

쇄빙 유조선과 일반 유조선의 저항특성 비교연구

김현수^{†*}, 하문근*, 안 당*, 전호환**

삼성중공업(주) 조선해양연구소*
부산대학교 조선해양공학과**

Comparison Study on the Resistance Characteristics of an Arctic Tanker and a General Tanker

Hyun-Soo Kim^{†*}, Mun-Keun Ha*, Dang Ahn* and Ho Hwan Chun**

Samsung Heavy Industries Marine Research Institute*
Pusan National University**

Abstract

The hull form of icebreaking tanker depends on the trade route and ice characteristic. The hull form has to be designed for icebreaking concept if the vessel is operating in heavy ice and also the hull form has to be optimized for general tanker when the ship is operating in ice-free ocean. This paper presents comparison of ship resistance in pack ice, level ice and open water. Four ships are used to compare the resistance characteristic. One is conventional tanker and three ships are icebreaking tankers. The ice model test was carried out at the IOT (Institute for Ocean Technology, Newfoundland, Canada) and open water test was performed at SSMB (Samsung Ship Model Basin). The ice resistance of conventional tanker was predicted by Colbourne's method. The resistance of open water, pack ice and level ice are compared and discussed. The best hull form of icebreaker is not good in open water performance compare to conventional tanker. This result explains that the hull form of icebreaker and normal tanker have to compromise when the ship is operated in ice and ice-free condition. The result of this paper gives a guide for icebreaking tanker design.

※Keywords: Arctic tanker(쇄빙 유조선), Ice model test(빙수조 시험), Ice resistance(빙저항), Pack ice.

접수일: 2005년 9월 16일; 승인일: 2005년 11월 16일

†주저자, E-mail: hs-john.kim@samsung.com

Tel: 055-630-5355

1. 서론

Icebreaker 선수선형을 가진 대형 쇄빙 화물선이 실제 해역에서 쇄빙이 가능한지를 확인하기 위해 일반 선박을 개조하여 만든 'Manhattan' (Gray and Maybourne 1981)이 캐나다 북부 해역을 성공적으로 시험 운항함으로 첫번째 대형 쇄빙 화물선으로 기록되었다. 'Manhattan' 호는 쇄빙 선형의 선수 형상을 적용하였고 steam turbine 엔진과 두개의 프로펠러를 장착 하였다.

'Manhattan' 은 우수한 쇄빙 성능을 가지고 icebreaker 도움 없이 level ice, heavy pack ice, rubble ice 및 ice ridge 등의 얼음 사이를 운항 할 수 있었다. 그러나 이 선박의 Open water 성능은 검증되지 않았다.

최근에 건조된 비슷한 배수량의 쇄빙선 'Tempera' 와 'Mastera' (Juurmaa et al. 2002)는 'Manhattan' 과는 운항하는 지역의 얼음 형태가 완전히 다르다. 'Tempera' 는 Baltic Sea 운항이 목적인 선박으로 평탄빙에서의 운항은 매우 적고 주로 channel 에서 brash ice 와 pack ice 상태를 운항한다. 이 선박은 일반해역과 빙해역에서 운항 효율을 모두 높이기 위해 빙해역 운항은 선미부를 사용해 운항을 하고 일반해역은 'bulb' 가 있는 선수선형을 사용하여 운항하는 DAT (Double Acting Tanker) 개념을 적용하였다. Tempera 는 POD 추진 시스템을 장착하여 추진기가 180 도 회전을 하므로 어느 방향이든 추진을 할 수 있어 DAT 개념이 가능하게 되었다.

