

## 빙해선박의 선수 선형에 관한 연구

김현수<sup>†\*</sup>, 이춘주<sup>\*\*</sup>

인하공업전문대학 선박해양시스템과<sup>\*</sup>  
한국해양연구원 해양시스템안전 연구소<sup>\*\*</sup>

### A Study on the Bow Shape of Ice Breaking Vessel

Hyun Soo Kim<sup>†\*</sup> and Chun Ju Lee<sup>\*\*</sup>

Dept. of Ship and Ocean System, Inha Technical College<sup>\*</sup>  
Marine & Ocean Engineering Research Institute<sup>\*\*</sup>

#### Abstract

The operation scenarios, types of ice, draft and propulsion system are important design point on the beginning stage of the ice breaking vessel. The concept of hull form in ice breaking vessel has to compromise the performance according to the operation route especially if ship is operating in ice and ice free water. The several hull forms were proposed to optimize the capability of the vessel in this paper. The effect of hull form according to type of ice is also discussing and explaining the ice resistance in each ice type as like pack ice, brash ice, level ice, rubble ice and ice ridge. The draft effect was examined and propulsion system for example FPP(Fixed pitch propeller), CPP(Controllable pitch propeller) and POD system was compared focusing on the propulsion efficiency.

※Keywords: Hull form of ice breaking vessel(쇄빙선 선형), propulsion system in ice(쇄빙선 추진기), draft effect in ice(쇄빙선의 흘수)

#### 1. 서론

쇄빙 연구선, 쇄빙 구조 및 보급선에 대한 선형과 관련된 연구는 Corlett 등(1964), Edward 등(1976), Lewis 등(1970)등에 의해 지속적으로 수행되어 왔다. 북극해 항로를 운항하는 대형 상선

에 대한 상업적 수요가 거의 없던 탓에 1990초까지도 대형 쇄빙상선의 선형에 대한 연구는 활발하지 않았으나, 1990년 대 중반 이후에 FMA(Finnish-Swedish Maritime Association) 1A급 Baltic Ice Class를 적용한 선박이 상용화 되고 대형 쇄빙 상선에 대한 시장의 요구가 발생하면서 연구개발이 활발해져 Yamaguchi 등(1997), Kim 등(2004b, 2006), Park 등(2008)등에 의해 연구가 수행된 바 있다.

접수일: 2010년 2월 10일, 승인일: 2010년 4월 29일  
† 교신저자: hyunsookim@inhatc.ac.kr, 032-870-2172

Yamaguchi 등(1997)은 쇄빙선의 선수 선형의 종류에 따라서 얼음이 깨지는 형태를 관찰하여 쇄빙능이 우수한 선수 선형에 대한 연구를 수행하였으며, Kim 등(2004a)은 일반적인 쇄빙선 선수 형태를 흘수에 제한이 있는 95K급 쇄빙 유조선에 적용하여 쇄빙 성능을 확인하는 연구를 수행하였다. Kim 등(2006)은 160K급의 쇄빙 유조선 개발에 "White Bow" 형태의 선수 선형을 갖는 선박의 성능을 검증하였고, 일반선형과 "Spoon Bow" 형태의 쇄빙 선형이 여러 가지 Pack Ice에서 어떠한 성능을 갖는지에 대한 연구를 수행하여 두 개의 서로 다른 선형의 극명한 차이를 보여 주었다. Park 등(2008)은 일반해역의 운항 성능 향상을 목적으로 설계된 구상 선수를 갖는 쇄빙 선형과 극지용 쇄빙선의 일반적 선수 선형을 갖는 선형을 대상으로 이중반전 프로펠러(CRP)와 POD적용한 2개의 추진 시스템을 조합하여 빙해역과 일반해역에서 선형 특성을 연구하였다.

Kim 등(2006)과 Park 등(2008)은 일반해역과 빙해역을 운항하는 쇄빙상선에서 운항 비율을 고려한 경제적인 선수 선형의 개념을 시도하였다.

본 논문에서는 쇄빙선의 선수 선형 설계에서 운항 시나리오, 운항 해역의 얼음 종류, 추진 시스템, 흘수가 미치는 영향을 분석하여 주어진 상황에 적합한 선수 선형의 형태를 제시하고자 한다.

