canadian R-class icebreaker model (ice density  $940kg/m^3$  and friction coefficient 0.09). Redrawn from Spencer and Jones(2001)

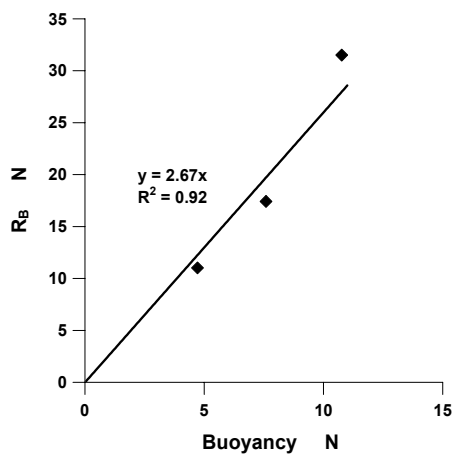


Fig. 2 Ice buoyancy resistance( $R_B$ ) of slow speed plotted against calculated ice buoyancy ( $\Delta \rho g h_i B T$ ) for three ice thicknesses. Redrawn from Spencer and Jones(2001)

### 2.3 빙제거 저항 (Ice Clearing Resistance)

빙제거 저항( $R_C$ )은 깨진 빙편을 선측으로 배제 시키는 데 소요되는 저항이다. 빙제거 저항( $R_C$ )은 pre-sawn 상태에서의 저항( $R_{PS}$ )에서 개수로의 저항( $R_{OW}$ )과 빙부력 저항( $R_B$ )을 빼면 구할 수 있는데, 빙부력 저항( $R_B$ )처럼 전체 빙저항( $R_T$ ) 중 10~15% 정도를 차지한다.

빙제거 저항은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_C = R_{PS} - R_{OW} - R_B \quad (5)$$

여기서 빙제거 저항( $R_C$ )을 무차원화 시키기 위해  $\rho_i B h_i V^2$  으로 나누면 다음과 같다.

$$C_C = \frac{R_C}{\rho_i B h_i V^2} \quad (6)$$

여기서  $C_C$  = nondimensional coefficient of ice clearing resistance  
 $\rho_i$  = density of ice  
 $V$  = model ship speed

모형선의 속도는 빙두께에 관한 Froude 수,  $F_h$  를 이용해서 무차원화 시킨다.

$$F_h = \frac{V}{\sqrt{g h_i}} \quad (7)$$

여기서  $h_i$ 는 빙판의 두께를 나타낸다. 무차원 빙제거 저항계수를  $C_C = e^A \cdot F_h^B$  로 가정하고 로그-로그(ln-ln) 그래프에서  $C_C$  와  $F_h$  를 나타내면 Fig. 3과 같은데 이로부터 A와 B를 결정할 수 있다. R-Class 모형시험에서 마찰계수가 0.09 인 경우 다음 결과를 얻었다.

$$C_C = 2.03 F_h^{-0.971} \quad (8)$$

### 2.4 쇄빙저항 (Ice Breaking Resistance)

쇄빙저항( $R_{BR}$ ) 성분은 선박이 빙판을 파괴하는 데 소요되는 저항을 말하는데, 전체 빙저항( $R_T$ )

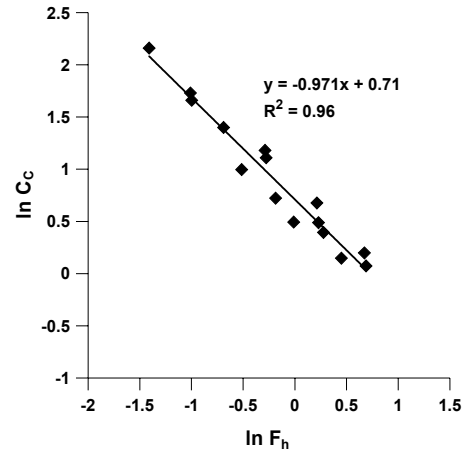


Fig. 3 Plot of ice clearing resistance coefficient against Froude number for R-class icebreaker models. Redrawn from Spencer and Jones(2001)

