

## Baltic Ice Class IA 를 적용한 115K Ice Tanker 개발

김현수<sup>†\*</sup>, 하문근\*, 백명철\*, 김수형\*, 박종우\*, 전호환<sup>\*\*</sup>

삼성중공업 조선해양연구소\*  
부산대학교 조선해양공학과<sup>\*\*</sup>

### Development of 115K Tanker Design Adopted Ice Class 1A

Hyun Soo Kim \*, Mun Keun Ha \*, Myeong Chul Baek \*, Soo Young Kim \*,  
Jong Woo Park \* and Ho Hwan Chun \*\*

Samsung Heavy Industries Co. Ltd., Marine Research Institute\*  
Pusan National University\*\*

#### Abstract

There are very few numbers of 115K FPP (Fixed Pitch Propulsion) Tankers for the Baltic ice class IA because the minimum power requirement of FMA (Finish-Swedish Maritime Association) needs quite large engine power and the 40 m Beam is out of calculation range of FMA minimum power requirements. The shipyard has no choice except to increase the engine power to satisfy FMA minimum power requirement Rule. And the operation cost, efficiency of hullform and its building cost are not good from the ship owners' point of view. To solve this problem, the experience of ice breaking tanker development and the ice tank test results were adopted. The main idea to reduce the ice resistance is by reducing waterline angle at design load waterline. The reason behind the main idea is to reduce the ice-clearing force. Two hull forms were developed to satisfy Baltic Ice class IA. Two ice tank tests and one towing tank test was performed at MARC (Kvaener-Masa Arctic Research Center) and SSMB (Samsung Ship Model Basin) facilities, respectively. The purpose of these tests was to verify the performance in ice and open water respectively. The hull form 2 shows less speed loss compared to Hull form 1 in open water operation but hull form 2 shows very good ice clearing ability. Finally the Hull Form 2 satisfying Baltic ice class IA. The merit of this hull form is to use the same engine capacity and no major design changes in hull form and other related designs. But the hull

---

접수일: 2004 년 7 월 20 일, 승인일: 2004 년 10 월 31 일

†주저자, E-mail: jhlsk@nate.com

Tel: 02-882-3563

structure has to be changed according to the ice class grade. The difference in two hull form development methods, ice model test methods and analysis methods of ice model test will be described in this paper.

※Keywords: Baltic ice class 115K tanker(115K Baltic ice class 유조선), Ice tank model test (빙수조 시험), Ice tanker design for Baltic ice class IA (Baltic ice class IA 만족하는 115K tanker 설계)

1. 서 론

Baltic Sea 를 운항하는 ice class 선박은 저속(5knots)에서 엔진의 토크 제한을 넘지 않는 과 부하(overload)상태로 운항해야 하기 때문에 Ice class IA 를 적용 받는 115K 규모의 유조선 중 고정 피치 추진기를 장착하고 운항하는 선박은 거의 없는 실정이다. 이는 FMA 의 최소 요구 마력(minimum power requirement) 정의가 같은 크기의 유조선 대비 너무 큰 엔진 장착을 요구하고 배 폭이 40m 이상인 선박에 대해서는 최소 마력을 정의하는 규정 자체가 미비한 이유 때문이다. 따라서 유사 실적이 없는 상태에서 엔진의 용량을 키워서 FMA 규정을 만족하는 방법을 생각할 수 있으나 이 경우 운항 효율과 선가등에서 경쟁력이 떨어지는 단점이 있다. 이를 개선하기 위해 당사에서는 그간의 쇄빙선 관련 기술 개발 결과를 접목하여 기존의 엔진을 그대로 사용하면서 Ice class IA 를 만족하는 선형을 개발 하였다. 선형 개발 방법으로 선수 선형의 수선면 각을 줄여서 얼음을 선박의 이동 향로로부터 이탈시키는 능력을 증가시키는 방법을 사용하였다. 이 선박의 장점은 기존의 설계를 그대로 사용할 수 있다는 것이며 다만 선체를 Ice 등급에 맞게 보강을 하면 된다. 개발된 선형의 성능 검증을 위해 빙수조와 예인 수조에서 빙중 및 평수 중 시험을 수행하였다. 그 결과 Ice class IA 를 만족하는 성능을 얻었으며 평수 중 성능도 기존 선형 대비 속도 손실이 0.5 knots 이하로 상당히 작음을 알 수 있었다. 또한 평수 운항을 목적으로 설계된 선형(선형 1)의 Ice Clearing 성능도 검증하였으며 고정 피치 프로펠러를 장착한 선박의 엔진 크기 선정은 bollard

pull 상태에서의 프로펠러 성능이 빙 저항과 함께 가장 중요한 변수가 되는 것을 알았다.