## 2. 쇄빙선 선형 설계

### 2.1 쇄빙선의 선수 선형

쇄빙선 선수 선형의 선형 요소는 Fig. 1과 같이 정의할 수 있다. Fig. 1에서 표시된 선수각 (Stem Angle), 플레어각 (Flare Angle), 수선면각 (Waterline Angle)이 쇄빙 성능을 결정하는 주요 요소이다. 선수각은 빙판에 쉽게 올라 갈 수 있도록 결정 되어야 한다. 플레어각은 자중에 의해서 얼음을 쉽게 자르는 역할을 하는 것으로 날카로운 형태가 좋은 선수 선형이 될 수 있다. 또한 선박의 선수 부분 자중을 빙판에 집중적으로 전달할 수 있는 형상이 쇄빙 관점에서 좋은 선수 선형이라

할 수 있다. 얼음이 파괴된 후에 선체에서 분리되는 제거(Clearing) 저항도 고려하여 쉽게 선체에서 이탈하도록 하는 선형이 우수한 성능을 갖는 것으로 Kim(2006) 등이 검증한 바 있다. 수선면각도 제거 저항의 관점에서 빙판이 선체에서 잘 이탈 되도록 설계 되는 것이 우수한 선수 선형이다.

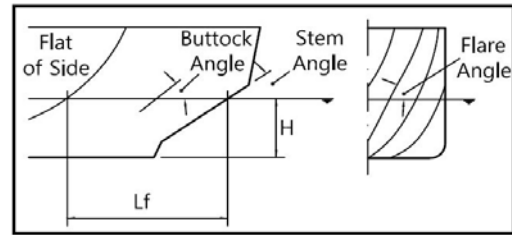


Fig. 1 Main feature of bow form

쇄빙선의 선수 선형의 종류를 살펴보면 Fig. 2에 개략적인 형상으로 표현된 "Concave Bow"라 불리는 선형이 있다. 이 선형은 쇄빙선의 쇄빙현상을 잘 활용한 선형으로 평탄빙을 잘 타고 올라가도록 고안되어 있고, 선수 선형의 자중에 의해 쇄빙이 잘 되도록 선수각을  $20^{\circ}$ ~ $25^{\circ}$  정도로 한다.(Kim 등, 2004a)

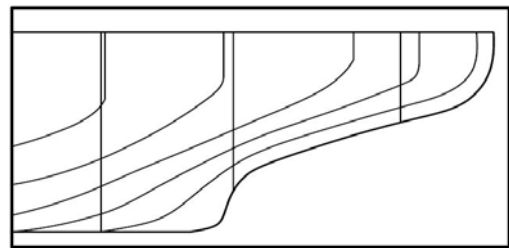


Fig. 2 Concave bow (White bow)

"Spoon Bow" 형태의 선수는 Fig. 3과 같이 선체와 ice의 접촉 면적을 작게 하여 자중이 한곳으로 집중하도록 설계한 것으로 "Concave Bow"보다 쇄빙능력이 좀 더 우수한 것으로 Kim 등(2006)에 의해 평가되었다. Kim 등(2006)의 결과에 의하면 "Spoon Bow"의 일반해역 성능은 "Concave Bow"선형 보다 열세이고, Pack ice의 성능은 비슷한 것으로 보고되었다. 또한 구상 선

수를 갖는 일반 선형과 비교할 경우 Pack Ice에서의 성능은 "Spoon Bow"가 월등하였다.

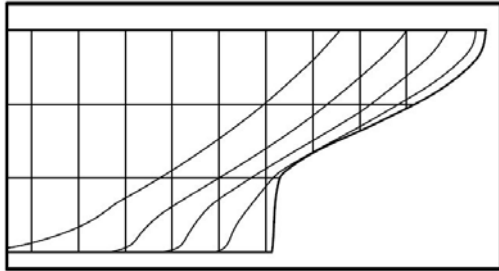


Fig. 3 Spoon bow shape

2.2 운항 시나리오의 영향

Fig. 4는 Barents Sea와 Kara Sea 주변을 나타낸 지도로 국내 조선소에서 성공적으로 건조하여 인도한 셔틀(shuttle) 탱커의 항로인 Murmansk-Varandey 항로를 Fig. 4의 우측 하단에 이중 실선으로 표시하였다.