중에서 67~80% 정도를 차지하므로 가장 큰 영향을 미치는 성분이다. 특히 쇄빙저항( $R_{BR}$ ) 성분은 다른 성분들과는 달리 모형실험을 통해서 직접적으로 얻을 수 없다. 하지만 전체 빙저항( $R_T$ )에서 pre-sawn 상태의 저항( $R_{PS}$ )을 빼주면 계산이 가능하다.

$$R_{BR} = R_T - R_{PS} \quad (9)$$

빙제거 저항( $R_C$ )과 같은 방법으로 쇄빙저항( $R_{BR}$ )을 무차원화 시키기 위해  $\rho_i B h_i V^2$  으로 나누면 다음과 같다.

$$C_{BR} = \frac{R_{BR}}{\rho_i B h_i V^2} \quad (10)$$

여기서 무차원 쇄빙저항 계수  $C_{BR}$ 을 구하기 위해 다음과 같은 무차원화된 Strength number,  $S_N$  을 도입한다.

$$S_N = \frac{V}{\sqrt{\frac{\sigma_f h_i}{\rho_i B}}} \quad (11)$$

여기서  $\sigma_f$ 는 빙판의 굽힘강도이다.

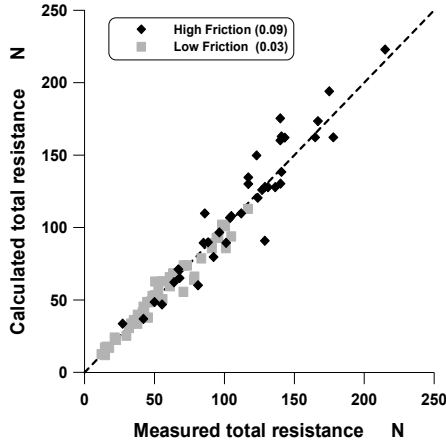


Fig. 4 Comparison of calculated total resistance and measured values. Dotted line is a 1:1 fit. Redrawn from Spencer and Jones(2001)

마찬가지로  $C_{BR} = e^A \cdot S_N^B$  로 가정하고 ln-ln 그래프를 통해 계수 A, B를 각각 구하면  $C_{BR}$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$C_{BR} = 2.19 S_N^{-1.579} \quad (12)$$

위의 과정을 통해 Spencer and Jones(2001)는 마찰계수가 0.03, 0.09인 경우에 대해 빙수조에서의 모형시험 계측값과 전체 빙저항 추정식의 결과를 비교하여 서로 일치함을 보였다(Fig. 4).

### 3. 빙저항 추정식 고찰

본 연구에서는 여러 척의 쇄빙선박에 대한 평탄빙에서의 모형시험을 통해 얻어진 빙저항(level ice resistance) 실측자료를 바탕으로 Spencer가 제안한 각 성분별 구분법을 이용하여 각 선박에 적용되는 빙저항 추정식을 결정하였다.

쇄빙선박에 작용하는 전체 빙저항( $R_I$ ) 추정식의 일반적인 형태는 다음과 같다.

$$R_I = C_B \Delta \rho g h_i B T + C_C F_h^{-\alpha} \rho_i B h_i V^2 \quad (13)$$

$$+ C_{BR} S_N^{-\beta} \rho_i B h_i V^2$$

- 여기서  $R_I$  = total ice resistance  
 $C_B$  = coeff. of ice buoyancy resistance  
 $C_C$  = coeff. of ice clearing resistance  
 $C_{BR}$  = coeff. of ice breaking resistance  
 $F_h$  = Froude number  
 $S_N$  = Strength number  
 $\alpha$  = index of Froude number  
 $\beta$  = index of Strength number  
 $\rho_i$  = ice density  
 $\rho_w$  = water density  
 $\Delta \rho = \rho_w - \rho_i$   
 $g$  = gravitational constant  
 $h_i$  = ice thickness  
 $B$  = max. beam of the ship  
 $T$  = max. draft of the ship  
 $V$  = ship speed  
 $\sigma_f$  = flexural strength of ice

유체저항의 경우 쇄빙과정 시 선박의 운항속도가 저속일 경우에는 거의 영향을 미치지 않으므로 전체 빙저항( $R_I$ ) 계산과정에서 제외하였다.