'Manhattan' 과 'Tempera' 는 쇄빙 선박의 설계에서 중요한 전환점으로 받아들여진다. 즉, 쇄빙 선형의 설계에 있어서 전체 운항 항로에서 빙해역 항로의 비율과 일반해역 항로의 비율에 따라 쇄빙선형과 일반선형을 적절히 조화하여 운항 효율을 최고로 높이기 위한 최적의 선형을 개발해야 하는 과제를 부여 받게 된 것이다. 예를 들어 운항 항로의 대부분이 open water 이고 약간의 pack ice 가 있는 항로를 운항 한다면 선형은 일반해역 항해를 위해 최적화 되어야 한다. 이 경우 선체 구조를 보강하여 ice 충격력을 견딜 수 있는 정도의 구조이면 성능면에서는 큰 문제는 없다.

그러나 항로의 대부분이 level ice 와 heavy pack ice 로 이루어진 빙해역을 주로 운항해야 한다면 이러한 선형의 선수선형은 쇄빙형 선수선형을 적용하여야 한다. 그러나 선박의 항로가 빙해역과 일반해역을 각각 절반 정도씩 운항해야 하는 항로이고 선주가 POD 설치 비용 증가로 선가의 부담을 느껴 DAT 개념을 적용을 못하는 경우에는 선형에 대한 세심한 연구가 필요하다. 이러한 노력은 DAT 선형에 관한 기술 비용 지불 없이 선주의 요구를 만족시켜주는 설계로 평가 할 수 있다.

본 연구에서는 일반해역 운항을 위해 개발된 선형이 빙해역에서는 어떠한 쇄빙 성능을 갖는지도 또한 빙해역 운항을 위해 개발된 쇄빙 선형이 일반해역에서는 어떠한 성능을 갖는지를 분석하였다. 이러한 분석을 위하여 빙수조 모형시험 결과, 예인 수조 모형시험 결과 및 'Colbourne' 의 해석 방법을 사용하였다. Colbourne 의 해석 방법은 유사선의 빙저항 추정에 유용하게 사용되는 방법으로 알려져 있다.

Nomenclature

B	: Vessel beam
C_o	: Ice concentration
C_p	: Pack ice concentration coefficient
F	: Arbitrary function
F_p	: Average pack ice force
Fr_p	: Pack ice Froude number
g	: Acceleration of gravity
h	: Ice thickness
n	: Exponent
V_i	: Pack ice drift velocity
ρ_i	: Density of ice

2. 선형설계 및 모형시험

김현수 등(2003)는 쇄빙 화물선 IOT-493 과 IOT-501 선형에 대한 모형 실험 결과를 소개 하였다. (김현수 등 2003). IOT-493, IOT-501 선박의 설계에서 항로상 얼음의 종류는 level ice 로 계획되어 개조선 Manhattan 의 항로상 얼음의 종류와 같다. 또한 선수선형도 Manhattan 과 매우 유

사한 특징을 가지고 있다.

Manhattan 과 IOT-493, IOT-501 선형의 요소를 비교해 보면 흘수가 가장 큰 차이를 보이고 있는데 Manhattan 은 15.4m 이고 IOT-493 과 501 은 11.5m 이다. 새로 설계된 선형 IOT-614 선형은 흘수가 16.5m 이고 IOT-493 선형에 비해 배수량이 1.6 배 정도 크다. Table 1 에 본 연구에 사용된 세 척의 쇄빙선형과 한 척의 일반선형에 대한 주요 제원과 배수량을 정리하였다.

IOT-614 선형의 선수 형상은 쇄빙능력 극대화를 위해 Spoon 형 bow 를 적용하였고 필요한 소요마력을 내기 위해서 선미부에는 두개의 프로펠러를 장착하였으며 얼음으로부터 프로펠러와 축을 보호하기 위해서 축과 선체 사이에 skeg 형상의 부가물로 보강을 하였으며 조종성능 향상을 위해 두 개의 타를 설치하였다. 또한 두꺼운 평탄빙에서의 쇄빙 능력을 향상 시키기 위해서는 선형 이외에도 외판의 두께를 더 두껍게 보강할 필요가 있는데 이때 선각작업이 용이하도록 하기 위해 IOT-493, 501 보다 선수부의 곡률을 더욱 단순화시켰다. Fig. 1 은 IOT-614 모형의 선수 형상을 Fig. 2 는 선미 형상의 모습을 보여 주고 있다.