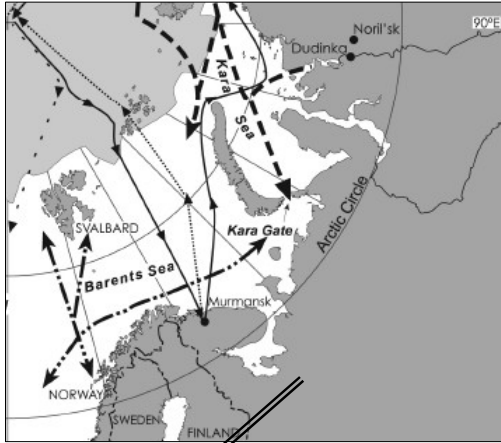


Fig. 4 Sample route of icebreaking vessel

이 항로는 최대 1.5m정도의 평탄빙이 분포되는 지역으로 RS(Russian Ice Rule) LU6를 만족하는 선형으로 설계되었다(Park 등 2008). Fig. 5는 Baffin Bay 주변을 보여주는 지도로 광물 운반선을 투입할 계획을 가지고 있는 BIM (Baffinland Iron Mines Corporation)의 항로로 예상되는 지역으로 일반적인 쇄빙선 선형과 DAS (Double Acting

System)를 적용하여 운항하는 선박에 대한 개념 설계와 모형 시험 결과를 소개한 바 있다 (Wilkman 등, 2008).



Fig. 5 Map of near Greenland



Fig. 6 Hull form of icebreaking vessel with low bulb (Compromised Bow)

순수하게 빙해역을 운항해야 하는 선박의 선수 선형은 "Concave Bow" 혹은 "Spoon Bow"를 적용해야 빙해역의 성능을 만족할 수 있다. 하지만 빙해역을 통과해야 하는 선형임에도 불구하고, 항로의 60% 이상이 일반해역이고, 평탄빙이 분포하는 기간이 1년에 몇 개월 정도밖에 되지 않는 운항 시나리오를 갖고 있는 선박의 경우에는 쇄빙 능력만을 고려한 선수 선형 보다는 일반해역의 성능을 충분히 고려한 Fig. 6와 같은 개념의 작은 벌브(Bulb)를 갖는 선수 선형을 제안한다.

이 선수 선행은 점선으로 표시된 설계흘수 주변에서는 빙 파괴(Ice Breaking)를 할 수 있는 형상을 가지면서도 작은 벌브를 가지고 있어서 일반해역에서의 성능을 개선시키기 위한 시도를 하였다. Fig. 6의 선행을 가지고 NRC-CNRC IOT (National Research Council of Canada, Institute of Ocean Technology, in St. Johns) 빙 수조 모형시험을 한 결과를 Fig. 7에 정리하였다. Fig. 7은 "Compromised Bow"의 3 노트(knots)에서 저항을 100으로 정하고 이에 대한 상대 비교 결과를 정리하였다. 상대적으로 "Compromised Bow"의 빙저항 값이 "Concave Bow" 보다 큰 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 8은 일반해역에서의 결과를 정리하였다. 이 결과는 역시 IOT의 빙해수조에서 수행한 결과로 "Compromised Bow"의 6 노트의 저항 값을 기준으로 하여 상대 비율을 백분율로 나타내었다. 이 결과에 의하면 "Compromised Bow"의 저항이 "Concave Bow"보다 상대적으로 작은 것을 알 수 있다. 아상의 결과에서 보면 운항 시나리오를 고려할 때 제안된 "Compromised Bow" 선행이 빙해역에서 성능의 열세를 일반해역에서 만회할 수 있는 것으로 결론지을 수 있다.

평탄빙과 일반해역의 비중을 모두 중요시하는 설계에 있어서는 DAS 선행을 고려할 수 있다. 하지만 DAS는 특허 소유권자와의 원만한 합의가 전제되어야 하기에 건조 및 계약에 추가적인 제약을 갖게 되고, POD추진기를 장착해야 하기 때문에 건조 비용 면에서 불리하게 작용할 수 있다.

