

빙마찰계수에 따른 쇄빙탱커의 빙저항 변화

조성락^{1,†} · 이승수² · 이용철³ · 염종길¹ · 장진호¹
한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소¹
충북대학교 토목공학부²
삼성중공업 조선해양연구소³

Change of Ice Resistance of Ice-Breaking Tanker According to Frictional Coefficient

Seong-Rak Cho^{1,†} · Sungsu Lee² · Yong-Chul Lee³ · Jong-Gil Yum¹ · Jinho Jang¹
Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, KIOST¹
School of Civil Engineering, Chungbuk National University²
Ship and Offshore Research Institute, Samsung Heavy Industries Co., Ltd.³

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

This study describes the model tests in ice according to the frictional coefficient of an ice-breaking ship and the change in ice resistance by the analysis method for each component of ice resistances. The target vessel is a 90K DWT ice-breaking tanker capable of operating in ARC7 ice conditions in the Arctic Ocean, and twin POD propellers are fitted. The hull was specially painted with four different frictional coefficients on the same ship model. The total ice resistance can be separated by ice breaking, ice buoyancy, ice clearing resistances through the tests in level ice, pre-sawn ice and creep test in pre-sawn ice under sea ice thickness of 1.2 m and 1.7 m. Ice resistance was analyzed by correcting the thickness and bending strength of model ice by the ITTC correction method. As the frictional coefficient between the hull and ice increases, ice buoyancy and clearing resistances increase significantly. When the surface of the hull is rough, it is considered that the broken ice pieces do not slip easily to the side, resulting in an increase in ice buoyancy resistance. Also, the frictional coefficient was found to have a great influence on the ice clearing resistance as the ice thickness became thicker.

Keywords : Ice buoyancy resistance(빙부력 저항), Ice clearing resistance(빙제거 저항), Frictional coefficient(마찰계수), Surface roughness(표면 거칠기)

1. 서론

최근 러시아 북극해 Valendei oil field의 70k DWT 쇄빙탱커, Yamal 반도 Novy항의 42k DWT 쇄빙탱커, Yamal 반도 Sabetta항의 172k CBM LNGC 등 대형 쇄빙상선들이 건조되어 활발하게 운항되고 있다. 1970년대 이후 쇄빙선 선형 관련 많은 연구 (Kashteljan et al., 1968; Vance, 1975; Cho & Lee, 2015)를 기반으로 대형 쇄빙상선의 쇄빙선형 및 전기추진 방식 포드(POD)형 추진기 체계가 확립되어 가고 있다. 또한 빙충격에 대한 구조계산 (Daidola & Sheinberg, 1989) 및 극저온에서 기자재 방한성능 확보를 위한 다양한 소규모 연구 (ABS, 2006)를 통해 기술 발전이 진행되고 있다.

쇄빙선이 얼음을 깨고 앞으로 전진할 때, 초기에는 선박 선수부와 얼음이 접촉하여 얼음이 깨지기 전까지 선체에 큰 저항이 발생하다가 얼음의 굽힘파괴강도를 넘어서면 얼음이 깨지게 된다. 깨어진 얼음은 상대적으로 큰 쇄빙선 선수부 하부 위치에 머물러 부력저항을 발생시키게 되고, 선수부 하부에서 선측으로 빠져나온 얼음은 초기 쇄빙시 수면 근처에 있던 얼음과 상호작용을 하면서 선체 측면에 마찰저항을 발생시키게 된다. 이러한 쇄빙 메커니즘이 연속적으로 일어나면서 쇄빙선은 전진한다.

빙해역을 운항하는 선박에서 마찰저항과 도료의 중요성은 1970년대 초반부터 인지하기 시작했다 (Sodhi, 1995). 일반 방오(anti-fouling) 도료로 도장된 선박이 빙해역을 1~2일 정도 운항만으로 모든 도료가 손실되는 것으로 알려져 있다 (Mäkinen et al., 1994). 또한 선체 부식으로 인하여 거칠기가

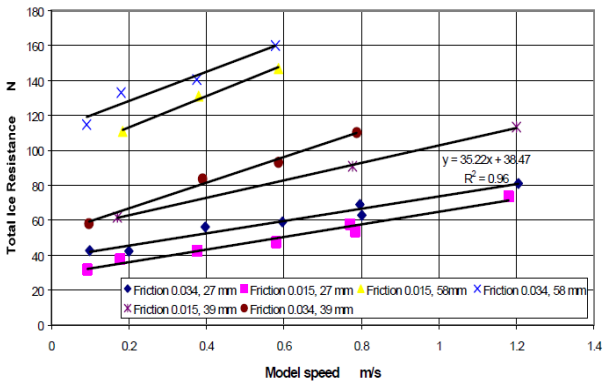


Fig. 1 The variation of ice resistance according to the frictional coefficient (Jones, 2005)

증가하고 결국 큰 빙저항이 발생한다는 결과도 보고된다 (Mäkinen et al., 1975). 이러한 빙마찰저항의 영향을 찾기 위해 대부분 빙해수조에서 마찰계수를 변화하면서 모형시험을 수행했을 것으로 판단되지만, 각 빙해수조의 독자적인 해석방법으로 인하여 상세 데이터를 확보하기는 매우 어렵다.