모형시험 데이터를 얻을 수 있는 실제 쇄빙선박들의 제원을 Table 1에 정리하였다. 그리고 Table 2에는 모형시험 과정에서 사용된 모형선의 축적과 얼음의 재료특성치를 정리하였다.

Table 1 Dimensions of icebreaking vessels used for model tests

| Ship                | $L_{pp}$<br>(m) | $B$<br>(m) | $T$<br>(m) | $\Delta$<br>( $10^4$ ton) | $\gamma$<br>(deg) | Engine Power<br>(MW) |
|---------------------|-----------------|------------|------------|---------------------------|-------------------|----------------------|
| MV Arctic           | 206             | 22.9       | 11.1       | 38.4                      | 20                | 10.9                 |
| Polar Star          | 107.3           | 25.5       | 8.5        | 13.2                      | 21                | 44.8                 |
| Japanese Model Ship | 102.2           | 24.1       | 10.5       | -                         | -                 | -                    |
| Terry Fox           | 88.8            | 17.3       | 8.2        | 7.1                       | 23                | 17.7                 |
| PM Teshio           | 49              | 10.6       | 3.3        | -                         | 30                | 2.7                  |
| R-Class             | 98.2            | 19.5       | 7.2        | -                         | -                 | 10.1                 |
| Healy               | 128             | 25         | 8.9        | 16.3                      | 19                | 22.4                 |
| SA-15               | 164             | 24         | 8          | 25.9                      | -                 | 15.4                 |

**Table 2** Model ship's scale and ice parameters of test in the ice model tanks

| Data Source  | $h_i$ (m) | $\sigma_f$ (kPa) | Scale  | $\rho_i$ ( $kg/m^3$ ) | $\rho_w$ ( $kg/m^3$ ) |
|--|-----------|------------------|--------|-----------------------|-----------------------|
| MV Arctic<br>(Baker and Nishizaki 1986)                  | 0.02      | 25               | 1:30   | 940                   | 1024                  |
|  | 0.03      |                  |        |                       |                       |
|  | 0.04      |                  |        |                       |                       |
| Polar Star<br>(Abdelnour et al. 1991)                    | 0.026     | 25               | 1:19   | 940                   | 1024                  |
|  | 0.063     |                  |        |                       |                       |
|  | 0.094     |                  |        |                       |                       |
| Japanese Model Ship<br>(Kayo 1993)                       | 0.036     | 25               | 1:25   | 940                   | 1024                  |
|  | 0.048     |                  |        |                       |                       |
| Terry Fox<br>(Derradji-Aouat et al. 2004)                | 0.04      | 30               | 1:21.8 | 940                   | 1024                  |
| PM Teshio<br>Kishi and Kawashima(1997), Uto et al.(1997) | 0.03      | 36               | 1:10.9 | 940                   | 1024                  |
|  | 0.051     |                  |        |                       |                       |
|  | 0.06      |                  |        |                       |                       |
| R-Class<br>(Spencer and Jones 2001)                      | 0.033     | 43               | 1:20   | 940                   | 1024                  |
|  | 0.038     | 63               |        |                       |                       |
| Healy<br>(Jones and Lau 2006)                            | 0.058     | 29.1             | 1:23.7 | 940                   | 1024                  |
| SA-15<br>(Yamaguchi et al. 1997)                         | 0.033     | 22               | 1:36   | 940                   | 1024                  |

본 연구에서는 식(2)~식(13)의 과정을 통해 본 연구에서 선정한 쇄빙선박 8척에 대한 빙저항 추정식을 도출하였고, 그 결과를 Table 3에 정리하였다.

#### 4. 빙저항 추정식의 실선 확장

Spencer의 방법에 따른 모형시험에 대한 빙저항 추정식은 실선에 대한 빙저항 계산으로 확장할 수 있다.