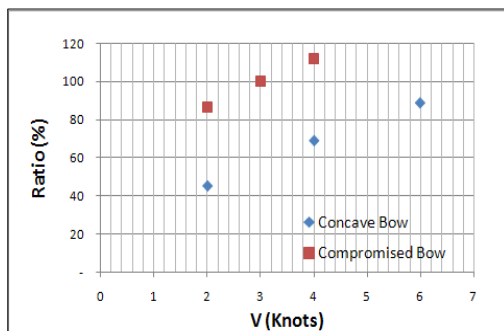


Fig. 7 Comparison of ice resistance between concave bow and compromised bow

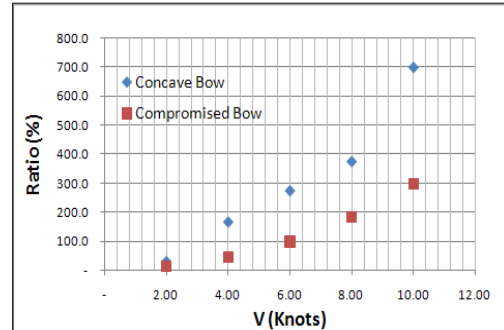


Fig. 8 Comparison of open sea resistance between concave bow and compromised bow

### 2.3 얼음의 종류에 따른 영향

Baltic 해를 운항하는 선박은 브래쉬 아이스 (Brash Ice) 혹은 브래쉬 아이스위에 갑작스런 기온 강하로 10cm 정도의 얼음이 언 경우 (Consolidated Brash Ice)를 운항하게 된다. 브래쉬 아이스는 팩 아이스(Pack Ice)와 유사한 얼음으로 빙제거력 (Clearing Force)을 고려한 선행 설계를 하고 구조적으로 설계 흘수 주위(Ice Belt)를 보강하면 된다. 브래쉬 아이스에서 운항 할 선박의 선수 선행은 약간의 선수 선행 수정을 통해 FMA 1A를 만족하면서 일반해역 속도 성능도 개선하는 선행을 설계한 바 있다(Kim 등, 2004). 하지만 응고된 브래쉬 아이스 (Consolidated Brash Ice)의 경우는 쇄빙 저항을 고려한 설계를 하여야 하고, 쇄빙 개념이 들어가야 하는데 구상 선수와 얼음의 상호 작용이 중요 변수가 된다. 구상선수가 쇄빙을 방해할 우려가 있어 이에 대비한 설계가 중요한 개념이 된다.

팩 아이스는 밀집도(Concentration) 70% 이하에서는 일반적으로 빙저항이 일반해역 저항보다 그다지 크지 않은 것으로 알려져 있다. 하지만 80% 이상에서 90% 이상이 되면 상당히 커지는 것으로 모형 시험 결과에서 알려져 있다(Kim 등, 2006). 팩 아이스에서 선수 선행 설계는 별도의 쇄빙 개념을 도입하지 않아도 되지만 빙저항을 개선하기 위해 선수부 끝단이 날씬한 만재흘수선(DLWL)의 설계가 요구된다. 이러한 개념은 물리적으로 판단

할 때 끝이 뾰족한 썩기 형태가 얼음을 잘 치워주기 때문이다.



Fig. 9 Rubble ice in ice tank

Fig. 9는 중첩 얼음(Rubble Ice)을 보여주고 있다. 중첩 얼음은 평탄빙이 팩 아이스 상태에서 평탄빙의 2배(20/10) 혹은 3배(30/10)의 두께로 중첩이 되어 있는 얼음 조건을 표현하는데 이러한 해역에서의 빙저항은 평탄빙에서의 빙저항보다도 크다. 중첩 얼음을 운항하는 선박은 밀집된 얼음의 파괴와 부력저항과 빙저항 저항이 모두 발생하여 선형설계는 쇄빙개념이 반드시 포함되어야 한다.



Fig. 10 Ice ridge in ice tank

Fig. 10은 모형 시험에서 사용되는 빙맥(ice Ridge)의 형상을 보여주고 있다. 빙맥은 Timco and Burden(1997)에 의해서 모형시험에 사용하는 방법이 정리되었다. Fig. 11은 그 기하학적 형상을 보여주고 있다. 빙맥은 평탄빙과 킬(Keel), 세일(Sail)등으로 구성되어 있고, 전체 두께가 20m를 넘기 때문에 있어 빙맥을 통과하기 위한 선형은 쇄빙개념이 포함되어야 한다.

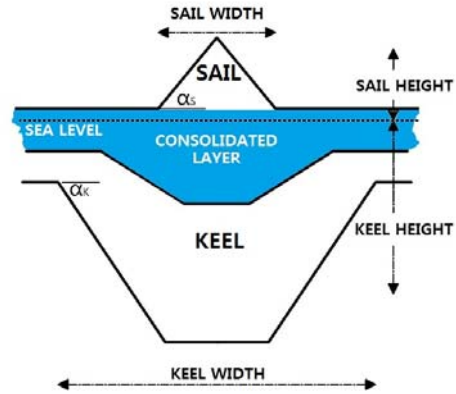


Fig. 11 Schematic diagram of ice ridge

빙맥을 통과하기 위한 마력은 중첩얼음에서의 저항보다 크기 때문에 선형 설계에서 빙맥을 통과하는 조건이라면 엔진 출력의 여유가 충분히 고려되어야 한다. 모형시험에서 성능을 검증하기 위한 모형 빙맥은 기하학적 상사와 강도에 대한 상사 조건을 만족하여야 하고 빙맥의 크기와 간격 등도 고려하여 만들어져야 한다(Timco and Burden, 1997).