캐나다 NRC/OCRE(National Research Council/Ocean Coast River Engineering) 빙해수조에서는 다양한 모형선(CCGS R-Class icebreaker, CCGS Terry-Fox, CCGS Louis St. Laurent, USCGC Healy)에 마찰계수를 변화하여 모형시험을 수행한 것으로 보고되고 있으나 (Lau and Wang, 2012), 대부분 공개되지 않고 있다. 다만, Jones (2005)는 USCGC Healy 모형선($\lambda=23.7$)을 이용하여 마찰계수(0.014, 0.034)를 달리하여 모형시험을 수행하였으며, 마찰계수가 2배 정도 증가하였을 때, 총 빙저항은 약 15% 정도 증가하였다고 보고하고 있다(Fig. 1).

캐나다 NRC/OCRE에서 수행된 상기의 선박들은 대부분 선박 길이 100 m 내외의 중형급 쇄빙선이며, 20~30년 지난 쇄빙선형을 가지고 있기 때문에 최근 대형 쇄빙상선에 적용하기가 매우 어렵다. 또한 ITTC(International Towing Tank Conference)에서는 마찰계수 보정을 위한 식을 권장하고 있지만 (ITTC, 2002), 이 역시 상기의 중형급 해안경비정 또는 연구선 데이터를 기반으로 제안된 것이다.

이에 본 연구에서는 최신 선형의 대형 쇄빙상선 모형을 이용하여 마찰계수를 4가지(0.001, 0.05, 0.1, 0.2)로 변화하여 도장하고, 해빙 1.2 m(모형빙 30.0 mm)와 1.7 m(모형빙 42.5 mm)에서 빙저항 성분분리법에 의해 모형시험을 수행하였다. 모형빙의 두께와 굽힘강도의 차이는 ITTC 보정법 (ITTC, 1996)에 의해 보정되어 빙저항을 산정하였다. 빙부력저항과 빙마찰저항에 대한 실험 결과를 통하여 빙마찰계수에 따른 빙저항 영향 메커니즘을 분석하고자 한다.

2. 모형선 마찰계수 조절법

KRISO 빙해수조에서는 모형선 제작 시에, 모형선과 동일한 나무로, 길이 4 m, 폭 0.4 m, 두께 4 cm 크기로 마찰시험 시편

을 제작하고 있으며, 모형선 도장 시에도 바로 옆에서 동일하게 마찰시험 시편을 도장하여 모형선을 이용한 본 실험 전에 마찰계수를 검증하는 절차를 가지고 있다.

빙해선박용 모형선의 도장방법은 KRISO 빙해수조에서 독자적으로 개발하였으며 (Cho et al., 2011b), KRISO 표준 모형선 도장기법에 매팅 파우더(matting powder, MgSi)의 함량을 조절하여 표면 거칠기를 조절하게 된다. 자세하게는 유광 투명 래커(lacquer), 희석제(thinner) 및 마그네슘 실리케이트(magnesium silicate, MgSi)의 성분비에 따라 도장이 완료되고 건조 시에 MgSi 입자가 표면에 녹으면서 흡착되어 그 성분비에 따라 다른 표면 특성을 나타내게 된다. 결과적으로 도장면은 표면거칠기가 달라지게 되고, MgSi의 함량에 따라 얼음과의 마찰계수도 달라지게 된다.

모형선과 마찰시험 시편과의 마찰계수 측정은 KRISO 표준 마찰시험 절차에 따라 이루어진다 (Cho et al., 2011a). 우선, 마찰시험 시편의 거칠기를 측정하고 시편 위에 모형빙을 잘라 올려 놓는다. 모형빙 위에 단열용 고무판과 무게추(약 10 kg)를 순서대로 쌓은 상태에서 수평방향으로 시편을 좌우 방향으로 3회 왕복시킨다. 시편과 모형얼음 사이의 마찰력을 실시간으로 계측하고, 시편이 정속 구간에서 움직였을 때의 마찰력만 뽑아내어 평균처리한다. 평균처리된 마찰력을 무게추, 모형빙 무게, 고무패드 무게 합으로 나누어 최종 마찰계수를 산정하게 된다.

Fig. 2는 MgSi의 성분비에 따른 마찰계수의 변화를 나타내고 있으며 (Cho et al., 2011b), MgSi의 양이 0 g에서 6 g까지는 선형적으로 마찰계수가 증가함을 확인할 수 있다. 또한, 그 이상의 함량에서는 마찰계수 0.25~0.35까지 다른 기울기를 가지고 증가함을 알 수 있다. 또한 얼음의 강도 변화(템퍼링 10시간, 16시간)에 대해서도 6 g 범위에서는 큰 영향이 없음을 확인할 수 있었다. 선체 부식이 많이 진행된 경우 마찰계수가 0.3 정도로 보고되고 있기 때문에 (Mäkinen et al., 1975), 본 연구에서는 마찰계수 0.2, 0.001, 0.05, 0.1 순으로 마찰계수를 조절하면서 마찰시험 시편과 모형선을 이용한 연구를 수행하였다.