본 논문에서는 두 가지 선형에 대한 개발 방법과 빙수조 및 예인 수조 모형시험 결과와 해석 방법 그리고 선형차이 등을 기술하고자 한다.

2. 선형 설계

2.1 FMA rule 에 의한 마력 추정

대상 선박의 주요 제원은 Table 1 과 같다. 선형 설계에 앞서 FMA rule 에 따라 개략적인 엔진 요구 마력 범위를 추정해 보았다.

FMA rule 에 의하면 선수부 형상과 선폭, 추진기 형식 등의 함수인 Rch 저항(Rch)와 최소 요구 마력(Power) 추정 결과는 Table 2 와 같다. Table 2 에서 볼 수 있듯이 ice class IA 를 만족 하기 위한 최소 요구마력은 32.29MW 이다. 이 결과는 배 폭이 40m 이하에서만 적용 가능한 FMA Rule 을 강제 적용한 결과이다.

Table 1 The Principle dimension of Hull 1

Items	Values
LBP (m)	239
Breadth (m)	43.8
Draft (m)	13.6
Displacement (cu. m)	115,000

Table 2 The Minimum power requirement results of Hull 1

Ice Class	Rch (KN)	Power (Kw)
IA	2,125	29,720
IB	1,645	20,240
IC	1,194	12,520

2.2 선형 1의 빙 저항 및 마력 추정

선형 1의 빙 저항 추정 결과를 유사선의 저항 값 (김현수등 2003)과 비교한 결과 Table 2에서 추정된 Channel 저항(Rch)은 참고 문헌 (김현수등 2003)의 선박이 (M501) 빙 두께 1m, 빙 강도 600 Kpa에서 6 knots로 운항할 경우의 평탄 빙에서 저항 값인 2,150 KN 보다도 큰 것으로 계산되었다.

그러나 선형 1의 Ice class IA 조건은 1m Brash ice로 얼음의 파괴 저항 없이 Clearing 저항이 전체 빙 저항의 주 요소이고 M501은 clearing 저항에 breaking 저항이 포함되어 있으므로 선형 1의 빙 저항은 M501보다 클 수가 없다. 또한 선박의 속도를 고려해 보면 선형 1의 경우 5 knots이지만 M501의 경우 6 knots이므로 속도가 적은 선박(선형 1)의 빙 저항이 속도가 큰 선박(M501)의 빙 저항보다 클 수는 없다. 주요 제원의 비교에서도 배의 폭과 길이가 큰 선박(M501)의 빙 저항이 더 클 것이다. 따라서 Table 2의 계산 결과에 대한 신뢰성은 떨어지는 것으로 판단 하였으며 선형 1의 경우 실제 엔진의 크기는 추정된 32.29MW보다 훨씬 작을 것이라는 확신을 얻게 되었고 이를 검증하기 위한 빙 수조 모형 시험을 수행 하였다. 빙 수조 모형 시험에 대해서는 3절에서 논의 하기로 한다.

2.3 선형 2의 빙 저항 및 마력 추정

선형 1의 시험 결과는 2.2절의 추정이 정확했음을 보여 주었다. 선형 1의 시험 결과는 기존의 엔진과 프로펠러를 가지고 선형 1의 경우 Ice class IB까지 가능한 것을 알 수 있었다.

이러한 시험 결과를 근거로 설계 흡수 수선면 부근의 수선면 각을 줄이는 방법을 사용하여 선형 수정을 하였으며 이 선형 (선형 2)을 대상으로 선형 1과 같은 방법으로 FMA Rule에 의한 계산을 수행 하였다. 계산 결과는 Table 3과 같다.

Table 3의 결과는 Table 2와 비교할 경우 빙 저항이 상대적으로 줄어드는 것을 볼 수 있다. 또한 선형 2의 빙 저항은 Mother ship인 선형

Table 3 2 The Minimum power requirement results of Hull 2

Ice Class	Rch (KN)	Power (KW)
IA	2,246	32,290
IB	1,739	22,000
IC	1,263	13,620

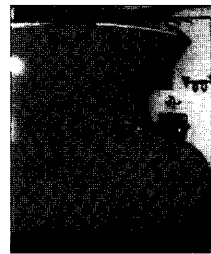


Photo 1 Hull 1

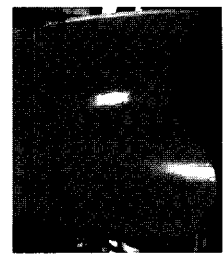


Photo 2 Hull 2

1 대비 clearing 능력을 개선시켰기 때문에 빙 저항이 개선될 것으로 예상하였다.