2.4 추진 시스템의 영향

쇄빙 선박의 추진 시스템으로 디젤엔진에 고정 피치 프로펠러(FPP, Fixed Pitch Propeller)를 적용하면 추진기가 저속에서 높은 회전수로 작동해야 하기 때문에 성능 면에서 불리할 뿐 아니라 얼음과 프로펠러의 상호작용이 발생할 때 급격한 토크(torque)의 증가로 인한 엔진의 무리가 발생할 수 있다. 또한 빙해지역과 일반해역을 모두 다니도록 설계된 배의 경우에는 프로펠러 설계 조건이 빙해역과 일반해역에서 각각 다르기 때문에 두 조건 모두를 만족시킬 수 없게 된다. 따라서 고정 피치 프로펠러는 빙해지역 혹은 일반해역의 둘 중 하나의 조건에 프로펠러 설계 조건을 맞추어야 하는 단점이 있다. 또한 프로펠러 날개에 대한 보강으로 인해 성능저하가 불가피하게 된다. 하지만 가변피치 프로펠러(CPP, Controllable Pitch Propeller)를 쓸 경우에는 이러한 문제를 다소 해결할 수 있는데 빙해용과 일반해역용의 두 설계 조건을 피치(pitch)로 조율할 수 있게 된다.

쇄빙선박용 추진기는 전기 추진 시스템인 POD를 사용하는 경우가 많이 있다. 하지만 이 추진기는 가격적인 부담이 있고, 쇄빙용인 경우 최대용량에 제한이 있어 최고 용량 이상의 출력을 적용할 때 쌍축 혹은 다축으로 설계해야 한다. 또한 선미부에는 POD설치를 위한 마운트(Mount)를 선형 설계할 때 고려해 주어야 한다. POD를 설치하는 경우 DAS로 선형 설계를 하기도 한다. Baltic해의 빙등급(Ice class) 1AS를 적용 받는 경우와 일반해역의 운항이 상대적으로 많은 경우에는 선수 선형을 일반해역을 운항하는 목적으로 설계할 수 있어서 장점이 인정된다. 하지만 일반적인 쇄빙선은 선수 쇄빙이 많은데 이것은 선미의 협소한 공간에 쇄빙개념을 적용하는 DAS 보다는 선수 선형 설계의 적용이 상대적으로 쉽기 때문이다. 또한 운항 및 기관 장비의 안전, 선체 보강, 승선감 등의 관점에서 볼 때 DAS가 그다지 좋은 선택이 되지 못하기 때문이다.

### 2.5 흘수의 영향

빙해 선박은 운항 항로의 제한으로 상대적으로 작은 흘수에서 설계되는 경우가 있다. 선박의 폭이 넓으면서 흘수가 작게 되면 쇄빙된 얼음이 선저나 선미의 프로펠러로 유입될 가능성이 크게 된다. 일반적으로 쇄빙이 되는 구간은 식 (1)과 같이 배 폭에 ice 두께의 2배 정도를 더한 정도가 된다.

$$B_{\text{breaking}} = B + 2h \quad (1)$$

여기서, B : 선폭,

h : ice thickness

$B_{\text{breaking}}$  : 쇄빙 구간의 폭

하지만 흘수가 배 폭의 반보다 작게 되면 깨어진 얼음의 양이 많아서 선저로 들어갈 확률이 높아진다. 선형에 의해서 이를 다소 조절 할 수는 있으나 선박의 속도가 커지면 선저의 유입과 프로펠러와의 상호 작용을 줄이기는 쉽지 않다.