SM-173 모형은 일반적인 형태의 Tanker 선형으로 bulbous bow 선형과 single screw 를 가지고 있다. SM-173 은 open water 성능이 매우 우수하며 ice 운항에 대비한 선수선형 수정을 전혀 하지 않았다. Fig. 3 과 Fig. 4 는 SM-173 선형의 모형선 사진이다. SM-173 선형의 주요 제원 역시 Table 1 에 정리하였다.

Table 1 Icebreaking tankers, summary of principal dimensions

	IOT-493	IOT-501	IOT-614	SM 173
Length (m)	273.5	274.9	284.0	258.3
Beam (m)	43.6	43.6	42.8	46.2
T (m)	11.5	11.5	16.5	16.6
Displacement (ton)	100144	102145	161935	162001
Wettedarea	14720	14502	17689	17492

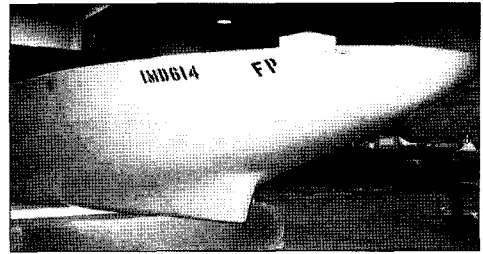


Fig. 1 Photo of IOT-614 bow part

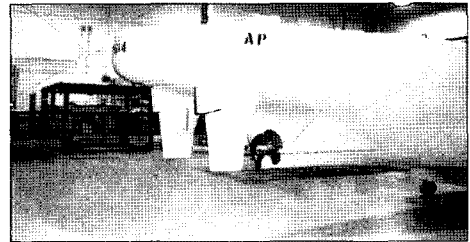


Fig. 2 Photo of IOT-614 stern part

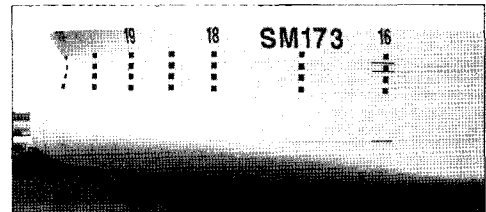


Fig. 3 Photo of SM-173 bow part

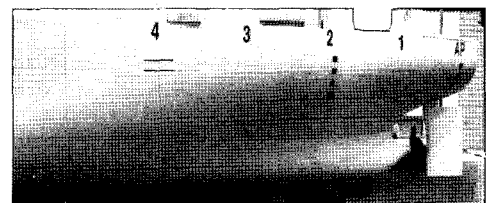


Fig. 4 Photo of SM-173 stern part

세가지 쇄빙 선형에 대한 빙수조 시험은 IOT (Institute for Ocean Technology, NRC-CNRC, Newfoundland, Canada)에서 수행하였고 일반 유조선 선박인 SM-173 의 일반해역 모형시험은 SSMB (Samsung Ship Model Basin)에서 수행하였다.

3. Pack Ice 에서의 빙저항

Level ice 에서 운항하는 선박에 작용하는 빙저항은 선체에 작용하는 유체 역학적 Open water 저항과 얼음을 깨는데 소요되는 저항을 표시하는 breaking 저항 및 얼음 덩어리가 선체 주위에서 움직임으로 선체에 작용하는 저항의 세 가지 성분으로 분리한다.

선체 주위 얼음의 움직임으로 인해 선체에 발생하는 저항 성분은 얼음의 부력에 의해 선체에 미치는 부력 저항(buoyancy 저항)과 선박의 진행을 방해하는 얼음을 제거하기위한 Clearing 저항으로 나눈다.

