빙두께 및 강도 보정기법을 이용한 모형시험결과의 실선시운전 적용연구

이승기¹·김문찬^{1,†}·이원준¹·김현수²·이춘주³
부산대학교 조선해양공학과¹
인하공업전문대학 선박해양시스템공학과²
한국해양연구원 해양시스템안전 연구소³

Study on the Correction Method of Ice Strength and Thickness Applied to the Sea Trial Condition Based on the Ice Model Test Results

Seung-Ki Lee¹·Moon-Chan Kim^{1,†}·Won-Jun Lee¹·Hyun-Soo Kim²·Chun-Ju Lee³
Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Pusan National University¹
Department of Ship and Ocean System, Inha Technical College²
Maritime & Ocean Engineering Research Institute, KORDI³

Abstract

This paper deal with the validation of correction method of ice strength and thickness to the sea trial condition based on the ice model test results. It is very difficult to conduct the model test corresponding to the sea trial condition exactly. In addition, the available sea trial data is not sufficient for the validation of correction method. In the present study, the model test results of Terry-Fox ice breker have been used to compare the corrected results of sea trial test by varying its thickness and strength of model ice. The HSVA and ITTC methods have been applied to the present comparisons and the required power has been also validated by using the HSVA method. There are rather good agreement between the sea trial result and model test corrected by the HSVA and ITTC method. The more comparisons are expected to be carried out in near future.

Keywords : Ice thickness(얼음 두께), Flexural strength(굽힘 강도), Sea trial test(실해역 계측 실험), Ice model test(빙 모형시험), Correction method(보정 기법)

1. 서 론

최근 북극해 자원개발과 북극항로에 대한 관심이 높아지면서 이와 연관된 고부가가치 선박인 쇄빙, 내빙선박의 모형실험과 이에 대한 해석이 실선의 정확한 성능 예측을 위해 점점 중요해지고 있다. 특히 실선 시운전에 대한 자료가 많이 부족한 상황이기 때문에 기존의 모형시험의 실선확장에 대한 정도를 검증하지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 Terry-Fox 호의 모형시험 결과와 실선 시운전 자료를 비교함으로써 모형시험에 의한 실선 성능 예측의 정도를 확인하고자 하였다. 이 과정에서 실제 시운전 상태에서의 빙 두께 및 굽힘 강도가 모형시험 시험 시의 실선에 상응하는 값들과 다르기 때문에 보정방법들을 적용하여 비교 고찰하였다. 본 연구에서는 HSVA (Hamburgische Schiffbau - Versuchs Anstalt)와 ITTC (International Towing Tank Conference)에서 제안된 방법을 이용하여 보정하였으며 실제로 모형시험 상태와 실선 시운전

상태가 통상 다르기 때문에 이 방법들이 검증되면 더 많은 비교를 통한 상관 연구를 수행할 수 있으리라 생각된다.

앞에서 언급한 HSVA와 ITTC 방법에 의해 모형시험 결과를 실선으로 확장 후 보정하였으며 자항 성능의 경우도 HSVA 방법을 이용하여 비교하였다. 실선 결과들이 많이 공개되지 않아 이러한 보정된 결과들에 대한 비교 연구는 거의 없는 실정이다. 관련 비교 연구들의 어려운 점 중의 하나는 빙의 불균일성에 있다. 실선 시운전 시 운항 항로에서 빙의 두께 및 굽힘 강도는 많은 차이를 보일 수 있으므로 계측을 여러 번 수행하여 평균을 통하여 그 차이를 줄일 수 있으나 불확실성에 의한 오차를 피하기 어렵다. 이와 같은 현상은 모형시험의 경우도 발생하는데 캐나다 국립연구소(NRC/IOT)에서 연구된 보고서에서는 모형 시험을 위해 얼렸던 모형 빙의 두께 및 굽힘 강도의 차이를 Fig. 1과 Fig. 2에 각각 나타내고 있다. Fig. 1은 모형빙을 4번 얼렸을 때 위치에 따른 각 모형빙에서의 강도를 나타낸 그래프이다. 각 위치에 따라 최대 35%정도의 강도 차이가 나타남을 알 수 있다. Fig. 2는 모형빙의

위치 변화에 따른 두께 변화를 보여주는 그래프이다. 수조의 길이 방향에 따라 PICE-3에서는 두께가 점차적으로 감소하고 PICE-4에서는 증가됨을 알 수 있다. 이처럼 강도 및 두께의 분포가 위치에 따라 불균일하다는 것을 알 수 있다. 실 해역에서의 빙의 두께 및 강도의 변화는 더 심하리라 생각할 수 있다. 본 연구에서는 이와 같은 불확실성들이 있지만 평균 두께 및 굽힘 강도를 이용하여 결과를 비교하여 보았다.