본 연구에서는 Spencer의 빙저항 추정방법의 타당성을 검증하기 위하여 실제 건조된 혹은 건조(계획) 중인 쇄빙선박 8척에 대하여 빙저항을 계산해 보았다. 이중 몇 척은 실선시험에서 측정된 데

**Table 3** Ice resistance prediction formulas for selected icebreaking vessels

| Ship                | $C_B$   | $C_C$ | $C_{BR}$ | $\alpha$ | $\beta$ | Type |
|---------------------|---|-------|----------|----------|---------|------|
| MV Arctic           | 0.93  | 1.57  | 2.26     | 0.839    | 1.426   | IBC  |
| Polar Star          | 1.43  | 0.94  | 2.33     | 0.788    | 1.553   | IB   |
| Japanese Model Ship | 0.27  | 1.59  | 2.61     | 1.157    | 1.540   | IB   |
| Terry Fox           | 0.47  | 1.01  | 1.22     | 1.505    | 1.650   | IB   |
| PM Teshio           | 2.35  | 0.98  | 1.41     | 1.058    | 1.717   | IB   |
| R-Class             | 1.31  | 0.90  | 1.08     | 0.739    | 1.672   | IB   |
| Healy               | 1.14  | 1.04  | 1.17     | 0.642    | 1.771   | IB   |
| SA-15               | 0.83  | 1.30  | 1.22     | 1.439    | 1.722   | IBC  |
| Remarks             | IBC: Icebreaking Cargo Vessel<br>IB: Icebreaker |       |          |          |         |      |

이터를 확보할 수 있기 때문에 빙저항 추정식과 직접 비교하였다.

Fig. 5 ~ Fig. 10을 보면 모형시험에서 얻어진 빙저항 예측값과 빙저항 추정식에 의한 계산결과가 상당히 일치함을 알 수 있다. 모형시험에서 얼음의 두께와 함께 굽힘강도가 전체 빙저항을 추정함에 있어서 가장 중요한 변수임을 알 수 있다.

Fig. 11~Fig. 12는 캐나다 IOT에서 직접 모형시험을 통해 얻어진 R-Class 및 Healy 에 대한 빙저항 추정식을 이용한 빙저항 추정값이다.

한편 Fig. 13 ~ Fig. 15는 모형시험을 통해 얻어진 빙저항 추정식을 실선으로 확장한 경우로서 실선시험을 통해 얻어진 빙저항 예측값과 빙저항 추정식에 의한 계산결과를 비교한 것이다.

이 경우 역시 빙저항 추정식이 실선 예측값을 비교적 잘 반영하고 있음을 알 수 있다. 하지만 대부분의 데이터가 저속구간에 대한 자료이기 때문에 속도가 빠른 구간에 대해서는 비교가 불가능하다.

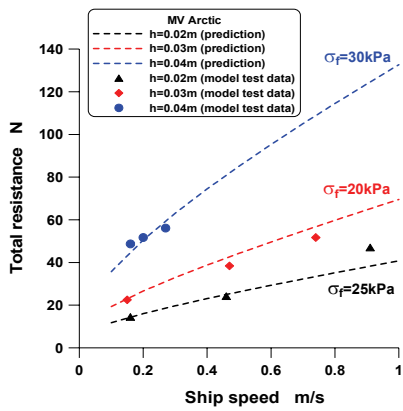


Fig. 5 Comparison of model test data and computed total ice resistance for MV Arctic

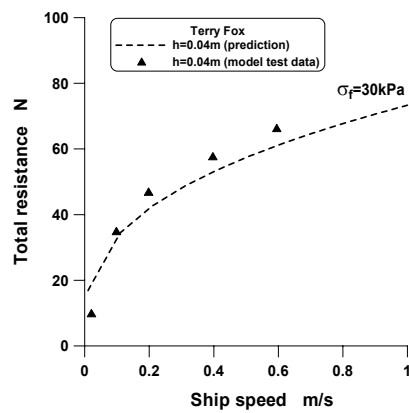


Fig. 8 Comparison of model test data and computed total ice resistance for Terry Fox