Pack ice 에서 운항하는 선박에 작용하는 빙저항을 buoyancy 저항과 clearing 저항으로 나누어 빙저항을 추정 하는 방법은 Colbourne (2000)에 의해 소개되었다. 여기서 buoyancy 저항은 선체의 주변에 붙어 있는 얼음이 부력을 받고 이 힘이 선체에 저항으로 작용하는 것을 말하고 clearing 저항은 항로상의 얼음이 선박의 진행을 방해하여 얼음을 항로에서 밀어 내는데 필요한 저항을 의미한다.

Pack ice 의 경우는 얼음의 크기가 작고 얼음을 깨는데 소요 되는 breaking 저항이 상당히 작기 때문에 breaking 저항은 무시된다. 유체역학적 저항은 open water 저항 시험으로부터 구할 수 있는데 이때의 저항 값도 선박의 속도가 작기 때문에 큰 저항값을 갖지는 않는다. 따라서 순수한 Pack ice 에서의 빙저항은 Pack ice 모형시험에서 구한 전체 빙저항에서 open water 저항을 빼면 구할 수 있다.

얼음의 흐름에 의한 순수한 Pack ice 저항은 다음 식 (1)과 같이 무 차원화 시킬 수 있다.

$$C_p = \frac{F_p}{\rho_i B h V_i^2 C_o^n} \quad (1)$$

또한 선박의 속도는 Pack ice Froude Number 에 의해 식 (2)와 같이 무 차원화 할 수 있다.

$$Fr_p = \frac{V}{\sqrt{ghC_o}} \quad (2)$$

계측된 힘은 무 차원 Froude Number 의 함수로 식 (3)과 같이 표시 할 수 있다.

$$C_p = f(Fr_p) \quad (3)$$

Colbourne 은 위 식 (1)에서 n 값에 대하여 다음과 같이 제안하고 있다. 즉, 유체 역학적 저항이 조류 저항뿐인 계류된 선박이나 FPSO 의 경우 n 을 3 으로 권고하였고 pack ice 와 pre-sawn ice 실험을 수행한 다른 선박의 결과를 종합하여 쇄빙형 화물선의 경우 n 을 2 로 제안했다.

Fig. 5 는 IOT-614 선형을 Colbourne 의 방법으로 해석 결과를 그래프로 보여주고 있는데 실험 결과를 정리함에 있어서 종축과 횡축을 각각 Log(C_p) 와 Log (Fr_p)로 정리할 경우 둘 사이에는 선형적 관계가 있음을 알 수 있다.

Table 2 는 나머지 선형에 대하여 Colbourne 의 방법으로 해석하여 선형화 하였을 경우 각각의 선형에 대한 기울기와 절편을 종합 정리한 결과이다

Table 2 의 결과에서 ' Tanker ' 의 해석은 SM - 173 선형에 대한 결과이다. 그러나 SM-173 선형은 일반선형으로 빙수조 시험을 하지 않았다. 따라서 빙수조 모형 시험 결과가 존재하지 않는다. 저자는 SM-173 선형이 Murray(1996)가 소개한 일반 유조선 선형과 선형 concept 이 유사하고 Hull form 이 유사한 것에 착안하여 두 선형의 pack ice 빙저항 경향이 유사할 것임에 착안하여

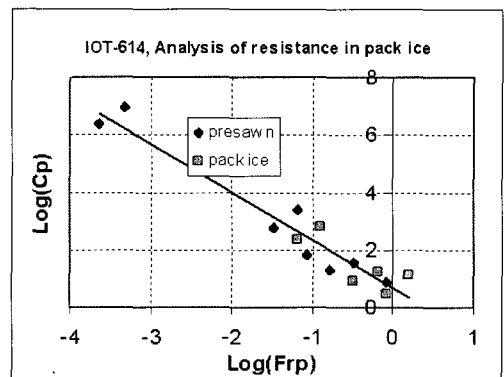


Fig. 5 Analysis of resistance in pack ice, IOT-614, arctic tanker

Table 2 Resistance in pack ice, summary of analysis of $\log(C_p)$ plotted against $\log(Fr_p)$