추정된 빙 저항 값과 선정된 엔진 및 프로펠러의 조합으로 5 knots로 운항 시 원하는 추력을 낼 수 있는 지를 검토하여 Ice class IA 만족 여부를 판단하였다.

추정된 빙 저항 결과는 모형 시험 결과와 비교했을 때 큰 오차는 없었으며 Ice class IA를 만족하는 선형 2을 얻을 수 있었다.

선형 1과 선형 2의 모형 사진은 Photo 1과 Photo 2와 같다. 사진을 통해 볼 수 있듯이 선형 2의 선수부가 설계 흡수 수선면 부근에서 sharp한 것을 볼 수 있다. 평소 중에서 저항 요소의 변화 및 얼음 조각의 흐름의 변화에 영향을 줄 것을 우려하여 선미 선형은 변화를 주지 않았다.

3. 선형 설계

3.1 빙 수조 시험

빙 수조 모형 시험은 MARC (Kvaner-Masa Arctic Research Center)에서 수행 하였다. 모형의 표면은 0.05의 마찰 계수를 사용 하였으며 축척 비는 1:30을 사용하였으며 모형 얼음은

MARC 의 고유 모형 얼음인 FG (Fine-grained) model ice 를 사용하였다(Anita Nortala-Hoikkanen 1990). 모형 얼음의 두께는 실제 운항 조건인 Old wide channel 의 1.0 m 와 2.0 m 를 사용하였다. 모형은 예인 전차에 고정 시켰고 Pitch, Heave, Roll, Surge 는 구속하지 않고, Sway 와 Yaw 는 구속 한다. 저항 시험에서는 전차는 모형을 따르면서 propeller 추력과 Torque, RPM, 모형선 속도를 계측 하였다(MARC 2002). 모형시험은 Level ice, wide channel, narrow channel, old ice 와 new ice 의 조합에 의해 시험을 수행 하였다. 실제 FMA 에서 정의 하는 Ice class IA 의 경우는 old wide channel 의 결과를 사용하므로 본 논문에서는 old wide channel 의 결과를 중심으로 기술 하기로 한다.

### 3.2 예인 수조 시험

예인 수조 시험은 SSMB(Samsung Ship Model Basin)에서 수행 하였다. 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.

Table 4 는 두 선형의 모형 시험 결과를 사용하여 실선의 유효 마력을 추정한 결과를 비교하여 보여 주고 있다. 동일 속도에서 Hull form 2 는 Hull form 2 대비 약 1% 정도의 유효마력 증가를 보이고 있는 것을 알 수 있다.

### 3.3 빙 저항 해석

빙 중을 운항하는 선박의 전체 저항 ( $R_{IT}$ ) 은 식 (1)과 같이 표시한다.

$$R_{IT} = R_I + R_{IW} \quad (1)$$

Table 4 The EHP comparison of Hull 1 and Hull 2

Vs (knots)	선형 1	선형 2
15	1.0000	1.0037
16	1.0000	1.0127

여기서  $R_I$ 는 순수한 얼음에 의한 저항을 의미하고  $R_{IW}$ 는 ice 에서 운항 할 때 평수중 저항을 의미 한다.  $R_I$  는 빙 수조의 모형 시험으로부터 구하고  $R_{IW}$  는 예인 수조의 모형 시험 결과로부터 구한다. Baltic ice class 에서는 최소 운항 속도가 5 knots 로 정해져 있다. 따라서  $R_{IW}$  는 5 knots 의 결과를 사용하면 된다. 그러나 통상 예인 수조의 시험은 저속 구간은 시험을 수행 하지 않는 것이 일반적이므로 설계 속도 주변에서 수행한 저항 결과를 외삽법을 사용한다.  $R_I$  는 구하는 방법은 모형 얼음, 빙 수조 설비, 실험 방법에 따라 빙 수조마다 고유의 방법이 있다. 본 논문 관련 빙 수조 시험을 한 수조의 경우는 빙 저항을 직접 계측하고 모형 얼음의 분포, 강도, 두께에 따라 보정한 결과를 사용한다.

$R_{IT}$  는 해석하고자 하는 속도에서의 저항 요소인 추력 감소계수(thrust deduction, t)와 추력 (T)의 관계로부터 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{IT} = (1 - t) T \quad (2)$$

빙 중에서 추력 감소계수는 프로펠러로 유입 하는 물이 얼음에 의해 교란되는 현상 때문에 평수중의 실험값과는 차이가 있다. 본 선박의 경우는 0.15 을 사용하였다.