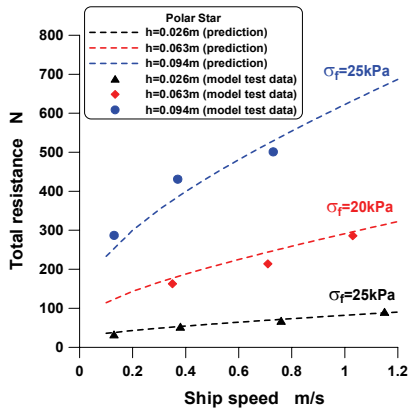


Fig. 6 Comparison of model test data and computed total ice resistance for Polar Star

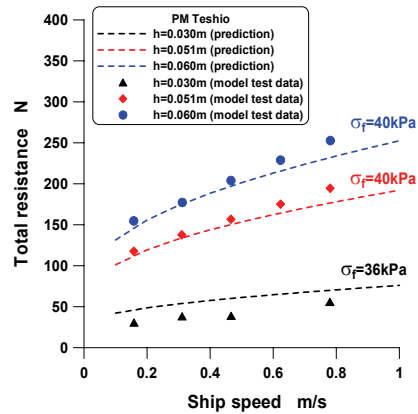


Fig. 9 Comparison of model test data and computed total ice resistance for PM Teshio

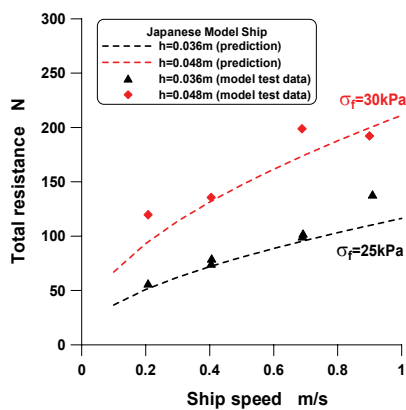


Fig. 7 Comparison of model test data and computed total ice resistance for Japanese Model Ship

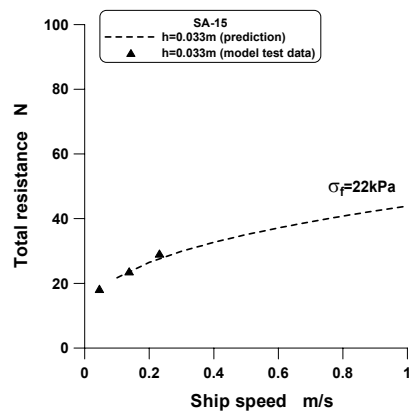


Fig. 10 Comparison of model test data and computed total ice resistance for SA-15

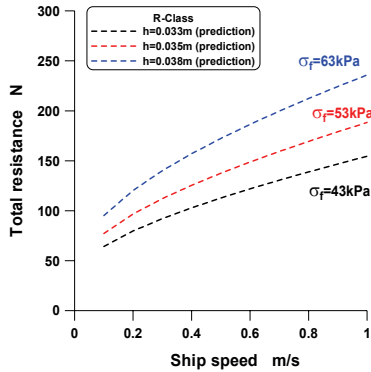


Fig. 11 Computed total ice resistance using Spencer's ice resistance prediction formula for R-Class (friction coefficient 0.03).

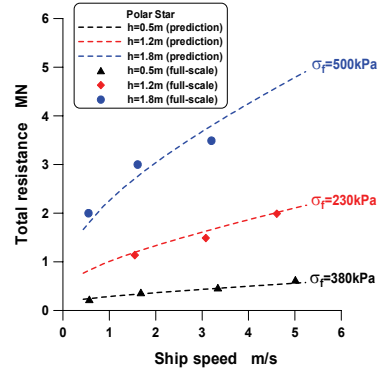


Fig. 14 Comparison of full-scale test data and computed total ice resistance for Polar Star

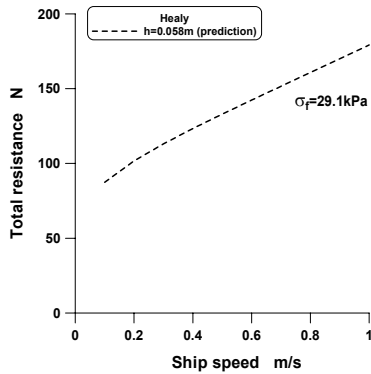


Fig. 12 Computed total ice resistance using Spencer's ice resistance prediction formula for Healy