Model	Slope	Intercept
IOT-493	-1.601	1.365
IOT-501	-1.588	1.301
IOT-614	-1.662	0.693
Tanker	-1.553	2.378

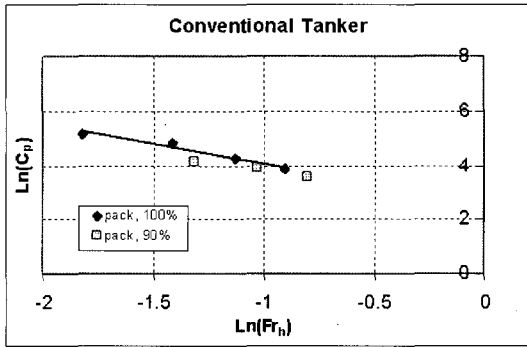


Fig. 6 Analysis of resistance in pack ice, conventional tanker

SM-173 선형의 pack ice 빙저항 결과를 얻기 위하여 Murray 선형의 Pre-sawn test 결과와 90% Pack ice test 결과를 대신 사용하였다.

Murray의 논문과 Fig. 3.4를 비교해 보면 두 선형은 일반적인 Bulb를 갖는 선수선형으로 Bulb가 없는 쇠빙선의 선수선형과는 차이가 있음을 알 수 있다. 이러한 선형상의 유사성은 pack ice 저항의 추정에 있어서 일반선형과 쇠빙선형의 특징으로 대별되는 빙저항 특성에서 두 선형의 상대적 유사성을 유추할 수 있는 대목이다. Murray 선형에 대한 해석 결과는 Fig. 6에 보여 주고 있다. 이렇게 구해진 무차원 계수를 SM-173 선형에 적용하여 SM-173 선형의 Pack ice 저항을 역으로 구하였다. IOT-614 선형과의 직접적인 우열성 평가를 위해 SM-173 선형의 주요 제원은 배 폭을 기준으로 scale 조정하였다. SM-173 선형의 Open water 저항은 SSMB의 모형시험 결과를 사용하였다.

빙해역에서는 선형의 우열을 판단하기 위해 빙수조 시험 결과와 Colbourn의 방법으로 얻어진

빙저항 결과가 Bulbous Bow를 갖는 일반 선형의 빙저항과 Bulbous Bow가 없는 쇠빙선의 빙저항 결과로 대별되어 비교되었다. 또한 쇠빙선 상호간에 빙저항 결과 차이도 알아보았으며 pack ice의 밀집도에 대한 선형의 영향을 알아보기 위해 IOT-493, IOT-501 및 IOT-614 선형의 95% 및 70% pack ice에서의 빙저항 결과를 비교 분석하였다.

4. 결과 비교 분석

Pack ice 저항

1m 두께의 Pack ice에서 저항 추정 결과는 Fig 7과 8에서 보여 주고 있다. Fig. 7은 95% pack ice의 결과이고 Fig. 8은 70% Pack ice 결과이다. Fig. 7과 Fig. 8에 의하면 쇠빙형 Tanker의 Pack ice 빙저항이 일반선형의 Pack ice 빙저항보다 현저히 적은 것을 볼 수 있으며 빙 조건이