모형시험에서 실선으로 확장하여 모형시험의 결과를 검증하기 위해서는 실 해역에서의 시운전 data를 필요로 한다. 하지만 실제로 쇄빙선의 실해역 성능 test는 많이 실행되지 않아 실선 data가 부족한 실정이다. 게다가 실제 해상에서의 빙조건이 균일하지 못하고 모형선 시험에서의 모형 빙과 역학적 상사가 일치하는 빙상조건에서의 test가 어렵기 때문에 모형시험의 결과를 검증하기가 어렵다. 특히 굽힘 강도의 경우 실선 시운전은 겨울에 수행하는 경우가 거의 없어 상당히 낮은 값이나 모형시험 시 스케일된 굽힘 강도를 낮추기 어려워 현실적으로 같은 상사에서 모형시험을 다시 수행하기 어려운 상황이다.

본 연구에서는 두 가지 모형 빙(23mm, 40mm)의 자료를 이용하여 실선 1.55m의 빙에 대한 보정된 실선 성능과 시운전 결과를 비교하였다. 제한된 자료에 의한 제한된 결론을 언급하였으나 더 많은 자료들을 이용한 비교가 수행되면 보정 방법 및 모형시험 해석 방법에 대한 정도를 보다 신뢰성 있게 평가할 수 있으리라 생각된다.

Fig. 1 Profiles for the measured flexural strength

Fig. 2 Profiles for the measured ice thickness(Ahmed & Amy, 2004)

2. 모형 시험

2.1 수조 설비

본 연구를 위한 실험은 캐나다 국립 연구소 (NRC/IOT) 빙수조에서 실시하였고 수조 길이는 91m (ice sheet 76m 준비 공간 15m) 폭 12m 깊이 3m 이다. Fig. 3 은 IOT 빙 수조를 보여주고 있다. 이 연구에서 사용된 모형선 Terry Fox 호의 제원은 길이 3.73m 폭 0.789m 침수 표면적 3.984m² 이고 축척 비는 21.8 이다. Fig. 4 는 Terry Fox호의 모형 시험 사진이다.

Fig. 3 Schematic diagram of the ice tank

Fig. 4 Model ship of Terry fox ice breaker

모형시험에 사용된 모형 얼음은 EG/AD/S (Ethylene Glycol /Aliphatic Detergent/Sugar) 혼합 얼음을 사용 하였다. EG/AD/S 얼음의 특징은 컬럼형 결정 구조를 이루고 있어서 파괴모드가 실해상의 얼음과 유사하다 (Timco, 1986). Fig. 5는 EG/AD/S 모형 얼음의 단면을 보여주고 있다. Table 1에서는 이번 연구에서 비교된 2가지 cases 대한 모형시험 시의 얼음, 실선 시운전 얼음 조건에서 기하학적 상사가 성립된 모형 얼음, 실선 시운전시의 얼음 조건을 나타내고 있다 (Lim, 2008).

Table 1 Comparison of thickness and flexural strength of model, evaluated full-scale and sea trial ice (Scale ratio: 21.8)

Case		Model test ice	Full-scale ice	Sea trial ice (actual)
Case1	Thickness	23mm	0.50m	1.55m
	Strength	30kPa	654kPa	150kPa
Case2	Thickness	40mm	0.87m	1.55m
	Strength	35kPa	763kPa	150kPa

Fig. 5 EG/AD/S refrigerated model ice

2.2 모형 시험 방법

빙 수조 저항 시험 방법은 먼저 평탄 빙(Level ice) 을 만든 후 실험을 수행한다. 보통 빙 수조 실험을 할 때에는 수조의 물을 한번 얼려 여러 가지 실험을 모두 할 수 있도록 수조를 중앙부분과 좌우측 부분으로 3등분 또는 그 이상으로 등분하여 실험을 실시한다. 평탄빙 실험을 할 때에는 보통 수조의 중앙에서 실시한다.