### 3.4 실선 마력 추정

실선 마력 추정을 위해서는 빙 저항을 이기는 추력을 낼 수 있는 엔진 을 결정하는 것과 그 선박이 5 knots 라는 저속으로 운항을 할 때 엔진과 프로펠러와의 상호 작용에 의해 원하는 추력을 낼 수 있는가를 검증해야 한다. Ice class 선박이 변동 피치 프로펠러를 선호 하는 이유는 프로펠러의 회전 수와 상관없이 엔진이 상황에 따라 원하는 추력을 낼 수 있도록 프로펠러 피치를 조정할 수 있기 때문이다. 그러나 고정 피치 프로펠러의 경우 엔진 토오크 제한을 검토해야만 한다. 이는 아무리 큰 엔진을 장착 했다 하더라도 엔진과 프로펠러 회전수의 관계가 프로펠러의 성능과 조화를 이루지 못하면 저속에서는 적정 회전수에 도달 하기 전에 토오크 제

한에 걸려 원하는 power 를 얻지 못하는 일이 발생 하게 된다.

Fig. 1 는 설계된 선박에 탑재될 엔진의 특성과 프로펠러가 속도별로 운항할 때의 엔진 출력 특성을 보여준다. 이 관계에 의해서 설계된 선박의 경우 5 knots 에서 대략 65 RPM 을 넘을 수 없음을 알 수 있다.

각 속도 별로 엔진의 출력 제한에 이르는 회전 수를 찾아내고 해당 회전 수에서의 엔진 출력을 프로펠러 특성 곡선으로부터 찾아내면 각 속도 별로 낼 수 있는 최대 엔진 출력을 구할 수 있다. 이 엔진 출력으로부터 편수 중 저항을 제거하면 빙해를 운항할 때 순수하게 빙 저항을 이겨내기 위해 사용될 수 있는 엔진 출력을 구할 수 있게 된다.

Fig. 2 은 설계 대상 선박의 편수 중 저항 시험 결과와 Fig. 1 의 특성 및 프로펠러 특성 곡선으로부터 구한 결과로 선박의 속도에 따라 빙해를 운항 할 때 사용할 수 있는 Thrust 를 나타내고 있다. Fig. 3 의 결과와 빙 저항 시험 결과로부터 Ice class 의 어느 수준을 만족하는지를 판단 할 수 있다.

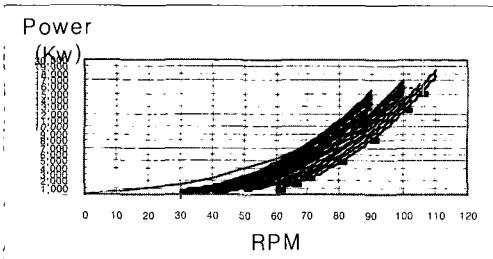


Fig. 1 Propeller & Diesel Engine power curve

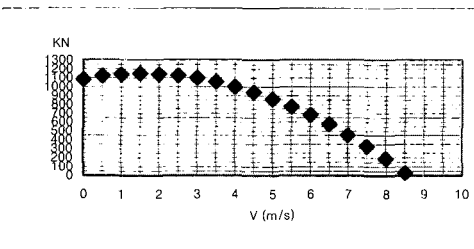


Fig. 2 Available net thrust Curve

Fig. 3 은 설계 대상 선박의 Old wide channel 에서 저항 시험 결과이다.

Fig. 3 는 두 개 선형의 design draft 에서 1m 및 2m ice thickness 의 시험 결과와 Ballast draft 에서 시험 결과 이다. Fig. 4 에서 속도가 5 knots 를 넘을 경우 Ice class IA 를 만족하는 것으로 평가 할 수 있다.

그러나 실제 Ice class 를 만족하는지 여부를 판단 하는 것은 Brash ice channel 의 기하학적 형상에서 경험적으로 주어지는 배 폭의 함수인 식 (3)의 두께를 가지고 판정해야 한다.

$$H = H_M + B/4 * \tan 28 = H_M + 0.00873 B \quad (3)$$

식 (3)의  $H_M$  은 Fig. 4 의 정의와 같다.  $H_M$  은 ice class 의 정도에 따라 정해 진다.

식 (3)과 같이 표시된 빙 평균 두께에서 엔진의 출력을 판정해 5 knots 에서 필요한 엔진 출력이 available net thrust 보다 작은 경우 Ice class 를 만족 한다고 판단한다.