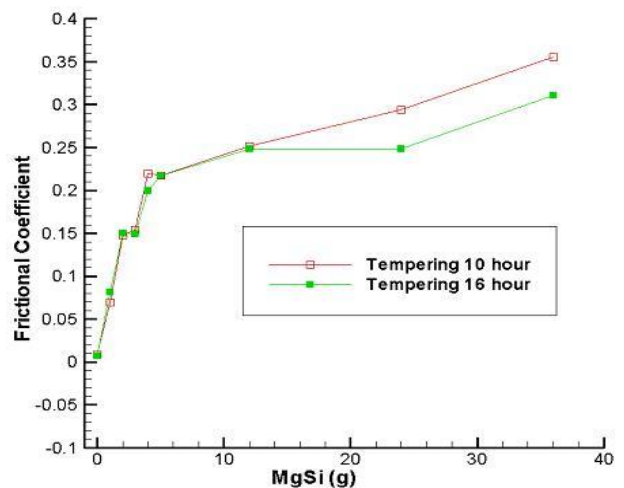


Fig. 2 The variation of frictional coefficient with amount of MgSi component

3. 실험장치

3.2 KRISO 모형빙

3.1 KRISO 빙해수조

KRISO 빙해수조는 국내 유일의 극지운항 선박 및 해양구조물의 빙성능을 시험할 수 있는 시설로, 2009년 말 완공되어 관련 시험법 개발 및 다양한 빙모형시험을 진행하고 있다. 특히, 해외의 주요 빙해수조는 선박의 저항·추진 성능을 위해 수조 폭보다 수조 길이가 긴 장수조 형태를 가지고 있으나, KRISO 빙해수조는 4각형 형태로 선박의 조종성능 및 해양구조물 시험을 용이하게 수행할 수 있도록 설계·제작되었다. KRISO 빙해수조의 주요 제원은 Table 1과 같다.

KRISO 빙해수조는 4각형 형태이기 때문에 선박의 저항·추진 시험에서는 Fig. 3과 같이 폭방향으로 이동하면서 시험횡수를 확보하고 있다. 즉, 깨어진 얼음 채널과 채널 사이를 나무 고정핀(staples)을 이용하여 구속시켜 준다. 본 연구에서도 모형빙 한 판에서 총 6개의 시험채널을 확보할 수 있었으며, 4개의 평탄빙 채널과 2개의 프리손빙 채널을 준비할 수 있었다. 결과적으로 빙저항 성분분리기법으로 다양한 선속에서 시험을 수행하고 데이터를 확보하였다.

Table 1 Principal specification of KRISO ice model basin

Item	Specification
Tank size	42 m × 32 m × 2.5 m
Usable ice sheet	32 m(L) × 32 m(B) × 0.15 m(T) 6 ice test channels
Main carriage	0.0002~3.0 m/s in x-direction
	0.02~2.0 m/s in y-direction
Service carriage	0.02~0.5 m/s in x-direction
Refrigerator	-30 ~ 15 °C
No. of test run	6 runs per an ice sheet



Fig. 3 Photo of KRISO ice model basin

KRISO 빙해수조는 2009년 말에 시설이 완공되고, 당시 캐나다 IOT(Institute for Ocean Technology) 빙해수조에서 사용중인 기동형 EG/AD/S(Ethylene Glycol/Aliphatic Detergent/Sugar) 모형빙을 개량한 기동형 EG/AD 모형빙 준비기술을 확보하여 현재까지 모형빙으로 사용하고 있다 (Cho et al., 2013). 약 10년 동안 빙모형시험 상사법칙을 따르고 균일한 물성치를 가지는 모형빙을 개발하기 위하여 냉풍 가이드판 제어, 냉동기 위치별 풍량 제어, 마이크로 버블 생성장치 개선 등 지속적인 시험 기술 개발을 진행하고 있으며, 본 연구에서는 매우 균일하고 목표 물성치에 근접한 상태로 모형빙이 준비되어 시험을 수행하였다.

가장 중요한 물성치인 빙두께의 경우, 숙련된 작업자가 전자식 버니어 캘리퍼스(Vernier Calipers)를 이용하여 빙판 생성 전 구역에서 오차 2% 이내(1 mm 이내)로 생성된 것을 계측하였다. 빙판의 굽힘 강도는 평탄빙 시험이 이루어진 채널 부근에서 모형시험 직후 계측하였으며, 목표 굽힘강도(20 kPa 또는 40 kPa)에서 3 kPa 이내로 계측되었다. 이는 그동안 다량의 빙모형시험 경험을 통해 냉동기를 정지한 후 빙두께와 굽힘강도의 변화 데이터베이스를 확인하고 빙모형시험 수행 시간을 결정할 수 있는 데이터와 노하우를 확보했음을 말한다. 또한 자체개발한 빙밀도 측정장치와 탄성계수 측정장치를 통해 지속적인 모형빙의 물성치를 계측하고 모니터링하고 있다.