Fig. 6 Level ice test in ice tank

Fig. 6은 평탄빙(Level ice) 실험 모습을 보여주고 있다. Fig. 7은 Pre-sawn test 사진이며 이 시험은 미리 톱으로 얼음을 잘라놓고 모형선의 저항성분 중 쇄빙저항 성분을 알기 위해 하는 실험이다. 미리 톱으로 얼음을 잘라 얼음을 깨는 힘 즉, 쇄빙 저항이 없다고 가정하여 평탄빙(Level ice)에서 구한 총 저항에서 Pre-sawn test실험값을 빼므로 인해 간접적으로 쇄빙 저항을 얻을 수 있다. Pre-sawn test 후에는 얼음을 깨서 팩 (Pack) 아이스 상태를 만들어 Pack ice 실험을 수행한다. Fig. 8은 팩 아이스 실험 모습을 보여주고 있다.

Fig. 7 Pre-sawn ice test in ice tank

Fig. 8 Pack ice test in ice tank

2.3 모형 시험 해석 방법

IOT(Institute for Ocean Technology, Canada)에서 사용되고 있는 Spencer의 방법(Spencer 1992, Spencer and Jones 2001)을 사용하여 쇄빙선박에 작용하는 빙 저항 성분은 다음 수식 (1) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 R_T &= R_{OW} + R_B + R_C + R_{BR} \\
 R_T &= \text{total ice resistance} \\
 R_{OW} &= \text{open water resistance} \\
 R_B &= \text{ice buoyancy resistance} \\
 R_C &= \text{ice clearing resistance} \\
 R_{BR} &= \text{ice breaking resistance}
 \end{aligned} \tag{1}$$

쇄빙선의 전체 저항(R_T)은 얼음을 쇄빙하며 진행 할 때 발생하는 쇄빙 저항(R_{BR}), 깨진 빙편을 선체의 좌우나 선미로 배제시키는데 발생하는 배제 저항(R_C), 선체 하부로 들어간 빙편의 부력에 의한 부력 저항(R_B), 끝으로 개수로 상태에서 운항 할 때 발생하는 유체 저항인 개수로 저항(R_{OW}) 성분으로 나눌 수 있다. 메커니즘에 따라 각 성분으로 구분하면 빙저항은 속도와 무관한 직접저항성분과 속도와 관련된 속도 저항성분으로 분리할 수 있으며 직접저항성분은 빙편을 깨뜨리는데 소요되는 저항성분(fracture portion)과, 빙편을 물속에 잠기게 하거나 빙편의 회전, 쇄빙선의 위치변화 및 마찰과 관련된 저항성분(gravity portion)으로 분리된다. 속도저항은 깨어진 빙편을 선체 주위로 배제시키는데 소요되는 저항성분(inertia portion)으로 구분 할 수 있다 (Jeong & Choi, 2008).

2.4 모형 시험 결과

본 실험에서는 모형빙 Case1(빙 두께 40mm, 굽힘강도 35kpa)의 상태에서 실험을 실시하였으며 저항시험 결과 값은 Table 2과 같다. Table 3은 다양한 빙 상태에서 보정기법을 적용 시키고자 Case2(모형빙두께 23mm, 굽힘강도 30kpa)에서의 시험값을 논문(Wang et. al, 2009)을 인용하여 실선 시운전 결과와 비교해 보았다. Table 3은 Case2에서의 저항시험결과 값이고, Table 4는 Case1에서의 저항 실험 결과이다.

Table 2 Resistance test results in 40mm ice and open water

Ice condition	Carriage velocity (m/s)	Resistance (N)
40mm Level Ice	0.1	39.6
	0.3	58.1
	0.4	62.1
	0.6	73.5
40mm Pre-sawn Ice	0.1	16.6
	0.3	25.0
	0.4	28.5
	0.6	38.5
	0.02	16.9
Open Water	0.1	0.5
	0.3	2.2
	0.6	8.2
	0.8	14.0

Table 2에서 모형선 속도 0.02m/s의 Pre-sawn ice test는 얼음의 부력에 의해 선체가 받는 부력저항(R_B) 성분을 구하는 방법이다. 부력저항은 모형선의 속도와 무관하지만 빙편을 밀어내는 데 소요되는 배제저항과 유체 저항인 개수로 저항(R_{OW})은 모형선 속도의 영향을 받는다. 모형선 속도 0.02m/s의 매우 저속에서는 배제저항과 개수로 저항이 거의 무시되어 부력저항만 남게 된다.