일반해역과 빙해역을 모두 운항하는 선박의 흘수 문제는 설계흘수와 경하상태의 흘수가 많은 차이가 있을 때 선형 설계가 상당히 어려운 문제에

봉착하게 된다. 설계흘수에서 빙해성과 일반성을 만족했다 하더라도 경하 상태에서 빙해성을 만족하기 위해서는 작은 흘수 때문에 기하학적인 선수 선형의 형상이 충분히 빙제거를 하기 어렵다. 이 경우 선저로 가는 얼음의 영향으로 추진 효율이 상당히 떨어질 수밖에 없게 된다. 이러한 어려움을 피하기 위해 경하상태와 만재상태의 흘수를 하나로 가져가는 시도도 하나의 대안이 될 수 있으나 화물의 비중에 따라 밸러스트 탱크(Ballast Tank)의 용량을 상당히 키워야 하는 설계 제약을 받을 수 있다.

### 3. 결론

본 연구에서는 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 쇄빙 선수 선형의 설계에서는 항로의 운항 시나리오가 우선적으로 고려되어야 하고 빙해역의 운항 비율이 그다지 크지 않을 때 적용할 수 있는 "Compromised Bow" 선수 선형을 제안하였다.

(2) 평탄빙의 두께, 중첩얼음의 중첩도, 팩 아이스(Pack ice)의 밀집도, 브래쉬 아이스(Brash ice)의 빙 등급, 빙맥이 고려된 선수 선형 설계에 대한 방향을 정리하였다.

(3) 쇄빙선에 설치되는 고정피치 프로펠러와 가변피치 프로펠러의 장단점을 정리하였으며 DAS선형의 장단점도 정리하였다.

(4) 쇄빙선 설계에 흘수의 영향을 정리하였으며 경하상태와 만재 상태의 흘수를 하나로 가지고 가는 쇄빙 선수 선형에 대해 제안하였다.

### 후 기

이 논문은 지식경제부 산업원천기술개발사업인 "빙해선박의 극지항로 안전운항기술 및 극저온 빙 성능 시험평가 기법 개발" 중 "빙해선박 선체구조 안정성 평가 기술 (과제번호 10033640)" 과제의 연구비 지원으로 수행된 결과입니다.

## 참 고 문 헌

- Corlett, E.C.B., Snaith, G.R., 1964, "Some aspects of Icebreaker design," The Royal Institution of Naval Architects, Vol. 106 No. 4, pp. 389-413.
- Edward, R.Y., Major, R.A., Kim, J.K., J.G., German, J.W., Lewis, Miller, D.R., 1976, "Influence of Major Characteristics of Icebreaker Hulls on Their Powering Requirements and Maneuverability in Ice," Transactions of SNAME, Vol. 84, pp. 364-407.
- Kim, H.S., Ha, M.K., F.M. Williams, D. Molyneux, Chun, H.H., 2004a, "Speed-power performance of 95,000 DWT Arctic tanker design," JOMAE (Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering Transactions of ASME) Vol. 127, pp. 135-140.
- Kim, H.S., Ha, M.K., Baek, M.C., Kim, S.Y., Park, J.W., Chun, H.H., 2004b, "Development of 115K Tanker Design adopted Ice class 1A," Journal of the society of Naval Architects of Korea, Vol. 41 No. 6, pp. 120-125, 2004. 12.
- Kim, H.S., Ha, M.K., Ahn, D., Chun, H.H., 2006, "Comparison study on the resistance Characteristics of an Arctic Tanker and a General Tanker," Journal of the society of Naval Architects of Korea, Vol. 43 No. 1, pp. 43-49.
- Lewis, J.W., Edward, R.Y., 1970, "Method for predicting Icebreaking and Ice Resistance Characteristics of Icebreakers," Transactions of SNAME, Vol. 78, pp. 213-249.
- Park, H.G., Lee, Y.C., Ahn, S.M., Hwanbo, S. M., Jung, H.C., Lee, J.H., 2008, "A study on Bow Hull form Design and Propulsion Type for Ice breaking Vessel with the balance of Open and Ice performance," ICETECH 2008, No. ICETECH08-108-RF.
- Timco, G.W., Burden, R.P., 1997, "An analysis of the shapes of sea ice ridge," Cold regions science and technology 25, pp. 65-77.
- Wilkman, G., Arpiainen, M., Kiili, R., T., Mattsson, 2008, "Icebreaking Ore Carrier Project for Baffinland Iron Mines Corporation," ICETECH 2008, No. ICETECH08-112-RF.
- Yamaguchi, H., Suzuki, Y., Uemura, O., Kato, H. and Izumiyama, K., 1997, "Influence of Bow shape on Ice breaking Resistance in Low Speed Range," Proc. Of the 16th OMAE conference Vol. IV, pp. 51-61.



< 김 현 수 > < 이 춘 주 >