본 연구에서는 총 8판의 모형빙을 생성하여 빙저항시험을 수행하였으며, 4개의 다른 마찰계수별로 30.0 mm(실해역 1.2 m)와 42.5 mm(실해역 1.7 m)의 다른 빙두께에서 모형시험을 수행하였다. 빙두께 및 빙굽힘강도는 목표 물성치에서 크게 벗어나지 않았으나, ITTC 보정방법에 의해 보정되어 빙저항을 산정하였다 (ITTC, 1996).

3.3 쇄빙탱커 모형선

본 연구에서 사용한 선박은 삼성중공업-선박해양플랜트연구소 쇄빙탱커 빙성능 공동연구 일환으로 설계된 북극해 운항 가능한 90K DWT 쇄빙탱커이다(Fig. 4). 선박의 전체길이는 약 208 m, 선폭은 36 m, 설계흘수는 15.5 m이다. 선수각은 20°이며, Open sea에서도 우수한 유체성능을 가질 수 있는 Straight bow 형태를 가지고 있다. 선미는 중앙에 1개의 Skeg가 위치하고 있으며, Twin POD 추진기가 장착되는 2개의 Headbox가 위치하고 있다. 본 쇄빙탱커는 북극해 1.7 m 평탄빙에서 3 knot로 연속쇄빙이 가능하도록 설계되었으며, 주요 제원은 Table 2와 같다.

모형선은 축척비(λ) 40으로 축소 제작하였으며, 재질은 나무로 제작하고 2장에서 논의된 마찰계수 조절방법으로 총 4차례 마찰계수에 변화를 주어 도장을 실시하였다. 얼음의 파괴 및 선체와의 상호작용을 영상으로 파악하기 위하여 붉은색 계열로 도장하고 완전 건조하여 모형시험을 수행하였다.



Fig. 4 Side and bottom views of 90K DWT icebreaking tanker

Table 2 Main particulars of 90K DWT icebreaking tanker

Item	Unit	Dimension	Remarks
LOA	m	Approx. 280	
LBP	m	258	
B	m	36	
T	m	15.5	
Propulsion type	-	Twin POD	
Normal propulsion power	MW	9 × 2EA	
Speed	Open sea	knots	15
	Ice	knots	3
Ice capability	-	RS Arc 7	1.7 m level ice

3.4 실험 방법

본 연구에서 동일한 모형선(단, 마찰계수 4회 변화)을 이용하여 Table 3과 같이 빙저항시험 수행하였다. 모형선은 headbox만 가공되고, 프로펠러는 부착을 하지 않은 barehull 상태에서 시험을 수행하였다. 선수에인장치와 저항동력계를 사용하여 모형선 앞에서 모형선을 예인하면서 저항을 측정하였으며, 이때 모형선의 sway는 구속상태로 시험이 진행되었다(Fig. 5). 저항동력계는 각 채널에서 시험 직전 매번 제로(zero)값을 설정하여 데이터 측정을 수행하였다.

얼음의 강도와 관련이 없는 pre-sawn ice 조건에서 쇄빙저항 성분을 추출하기 위하여 먼저 모형시험을 수행하였다. Pre-sawn ice 조건은 ITTC 권장에 따라 깨어진 빙편 길이를 약 200 mm, 각도는 45 ° 정도로 생성되었다. 부력저항과 빙저항을 분리하기 위하여 pre-sawn ice 조건에서 매우 낮은 저속(0.02 m/s)으로 creep test를 진행하였다. 그동안 모형시험 경험을 통하여 pre-sawn ice 조건에서는 한 채널에서 2개의 속도(1 & 4 knots, 2 & 3 knots)를 시험하였으며, 저항값의 경향이 변하지 않음을 확인하였다.

Pre-sawn ice 시험 후 목표 빙 굽힘강도에 도달했을 것으로 추정되는 시간에 평탄빙에서 저항시험을 수행하였다. 평탄빙 시험을 수행한 직후 바로 채널 부근에서 모형빙의 두께와 굽힘강도를 측정하여 보정데이터로 사용하였다. 오픈워터 저항은 마찰계수 0.2로 도장된 상태에서 1회만 빙해수조에서 수행하였다.