Table 2에서 모형선 속도 0.02m/s와 0.1m/s에서의 저항 저항값이 비슷하게 나온 이유는 매우 저속구간에서는 배제저항과 개수로 저항의 비중은 상대적으로 매우 작은 반면 부력저항이 대부분을 차지하고 있고 실험 당시 얼음 상태의 불확실성으로 인해 부력저항의 값이 일정하지 않았기 때문에 두 속도에서의 저항값이 비슷하게 나온 것으로 판단되어 진다.

Table 3 Resistance test results in 23mm ice and open water (Wang, et al., 2009)

Ice condition	Carriage velocity (m/s)	Resistance (N)
23mm Level Ice	0.1	21.4
	0.3	28.2
	0.56	39.1
	0.71	44.9
23mm Pre-sawn Ice	0.1	9.7
	0.3	15.8
	0.55	24.7
	0.71	31.9
Open Water	0.1	0.9
	0.3	3.0
	0.56	8.7
	0.71	13.7
	0.91	22.7

Table 4 Propulsion tests results in 40mm Level ice

Carriage Velocity (m/s)	RPS	J	KT	10KQ	KFD
0.10	1.00	0.46	0.21	-0.02	-19.81
	3.00	0.15	0.38	0.60	-1.60
	5.00	0.09	0.43	0.65	-0.08
0.30	3.00	0.46	0.27	0.41	-2.38
	5.00	0.28	0.32	0.59	-0.41
	7.00	0.20	0.36	0.64	0.16
0.61	5.00	0.55	0.25	0.41	-0.82
	7.00	0.39	0.29	0.48	-0.15
	9.00	0.31	0.34	0.57	0.22
	10.00	0.28	0.36	0.58	0.30

3. 실선 시운전 결과

Terry Fox 호는 몇 차례 실선 시운전을 수행 하였으며 그 중에 실패역의 두께 및 강도가 비교적 일정한 1991년 실시한 값을 사용하여 모형선 실험 결과 값과 비교하였다. 저항 시험에서

프로펠러의 저항 성분은 제외하였고 Rudder 부분은 저항 성분에 포함시켜 수행 되었다 (Wang, et al., 2008). Table 5는 실선 시운전 시 빙특성치의 평균값들을 나타낸 값 이고, Table 6, 7은 실험역 상태에서 실선의 각 속도에 따른 저항 값 및 자항 시험 결과 값을 나타낸 표이다. Fig. 9는 Terry Fox호의 실선 사진이다.

Table 5 Ice properties in the sea trial condition

Ice Thickness	Flexural Strength	Friction coefficient
1.55m±0.11	150kPa	0.18

Table 6 Resistance test results at the sea trial condition in level ice in level ice (Cower,1991)

Velocity (Knots)	Resistance (MN)
0.4	0.42
2.4	0.83
3.3	0.95

Table 7 Self propulsion test results at the sea trial condition in level ice (Cower,1991)

Velocity (Knots)	Power (MM)	Thrust (MN)
1.5	5.5	0.75
2.3	8.5	0.97
2.9	10.6	1.16
3.6	14.0	1.34

Fig. 9 Terry fox ice breaker in service condition

4. 모형 시험 보정 기법 고찰

4.1 저항 값 보정 기법

실선의 빙 상태와 모형빙의 역학적 상사를 맞추기 위해 모형시험 결과 값을 독일의 HSVA에서 경험식으로 제시한 방법과 ITTC에서 제안한 방법을 이용하여 빙 조건을 보정한 후 실선으로

확장하여 실선의 계측 값과 비교하여 보았다. 다음 식은 모형시험에서의 저항 값에 대한 보정 방법을 HSVA의 경험식과 ITTC의 제안한 방법을 나타낸다 (HSVA, 2007).