Fig. 3 의 결과를 빙 두께에 따라 정리하여 Fig. 5 와 같이 표시한 후 ice class 등급을 판정

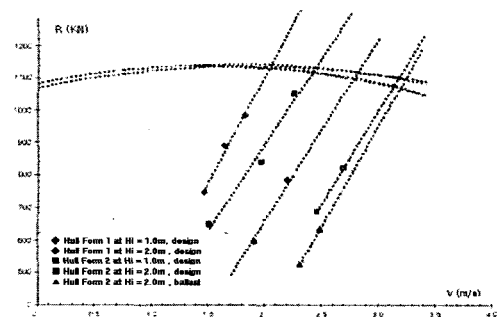


Fig. 3 Measuring data of old wide channel

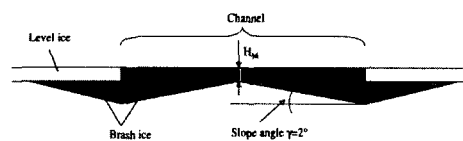


Fig. 4 Definition of average channel thickness

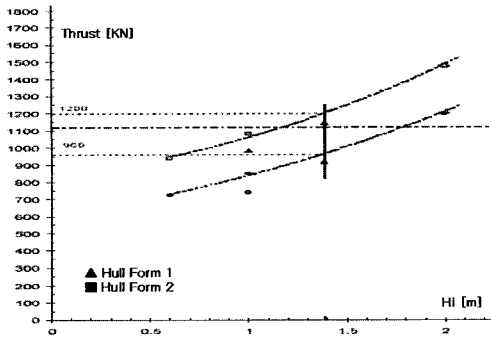


Fig. 5 Result of old wide channel

할 수 있다. Fig. 6은 두개 선형에 대한 시험 결과이다. Fig. 6에서 알 수 있듯이 선형 1 보다 선형 2의 경우가 빙해 운항에 필요한 엔진 출력이 작은 것을 알 수 있다. 이것은 선형 2의 빙 저항이 작다는 것을 말해준다.

Fig. 6에서 선형 1의 경우는 Ice class IA를 만족하지 못하고 IB와 IC를 만족하는 것을 알 수 있었으며 선형 2의 경우는 Ice class IA까지도 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

또한 모형 시험 결과로부터 확인된 선형 1과 2의 저항 값을 활용하여 다른 크기의 엔진과 그 엔진에 맞는 프로펠러를 사용하여 3.4절의 방법을 사용한 재 해석을 함으로서 선형 2에 탑재될 엔진 보다도 작은 규모의 엔진을 적용하더라도 Ice class IA를 만족할 수 있음을 확인하였다.

이러한 경험은 Baltic ice class를 만족하는 범위에 따라서 엔진의 크기가 결정되는 것보다는 open water에서의 속도 성능에 따라 엔진의 크기가 결정될 수도 있으며 해당 엔진의 Torque 제한에 맞게 설계된 propeller를 사용할 경우 Baltic ice class IA의 power 결정은 큰 문제가 되지 않음을 확인 하였다.

#### 4. 결론

기존에 Ice 관련 선주의 요구가 있을 경우 설계자들은 Rule 계산에 근거해 엔진을 키우는 접근을 시도하여 왔다. 그러나 본 연구에서는 선

수 선형의 수선면 각을 줄여서 ice clearing 능력을 개선 시키려는 시도를 하였고 기존의 엔진을 사용하고도 Ice class IA를 만족시킬 수 있는 유조선의 선형을 개발 하였다.

시험 결과로부터 선형 1은 ice class IB와 IC를 선형 2는 Ice Class IA,IB,IC를 만족하는 것이 증명 되었다. 또한 모형 시험을 통해 선형 1과 2의 빙 저항 값을 알 수 있으므로 이를 활용하여 다양한 엔진과 프로펠러의 조합에 의한 ice class 적용 여부를 확인할 수 있었다. 향후 이러한 시도가 Baltic Ice class 선박의 선형 개발과 엔진 출력 결정에 많은 도움이 되기를 기대한다.

#### 참 고 문 헌

- 김현수 등, 2003, “ 극지용 쇄빙 유조선 개발,” 대한조선학회 논문집, 제 40 권, 제 6 호, pp. 20-29.
- Anita Nortala-Hoikkanen, 1990, “ FGX Model Ice at the Masa-Yards Arctic Research Center,” IAHR Ice Symposium.
- MARC, 2002, Standard Ship Model Tests, Ice Conditions and Analysis Methods at Masa-Yards Arctic Research Center, MARC Reports D-114.



< 김 현 수 >



< 하 문 근 >



< 백 명 철 >



< 김 수 형 >



< 박 중 우 >



< 전 호 환 >