Fig. 5 Bow towing test in level ice

Table 3 Test matrix

Test No.	Model ship (fric. coeff.)	Model ice (thickness)	Test items
1	0.2	30.0 mm	• Resistance in level ice
2	0.2	42.5 mm	
3	0.001	42.5 mm	• Resistance in pre-sawn ice
4	0.001	30.0 mm	
5	0.05	30.0 mm	• Resistance at creep speed in pre-sawn ice
6	0.05	42.5 mm	
7	0.1	42.5 mm	* Resistance in open-water (done only when $\mu=0.2$)
8	0.1	30.0 mm	

저항값 측정은 예인전차가 정속으로 작동할 때만 샘플링하여 평균처리하였으며, 비록 예인전차가 정속구간이라하더라도 저항값에 큰 변화가 발생한 구간은 평균에 포함시키지 않았다. 특히, 평탄빙 저항시험에서 간혹 구속된 얼음 채널이 깨진 경우, 평균처리하지 않았다.

4. 실험 결과

본 연구에서 90K DWT 쇄빙 탱커를 이용한 빙모형시험 결과를 정리하였다. 모든 데이터는 모형크기로 나타내었으며, 30.0 mm, 42.5 mm 결과의 원활한 비교를 위하여 총 빙저항의 경우 최대값을 100 N, 나머지 성분별 저항은 최대값 50 N으로 설정하여 그래프를 도시하였다. 한 개의 빙판 두께에서 실제 시험은 4개의 속도에서 수행되었으며, 1 knot(0.081 m/s) 또는 5 knot(0.407 m/s)의 경우, 나머지 4개의 선형 extrapolation을 통해 산정하여 도시하였다. 5개의 속도에서의 저항값을 바탕으로 1차 선형으로 추세선을 나타내었다.

Fig. 6과 7은 각각 30.0 mm와 42.5 mm에서의 측정된 총 빙저항값을 나타낸 것이다. 전체적으로 마찰계수 μ 가 증가함에 따라 총 빙저항값이 증가하는 경향을 보이고 있다. 30.0 mm 얼음 두께에서는 마찰계수가 작을 때 명확한 효과를 보여주지는 못하고 있으나, 마찰계수 0.2일 때는 아주 크게 저항이 증가함을