4.1.1 HSVA의 경험식

A. Ice thickness correction factor (F1)

$$F1_{(HI)} = (HI_{target}/HI_{actual})^A \quad (1)$$

여기서, $A = 1.5 - 0.40 \times |Fn_{HI}|$ for level ice

$A = 1.2 - 0.32 \times |Fn_{HI}|$ for large ice floes

$A = 1.0 - 0.23 \times |Fn_{HI}|$ for broken channel

$Fn_{HI} = V/(g \times HI_{target})^{0.5}$ = Froude number
bases on ice thickness

B. Flexural strength correction factor (F2)

$$F2_{(SIGF)} = \frac{1 + (SIGF_{target}/SIGF_0 - 1)/B}{1 + (SIGF_{actual}/SIGF_0 - 1)/B} \quad (2)$$

여기서, $B = 2.3 + 2 \times |Fn_{HI}|$

$\lambda \times SIGF_0 = 500kPa$: basic strength

λ : scaling factor

$F2_{(SIGF)} = 1$ for large ice floes and broken channel

C. Friction factor (F3) for hull-ice friction

$$\begin{aligned} F3_{(FID)} &= (0.6 + 4 \times FID)^{-1} \text{ for level ice} \\ &= (0.8 + 4 \times FID)^{-1} \text{ for large ice floes} \\ &= (0.9 + 4 \times FID)^{-1} \text{ for broken channel} \end{aligned} \quad (3)$$

FID = Dynamic friction coefficient between ice and hull

위의 F1, F2, F3는 각 성분을 보정하는 보정계수이다. F1은 실험역의 빙두께와 모형시험의 빙두께의 비에 따른 보정 계수이고, F2는 실험역의 굽힘 강도와 모형시험의 굽힘 강도에 따른 보정 계수를 나타낸다. F3는 선체와 빙과의 마찰 계수에 따른 보정 Factor를 나타낸다. 각 계수들을 고려하여 모형시험에서 목표하는 빙상태에서의 보정된 저항은 다음과 같다.

$$RIT'' = RIT \times F1_{(HI)} \times F2_{(SIGF)} \times F3_{(FID)} \quad (4)$$

여기서 RIT 값은 측정된 모형선의 저항이고 RIT''값은 목표하는 빙상태의 저항 값이다. 보정된 모형선의 저항값을 실선의 저항 값으로 확장하기 위해 축척 효과(Scale effects)를 고려하여 다음과 같은 식을 이용하여 실선의 저항 값을 계산할 수 있다.

Full scale resistance (RIT")

$$RIT''_{(V)Ship} = \lambda^3 \times (RIT'_{(V)Model} + i \times RIT'_{(Fn=0.05)Model}) \quad (5)$$

여기서, $i = 0.35 \times (1 - HI/HI_0)$

HI = Model ice thickness(target value)

$HI_0 = 45\text{mm}$

λ = Scale factor

$RIT'_{(Fn=0.05)}$ = Total resistance at Froude No. $Fn=0.05$

위의 실선으로의 확장하는 식 (5)를 살펴보면 45mm의 모형 빙을 기준으로 이루어져 있음을 알 수 있으며 45mm 보다 얇은 모형 빙두께에서는 계수 i 값이 양이 되고, 45mm 보다 두꺼운 모형빙에서는 i 값이 음이 되어 보정하게 된다. 이는 모형빙의 두께에 따라 실선으로 확장하는 경우 실제로 얇은 모형빙에서는 실선 확장 저항 값이 작게 나오는 반면 두꺼운 모형빙에서는 실선 확장 저항 값이 크게나오므로 인해 i 값을 조절하여 실선 확장시킴을 알 수 있다.

다음 식 (6)은 ITTC에서 제안한 방법으로 모형 빙 두께 및 강도에 대한 제안식을 사용하였다 (ITTC, 2002).

4.1.2 ITTC의 제안식

식 (6)에서는 HSVA의 방법에 비하면 다소 간단하게 모형빙 두께, 굽힘 강도를 이용하여 보정 방법을 제안하였다. 여기서 R_B 는 쇠빙 성분(Breaking component)이고, R_V 는 속도 성분(Speed dependent part)을 나타낸 것이다. R_B 는 평탄빙 실험에서 pre-sawn test 값을 빼므로 인해 쇠빙 성분(Breaking component)을 구할 수 있다. 의 값은 선형에 따른 계수 값으로써 위에서 제시한 방법으로 구할 수 없을 때는 1.5~2.0의 값을 사용한다.

$$R_I = \left(R_{V, meas} + R_B \frac{\sigma_{f, target}}{\sigma_{f, meas}} \right) \left(\frac{H_{I, target}}{H_{I, meas}} \right)^x \quad (6)$$

$$(x = \frac{\ln(R_{I2}/R_{I1})}{\ln(H_{I2}/H_{I1})})$$

4.2 저항 값 보정기법

저항시험 보정법과 마찬가지로 저항시험에서도 모형시험결과를 실선으로 확장하여 실선 성능 값과 비교하기 위해서는 모형빙과 실험의 빙조건을 맞추어 주어야 한다. 독일의 HSVA에서는 다음과 같은 방법으로 Thrust 및 PD 값을 보정하는 방법을 제안하였다 (HSVA, 2007).