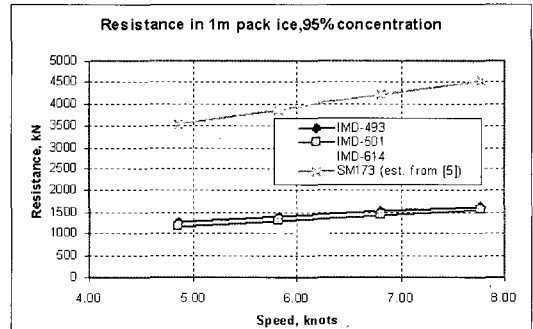


Fig. 7 Resistance in pack ice, 95% coverage

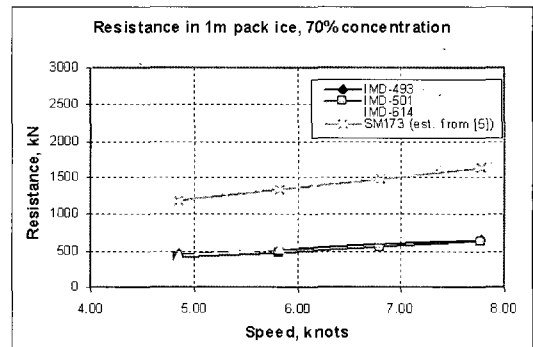


Fig. 8 Resistance in pack ice, 70% coverage

좀더 열악한 95% Pack ice 에서는 IOT-614 선형이 전체 속도 범위에서 우수한 것을 알 수 있다.

Pack ice 의 밀집도가 줄어드는 경우에는 얼음이 선체에 미치는 영향이 적기때문에 유체 역학적 저항이 전체 저항에서 차지하는 비중이 커진다. 세 개의 Arctic 선형의 경우 70% Pack ice 에서 6 knots 까지는 저항이 큰 차이를 보이지 않으나 6 Knots 이상에서는 IOT-614 선형의 저항이 증가하는 것을 Fig. 8 에서 볼 수 있다.

이러한 현상은 Fig. 9 에서 보는 바와 같이 IOT-614 선형이 level ice 에서 빙저항 성능이 상대적으로 가장 우수함에도 불구하고 Fig. 10 에서 보는 바와 같이 open water 성능이 열세이기 때문에 속도가 증가함에 따라 pack ice 에서 저항이 증가하는 것을 설명해 주고있다.

Pack ice 의 저항은 밀집도를 95%에서 70%로 줄일 경우 Fig. 7 과 Fig. 8 의 저항 결과를 비교하면 알 수 있듯이 저항 값이 약 3 분의 1 정도로 줄어드는 것을 알 수 있다. 따라서 Pack ice 의 밀집도가 Pack ice 저항 감소의 중요한 인자의 하나임을 알 수 있다. 일반적으로 Pack ice 의 밀집도가 30%인 경우에 같은 방법으로 해석을 수행하면 Pack ice 빙저항이 거의 없어서 open water 저항과 거의 같은 결과를 주는 것으로 알려져 있다.

Level ice 저항

Fig. 9 은 빙 두께 1m 와 2m 에서의 쇄빙형 화물선의 저항을 보여 주고 있다. 1m 빙 두께에서의 빙저항은 크게 차이가 없는 것을 볼 수 있으나 2m 빙 두께에서는 IOT-614 의 성능이 현저하게 우수한 것을 알 수 있다. 이것은 IOT -614 선형 설계의 목적인 우수한 빙저항 성능을 갖는 선형 설계와 부합하는 결과를 주고있다. 즉 spoon 형 선수선형이 빙저항 성능에는 가장 효과적이라는 것을 보여 주고있다.

Open water 저항

Fig. 10 는 4 개 선형의 open water 에서 유효마력(EHP, Effective Horse Power) 결과 비교를 보여 주고 있다.

IOT-614 와 SM-173 은 Table 1 에서 볼 수 있

듯이 매우 유사한 배수량과 출수를 가지고 있다. 그러나 빙저항과 open water EHP 를 비교할 때 Fig. 9 에서와 같이 빙저항이 우수한 IOT-614 선수선형이 open water 저항에서는 매우 부정적인 영향을 미치는 것을 Fig. 10 에서 볼 수 있다. 또한 IOT-614 선형의 open water 저항은 일반 유조선 선형보다 15 knots 에서 80%까지 저항이 증가하는 것을 Fig. 10 에서 볼 수 있다. IOT-493 과 IOT-501 선형은 SM-173 보다 작은 EHP 를 갖는 것처럼 보이는 하지만 IOT-493 및 IOT-501 선형과 SM-173 선형은 배수량과 출수가 큰 차이를 가지고 있어 결과에 대한 단순 비교에는 무리가 있다고 하겠다.