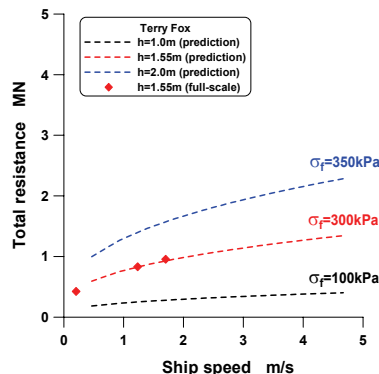


Fig. 15 Comparison of full-scale test data and computed total ice resistance for Terry Fox

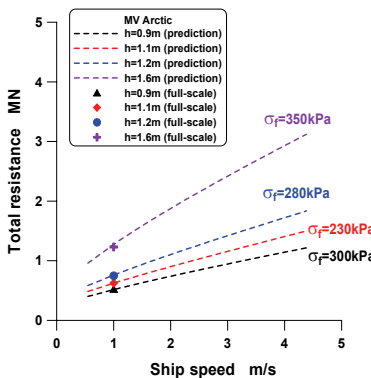


Fig. 13 Comparison of full-scale test data and computed total ice resistance for MV Arctic

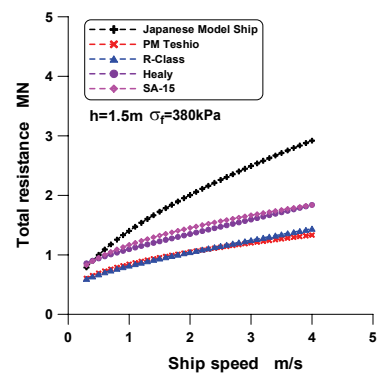


Fig. 16 Full-scale prediction of total ice resistance using Spencer's formula for Japanese Model Ship, PM Teshio, R-Class, Healy and SA-15



Fig. 16은 PM Teshio, R-Class, Healy 및 Japanese Model Ship, SA-15에 대한 실선 빙저항 계산으로서 실선계측 데이터가 없어 임의로 해빙의 굽힘강도를 380kPa, 빙두께를 1.5m로 가정하여 빙저항을 추정한 것이다.

Fig. 16에서 쇄빙상선과 쇄빙선으로 구분하는 경우 선박의 선폭과 흘수가 유사한 경우 선박에 작용하는 빙저항이 거의 비슷함을 알 수 있는데 쇄빙상선과 쇄빙선은 선수부 선형에 많은 차이가 있기 때문에 Spencer 방법으로는 이러한 구별이 드러나지 않는다. 따라서 선형의 차이를 나타낼 수 있는 보완이 필요함을 알 수 있는데, 특히 선박의 선수각( $\gamma$ ), 플레어각( $\phi$ ), 선체길이( $L$ )가 빙저항 추정식에 포함되어야 할 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 빙해역 운항 시 선박에 작용하는 빙저항을 산정하는 여러 방법 중 현재 캐나다에서 이용되고 있는 Spencer 방법에 대해 고찰해보았다. Spencer 방법은 빙저항을 크게 유체저항( $R_{OW}$ ), 빙부력 저항( $R_B$ ), 빙저거 저항( $R_C$ ), 쇄빙 저항( $R_{BR}$ ) 4가지로 구분하고 이들 각 성분별 합으로 구한다. 그리고 각 성분들의 계수는 빙수조에서 모형시험을 통해 얻어진 계측값을 바탕으로 결정한다. 이러한 과정을 통해 도출된 빙저항 추정식의 경우 모형시험의 결과를 잘 반영하고 있으며, 또한 실선으로 확장된 빙저항 추정도 가능함을 보여주고 있다. 빙해역의 빙두께( $h$ ) 및 굽힘강도( $\sigma_f$ )와 같은 빙상조건에 따라 빙저항 추정에 차이가 있기 때문에 빙수조 모형시험에서 정확한 얼음의 재료 특성치 확보가 중요한 과제이다.