Derived propulsion thrust (T')

$$T' = T \times F1_{(HI)} \times F2_{(SIGF)} \times F3_{(FID)} \quad (7)$$

Derived power (Target condition)

$$P_D' = P_D \times (F1_{(HI)} \times F2_{(SIGF)} \times F3_{(FID)})^{1.5} \quad (8)$$

이렇게 구하여진 Thrust를 실선의 값으로 확장하는 방법은 아래와 같이 저항의 실선 확장 방법과 같은 방법을 사용하였다.

$$T''_{(V)Ship} = \lambda^3 \times (T'_{(V)Model} + i \times RIT'_{(Fn=0.05)Model}) \quad (9)$$

여기서, $i = 0.35 \times (1 - HI/HI_0)$

HI = Model ice thickness(target value)

$HI_0 = 45\text{mm}$

λ = Scale factor

모형시험에서 구한 전달마력(PD)을 실선 확장방법은 아래 식 (10)과 같다. 모형선의 Reynold's Number가 실선의 Reynold's Number보다 작기 때문에 4%정도를 고려하여 실선의 전달마력을 구할 수 있다.

$$P_D''_{(V)Ship} = 0.96 \times \lambda^{3.5} \times P_{D Model} \quad (10)$$

위에서 언급한 HSVA 방법과 ITTC 방법을 사용하여 모형선의 저항, 저항시험 Data를 실선 시운전의 저항 및 저항의 성능과 비교하여 보았다.

5. 실선 시운전 적용

본 연구에서는 Terry fox호를 Case1,2의 모형시험 결과 값을 실험 저항 및 저항 data와의 비교 검증을 하였다. Fig. 10은 독일의 HSVA의 보정 방법을 적용한 결과이며, 그림 Fig. 11은 ITTC의 보정 방법을 적용하여 실선과 비교해 본 결과이다.

전체적으로 두 방법에 대한 신뢰성을 두 그래프 통하여 비교해보면 ITTC의 보정 방법이 HSVA의 보정 방법보다 정성적, 정량적으로 좀 더 일치하다는 것을 알 수 있다. ITTC의 방법에서는 비교하는 속도 구간이 좁지만 속도가 증가함에 따라 실선 시운전 결과와 같이 비슷한 기울기를 가지며 증가됨을 보여 준다. 반면에 HSVA 방법에서는 속도가 증가함에 따라 실선 시운전 값과 보정된 값들의 차이가 더 커지게 됨을 알 수 있다.

Figs. 12, 13 그림은 HSVA 과 ITTC의 방법으로 각각의 Cases의 모형선 실험값으로부터 보정 추정된 값과 실선의 값을 비교한 그래프이다. Case1에서는 낮은 속도 영역에서부터 실선 시운전과의 차이를 보이고 있으며 속도가 증가하여도 격차가 유지되고 있다. Case2에서는 낮은 속도에서는 실선 시운전 값과 거의 일치하고 있으며 속도가 증가함에 따라 HSVA 방법에서 조금씩 차이가나는 반면 ITTC 방법에서는 비슷한 경향으로 증가하였다.

모형빙 조건 Case2에서의 저항 모형시험 결과 값을 HSVA에서 제시한 저항 보정 방법으로 나타내어 보았다. 모형시험의 Thrust 및 PD 값을 목표로 하는 빙상태로 보정하여 실선 확장시켜 실선 시운전 성능 data와 비교해보면 Figs. 14, 15와 같다.

Fig. 10 Comparison of resistance between the sea trial full-scale evaluated data by using HSVA method

Fig. 13 Comparison of resistance evaluated from model ice thickness of 40mm and flexural strength of 35kPa

Fig. 11 Comparison of resistance between the sea trial full-scale evaluated data by using ITTC method

Fig. 14 Comparison of thrust evaluated by HSVA method (model ice: thickness 40mm, flexural strength 35kPa)

Fig. 12 Comparison of resistance evaluated from model ice thickness of 23mm and flexural strength of 30kPa

Fig. 15 Comparison of delivered power evaluated by HSVA method (model ice: thickness:40mm, flexural strength 35kPa)

Figs. 14, 15의 저항요소와 Figs. 12, 13의 저항요소를 비교하여 보면 보정된 모형선의 결과 값과 실선 시운전 결과 값이 저항 요소 보다 저항 요소가 비교적 일치 하는 것을 알 수 있다. Fig. 16은 HSVA의 방법을 이용하여 실선으로 확장한 모형시험 저항 값과 PD 값의 실선 시운전 결과를 함께 비교한 그래프이다.