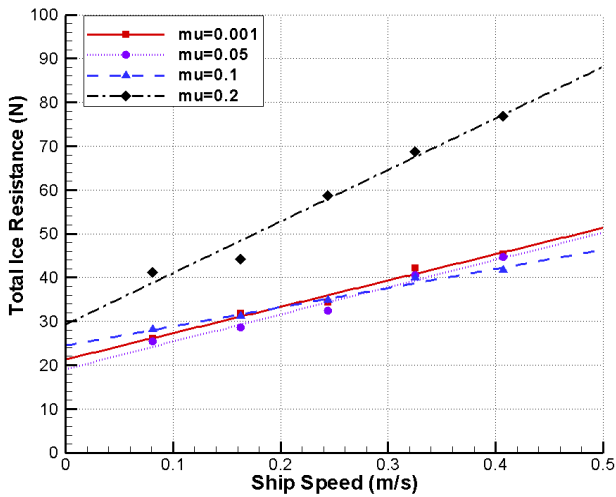


Fig. 6 Total ice resistance with an ice sheet of 30.0 mm thickness

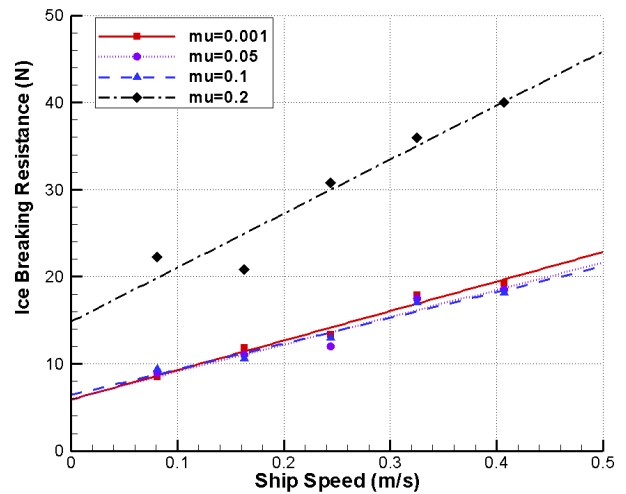


Fig. 8 Ice breaking resistance with an ice sheet of 30.0 mm thickness

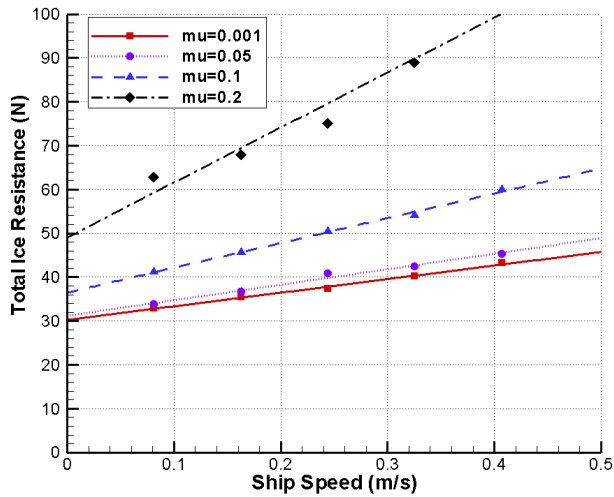


Fig. 7 Total ice resistance with an ice sheet of 42.5 mm thickness

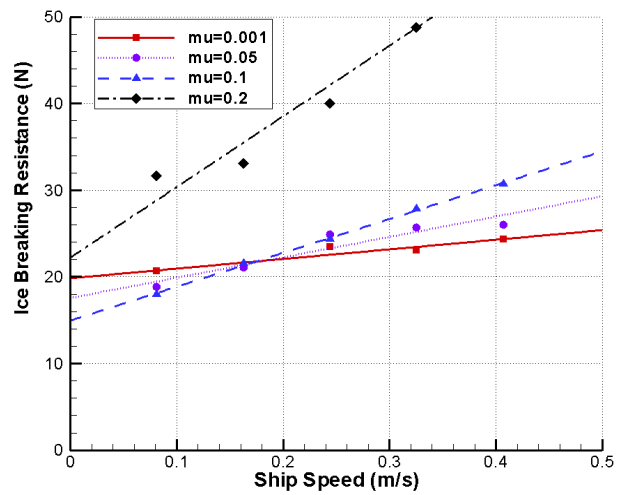


Fig. 9 Ice breaking resistance with an ice sheet of 42.5 mm thickness

확인할 수 있었다. 즉, 마찰계수 0.1과 비교하여 약 40% 정도 증가함을 확인할 수 있다. 빙두께가 얇고 선체 마찰계수가 작을 경우, 마찰계수 변화 영향이 크게 나타나지 않아 일정한 경향을 찾기 어려웠다.

Fig. 7과 같이 42.5 mm 얼음에서는 마찰계수 증가에 따른 저항의 변화를 명확하게 확인할 수 있다. 저마찰 구간에서는 그 영향이 크지 않지만 점점 큰 마찰계수로 갈수록 그 효과가 커짐을 확인할 수 있었다. Jones (2005)의 연구결과(마찰계수 0.014~0.034범위에서 마찰계수 2배 증가 시 15% 저항 증가)와 비교하여 일부 타당성을 확인할 수 있지만, 마찰계수가 커짐에 따라 총저항에 마찰계수가 더 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

Fig. 8과 9는 각각 30.0 mm와 42.5 mm에서의 예측된 쇄빙 저항값을 나타낸 것이다. 마찬가지로 마찰계수 μ 와 선속이 증가함에 따라 쇄빙저항이 증가하는 경향을 보이고 있으며, 특히 마찰계수가 클 때 두드러지게 쇄빙저항이 커짐을 확인할 수 있다.

30.0 mm 얼음 두께에서 마찰계수가 작은 3가지 경우 거의 비슷한 범위에서 쇄빙저항이 발생하는 것으로 산정되었다.

Fig. 9의 얼음 두께 42.5 mm에서 쇄빙저항은 얼음 두께 30.0 mm보다 더 큰 쇄빙저항이 발생하는 것을 확인하였으며, 저마찰, 저속 구간에서는 약간의 불명확성이 있지만 전체적으로 마찰계수에 따른 쇄빙저항이 연관성이 있음을 확인할 수 있었다. 정확한 인과관계는 파악할 수 없었다.

Fig. 10과 11은 각각 30.0 mm와 42.5 mm에서의 예측된 부력저항값을 나타낸 것이다. 선속에 영향이 없기 때문에 전속도 영역에서 일정한 값을 가지는 것으로 나타나고 있다. 동일한 모형선에 마찰계수만 다르게 도장하여 시험하였기 때문에, 다른 영향요소들은 배제되어 해석되었다. 얼음 두께 30.0 mm보다는 얼음두께 42.5 mm에서 그 영향이 뚜렷하게 나타나고 있으며, 또한 42.5 mm에서 약 30% 정도 부력저항이 증가한 것을 확인하였다. 이는 얼음의 두께가 두꺼워질수록 선박에 더 큰 부력을 미치고 부력저항성분으로 작용함을 알 수 있다.