또한 Spencer 방법은 선박의 형상과 관련하여 선박의 폭 및 흘수만 다루고 있으므로 다양한 형태의 선형을 가진 선박에 적용하기 위해 선수각( $\gamma$ ), 플레어각( $\phi$ ), 선체길이( $L$ ) 등이 포함된 빙저항 추정식이 필요할 것으로 판단된다.

실제 현장에서는 어느 선박에나 적용 가능한 빙

저항 추정식이 요구되고 있는 실정이지만 아직까지 이를 해결하기 위한 정량화된 방법은 제시되지 못하고 있다. 특히 향후 쇄빙선박이 대형화하고 특이한 선형의 쇄빙상선이 개발된다고 볼 때 더 많은 쇄빙선박의 실선 계측치를 이용한 검증과정이 필요할 것으로 사료된다.

## 후 기

본 논문은 한국과학재단 지정 첨단조선공학 연구센터(ASERC R11-2002-008-01002-0)의 연구비 지원으로 수행된 연구결과임.

## 참 고 문 헌

- Abdelnour, R., Comfort, G., Peirce, T., 1991, "Single Pass Ridge Penetration Model," Proc. of POAC Conference, Vol. 2, pp. 600-614.
- Baker, D. and Nishizaki, R., 1986, "The MV Arctic-New Bow Form and Model Testing," SNAME Transactions, Vol. 94, pp. 57-74.
- Choi, K., Lee, W.R. and Lee, J.K., 2006, "A Comparative Study of Ice Resistance Estimation Equations with Measured Data for Icebreakers and Ice-Strengthened Cargo Vessels," SNAK Transactions, Vol. 43, No. 2, pp. 147-155.
- Derradji-Aouat, A., Izumiyama, K., Yamaguchi, H. and Wilkman, G., 2004, "Experimental Uncertainty Analysis for Ice Tank Ship Resistance Experiments using a Model for a Canadian Icebreaker Terry Fox," Oceanic Engineering International, Vol. 8, No. 2, pp. 49-68.
- Enkvist, E., 1983, "A Survey of Experimental Indications of the Relation between the Submersion and Breaking Components of Level Ice Resistance to Ships," Proc. of the 7th POAC Conference, Vol. 1, pp. 484-493.
- Jones, S.J. and Lau, M., 2006, "Propulsion and Maneuvering Model Tests of the USCGC Healy in Ice and Correlation with Full-Scale," Proc. of

- IceTech 2006, Paper No. 104-RF, pp.1-7.
- Kayo, Y., 1993, "Measurement of Ice Load Distribution on an Icebreaker Bow Model Composed by Load Panels," Proc. of the 12th POAC Conference, Vol. 1, pp. 328-337.
  - Kim, H.S., Ha, M.K., Ahn, D. and Chun, H.H., 2006, "Study on the Comparison of Arctic Tanker and Normal Tanker," SNAK Transactions, Vol. 43, No.1, pp. 43-49.
  - Kishi, S. and Kawashima, Y., 1997, "Ramming Performance of the Patrol Icebreaker PM Teshio in Full Scale and Model Scale," Proc. of OMAE/POAC Joint Conf., Vol. 4, pp. 233-238.
  - Lee, J.Y., Park, Y.I. and Han, S.K., 2007, "Safety Estimation for the Cargo Compartment of Membrane Type LNG Carrier with Consideration of Ice Hazard," Proc. of SNAK Annual Autumn Symposium, pp. 1330-1335.
  - Spencer, D., 1992, "A Standard Method for the Conduct and Analysis of Ice Resistance Model Tests," Proc. of the 23rd ATTC Symposium, pp. 301-307.
  - 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.
  - Uto, S., Shimoda, H. and Izumiyama, K., 1997, "Model-Ship Comparison of Propulsive Performance of Icebreaker "PM Teshio" in Continuous Icebreaking Mode," Proc. of the 16th OMAE Symposium, Vol. IV, pp. 225-232.
  - Yamaguchi, H., Suzuki, Y., Uemura, O., Kato, H. and Izumiyama, K., 1997, "Influence of Bow Shape on Icebreaking Resistance in Low Speed Range," Proc. of the 16th OMAE Symposium, Vol. IV, pp. 51-61.



< 정 성 업 > < 최 경 식 >