4. 결론

본 연구는 일반 유조선과 쇄빙형 유조선의 저항

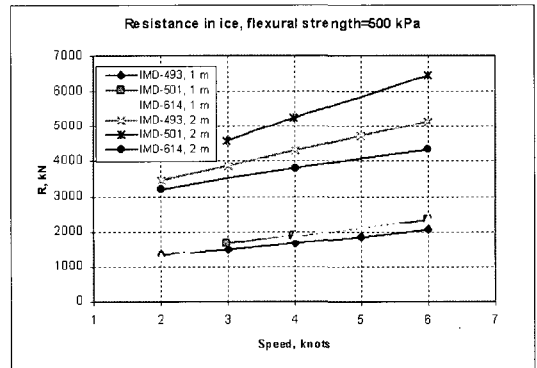


Fig. 9 Level ice resistance

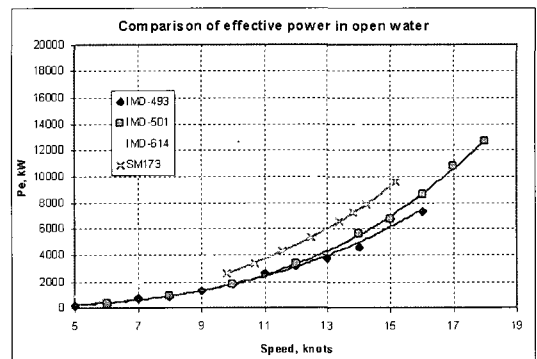


Fig. 10 EHP in open water

성능을 빙해역(Level ice, Pack ice 및 일반해역에서 비교하여 각 선형의 특성을 살펴 보았다.

그 결과 일반선박의 선수선형과 쇄빙선의 선수선형은 각각의 장단점이 있어서 4 개의 비교 대상 선박 중 가장 우수한 쇄빙 능력을 갖는 선수선형(IOT-614)이 일반해역에서는 가장 나쁜 저항 성능을 갖는 것을 극명하게 보여 주었다. 따라서 일반해역과 빙해역을 운항하는 동시에 운항해야 하는 선박의 선수선형 설계에 있어서 그 운항 비율을 고려하여 상호 보완적인 선수선형을 채택할 때 운항 효율을 극대화하는 선수 선형을 설계할 수 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 쇄빙 유조선 선수선형 설계에 좋은 참고 자료가 될 것으로 기대된다.

향후에는 쇄빙선 시장의 수요가 점진적으로 증가될 것으로 기대되는 가운데 빙해역과 일반해역에서 모두 저항 성능이 우수한 선수선형에 대한 연구가 요구 된다.

참 고 문 헌

- 김현수, 하문근, 안당, 전호환, 2003, "극지용 쇄빙 유조선 개발," 대한조선학회 논문집, 제 40 권, 제 6 호, pp. 21-29.
- Colbourne, D.B., 2000, "Scaling Pack Ice and Iceberg Loads on Moored Ship Shapes," Oceanic Engineering International, Vol. 4. No. 1, pp 39-45.
- Gray, W.O. and Maybourne, R., 1981, "Manhattan's Arctic Adventure- A Semi-technical History", Paper 1, Proceedings STAR Conference, SNAME.

- Juurmaa, K., Mattsson, T. Sasaki, N and Wilkman, G., 2002, "The Development of the Double Acting Tanker for Ice Operation," Proceedings, Okhotsk Sea and Sea Ice Conference, Mombetsu, Japan, 24-28th February.
- Murray, J.J and Spencer, D., 1996, "Preliminary Investigations into Mooring Forces on a Semi-submersible and a Turret Moored Tanker in Pack Ice, Current and Waves," Proceedings, 15th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Florence, June 16-20th



< 김 현 수 >



< 하 문 근 >



< 안 당 >



< 전 호 환 >