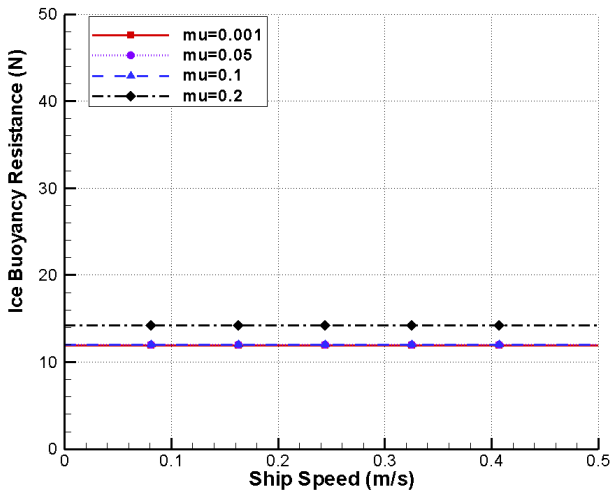


Fig. 10 Ice buoyancy resistance with an ice sheet of 30.0 mm thickness

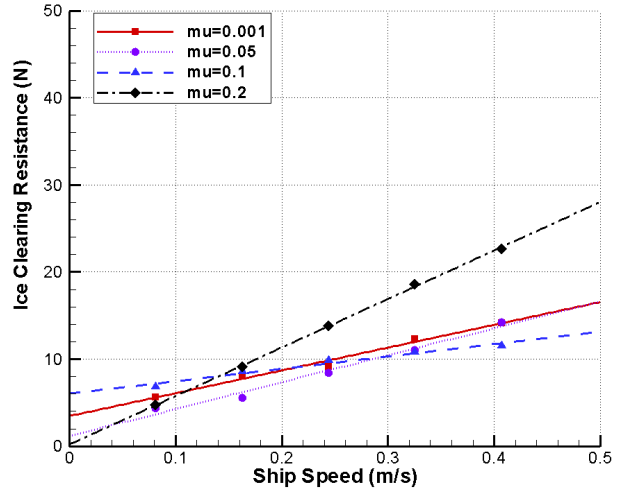


Fig. 12 Ice clearing resistance with an ice sheet of 30.0 mm thickness

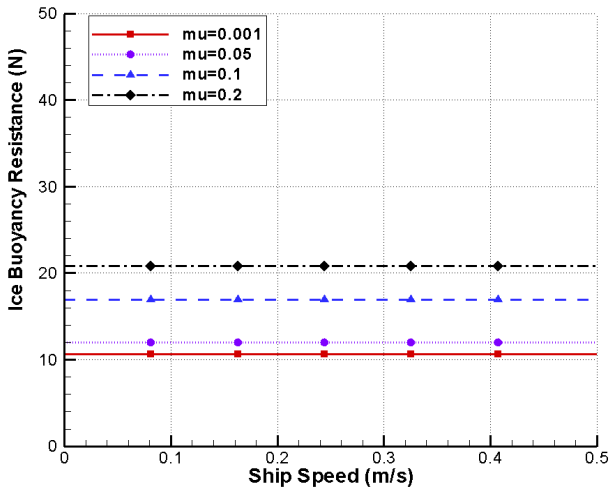


Fig. 11 Ice buoyancy resistance with an ice sheet of 42.5 mm thickness

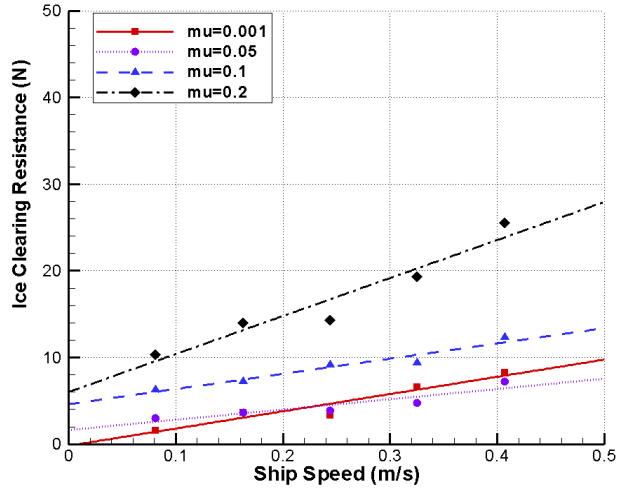


Fig. 13 Ice clearing resistance with an ice sheet of 42.5 mm thickness

Fig. 11에서는 마찰계수가 증가함에 따라 부력저항이 점점 커지는 현상을 명확하게 확인할 수 있다. 선박이 얼음을 깨고 난 후 깨어진 빙편이 선수 하부 또는 선저로 진입하게 되어 부력저항을 발생시키다가 선체 주위의 유동과 선형에 의해 선측으로 깨어진 빙편이 탈출하게 된다. 하지만, 마찰계수가 클수록 선측으로 쉽게 빠져나오기가 어려워 그만큼 부력저항이 커지는 것으로 추정된다. 이는 깨어진 빙편이 선측으로 이동하면서 발생하는 빙제거저항으로 해석될 여지도 있으나, 결과적으로는 선수부 하부에서 선박에 부력의 효과를 발생하고, 현재의 시험기법에서는 추가로 분리하는 기술이 정립되지 않았기에 본 연구에서는 빙부력저항으로 고려하여 해석되었다. 그동안 마찰계수와 부력저항성분과의 상관연구는 거의 보고되고 있지 않으며, 추후 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 12와 13은 각각 30.0 mm와 42.5 mm에서의 계측된 빙제거저항값을 나타낸 것이다. 얼음 두께 30.0 mm보다는 얼음 두께 42.5 mm에서, 마찰계수가 증가할수록, 선속이 증가할수록

빙제거저항이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 깨어진 빙편이 선측을 따라가면서 마찰을 발생시키기 때문에 선체와의 마찰계수에 따라 그 값이 영향을 받기 때문이다.