Fig. 16 Comparison of resistance and delivered power evaluated by HSVA method
(model ice: thickness 40mm, flexural strength 35kPa)

6. 결 론

모형시험 수행 시 빙 상태는 실제 시운전 상태에서의 빙 조건과 기하학적, 역학적 상사를 이루지 못할 경우가 많아서 본 연구에서는 이러한 차이를 보정하는 방법을 고찰하고 잘 알려진 Terry-Fox 호에 대하여 적용해 봄으로써 그 신뢰성을 확인해 보았으며 다음과 같은 결론을 도출 하였다.

- 두 가지 모형빙(Case1,2)에서 모형시험을 수행한 결과를 가지고 ITTC와 HSVA에서 제시한 보정 방법을 사용하여 보정하고 그 결과를 실선 시운전 상태의 빙두께 1.55m, 굽힘강도 150kPa의 시험 결과와 비교하였다.
- 비교한 결과 전체적으로 정성적, 정량적으로 유사한 경향을 보였으며 23mm의 모형빙보다 40mm의 모형빙으로 보정한 결과가 다소 더 좋은 일치를 보였다. 이는 실선으로 확장된 빙두께가 40mm의 경우가 보정 전에 더 유사하기 때문으로 생각된다.
- HSVA 방법에 의해 보정된 전달 동력의 경우 시운전 값과 상당히 잘 일치하고 있으며 이는 일반적으로 선박에서 저항보다 추진력의 변동치가 더 작기 때문으로 생각된다.
- 본 연구에서는 한 선박에 대한 두 가지 모형빙 만을 사용한 비교를 통한 신뢰성에 대한 연구였으므로 상당히 제한적인 결론일 수밖에 없으나 향후 건조된 아라온 쇄빙선 등의 여러 실선 자료들을 활용하면 더욱 신뢰성 있는 검증을 할 수 있으리라 생각한다.

후 기

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업인 “빙해선박의 극지항로 안전운항기술 및 극저온 빙성능 시험평가 기법 개발” 중 “빙성능 시험기법 및 최적화 기술(과제번호 10033523)” 과제의 연구비 지원으로 수행된 결과이다.

참 고 문 헌

- HSVA, 2007. *Model Test in Brash Ice for Class 1B and 1A for a 52000 DWT TANKER*, Hamburg: HSVA.
- Ahmed & Amy., 2004. *IOT/NRC, 2004. Terry Fox Resistance Tests - Phase III (PMM Testing) The ITTC Experimental Uncertainty Analysis Initiative. IOT/NRC.*
- ITTC, 2002. *ITTC-Recommended Procedures and Guidelines (Testing and Extrapolation Methods Ice Testing Resistance test in level ice)*, ITTC.
- Jeong, S.Y. & Choi, K.S., 2008. A Review on Ice Resistance Prediction Formulas for Icebreaking Vessels. *Journal of the Society of Naval Architectures of Korea*, 45(5), pp.513-522.
- Lim, T.W., 2008. *Comparative Study on Resistance and Self-propulsion of Icebreaker with Synthetic ice and Refrigerated ice*. Master's thesis, Pusan National University.
- Timco, G.W., 1986. EG/AD/S: a New type of Model Ice for Refrigerated Towing Tanks. *Cold Regions Science and Technology*, 12, pp.175-195.
- Wang, J.Y. Lau, M. Lee, C.J. & Cho, S.R., 2009. Modeling of Brash Ice Channel and Tests with Model CCGS Terry Fox. *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, 19(3), pp.206-213.
- Wang, J.Y. & Jones, S.J., 2008. Resistance and Propulsion of CCGS Terry Fox in Ice from Model Tests to Full Scale Correlation. *8th International Conference and Exhibition on Performance of Ships and Structures in Ice*. Paper No. ICETECH08-125-RF.

이 승 기

김 문 찬

이 원 준

김 현 수

이 춘 주