5. 결론

본 연구는 대형 쇄빙탱커 선형을 이용하여 마찰계수를 변화하면서 각 성분별 빙저항의 변화를 계측하고 분석하였다. 마찰계수가 증가하면 당연히 전체 빙저항이 증가하고, 각 성분별 저항인 쇄빙저항, 빙부력저항, 빙제거저항 모두 증가하는 경향을 보이는 것으로 조사되었다. 쇄빙저항의 경우 정확한 인과관계는 파악하지 못했지만, 마찰계수가 증가할수록 커지는 경향을 보였으며, 부력저항의 경우, 마찰계수가 증가할수록 깨어진 빙편이 선수부에서 쉽게 빠져나오지 못해 실질적으로 선박에 부력효과를 더욱 많이 발생시켜 부력저항이 커지는 것으로 추정된다.

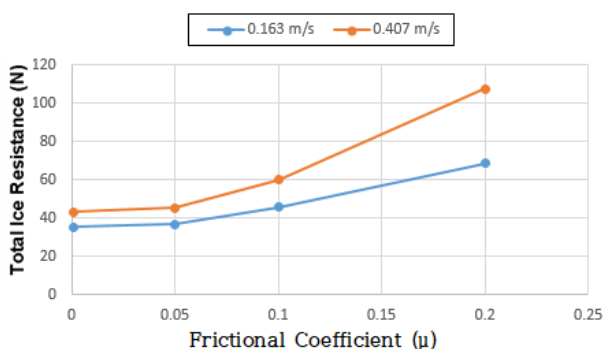


Fig. 14 Total Ice resistance according to change of frictional coefficients with an ice sheet of 42.5 mm thickness

또한 빙제거저항의 경우, 직접적으로 마찰계수에 따라 선측면과의 마찰저항이 커지기 때문에 빙제거저항도 커지는 것으로 예측되었다.

기존 마찰계수 보정법은 중형급 쇄빙선을 대상으로 한 데이터를 이용하였으며, 마찰계수를 단순히 선형으로 보정하고 있다. 하지만 본 연구에서는 대형 쇄빙상선을 이용하여 모형시험을 수행하였으며, 마찰계수 보정을 비선형으로 보정해야 할 만큼 그 효과가 매우 크다는 것을 처음으로 예측하여 조사하였다 (Fig. 14). 추후 마찰계수에 따른 다양한 효과들에 대해 보다 체계적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소 주요 과제인 “쇄빙선박 빙성능 시험평가 기술 개발(PES3420)”과 “선박의 빙해역 저항성능 고도화 및 위치유지성능 시험평가 기반 구축(PES9451)”의 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

ABS, 2006. Rules for building and classing: Steel vessels for service on rivers and intracoastal waterways 2007.

Cho, S. et al., 2011a. The measuring methodology of friction coefficient between ice and ship hull. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 47(6), pp.363–367.

Cho, S., Joeng, S, Ha, J. & Kang, K., 2013. An experimental study on generation and measurement method of EG/AD model ice at cold room for improvement of its properties. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 50(6), pp.421–427.

Cho, S., Lee, C. & Jeong, S., 2011b. Paint for the Control of Frictional Coefficient for Model Ship. Rep. of Korea Patent 10–1240777.

Cho, S. & Lee, S., 2015. A prediction method of ice breaking resistance using a multiple regression analysis. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 2015(7), pp.708–719.

Daidola, J.C. & Sheinberg, R. 1989. *A procedure for the structural design of icebreakers and other ships navigating in ice*. SNAME 1988 Transaction, 96, pp.271–308.

ITTC, 1996. *Final report and recommendations to the 22nd ITTC. The Performance in Ice-Covered Waters Committee of 21st ITTC*.

ITTC, 2002. *Final report and recommendations to the 23rd ITTC*.

Jones, S.J., 2005. *Resistance and propulsion model tests of the USCGC healy (model 546) in ice*. LM-2005-02.

Kashteljan, V., Poznyak, I. & Ryvlin, A., 1968. *Ice resistance to motion of a ship*. Sudostroyeniye. Leningrad.

Lau, M. & Wang, J., 2012. Model-scale/full-scale correlation of OCRE’s model test results in supporting the CCGS polar icebreaker model test data evaluation. OCRE-TR-2012-28.

Mäkinen, E., Lahti, A. & Rimpä, M., 1975. Influence of friction on ice resistance. Search for Low Friction Surfaces. *The Society of Naval Architects and Marine Engineers(Icetech 75)*, Montreal, Canada.

Mäkinen, E., Liukkonen, S., Nortala-Hoikkanen, A. & Harjula, A., 1994. Friction and hull coatings in ice operations. *The Society of Naval Architects and Marine Engineers(Icetech 94)*, Calgary, Canada.

Sodhi, D., 1995. *Northern sea route reconnaissance study*. CRREL Report 95-17.

Vance, G., 1975. A scaling system for ships modelled in ice. *The Society of Naval Architects and Marine Engineers(Icetech 75)*, Montreal, Canada.

