

일반 수조에서의 합성 얼음의 밀도변화에 따른 쇄빙선의 저항특성 연구

임태욱* · 김문찬* · 전호환*
*부산대학교 조선해양공학과

Study on Resistance of Icebreaker by Density Variation of Synthetic Ice in General Towing Tank

TAE-WOOK LIM*, MOON-CHAN KIM* AND HO-HWAN CHUN*
*Dept. of Naval Architecture Ocean Engineering, Pusan National University, Pusan, Korea

KEY WORDS: Synthetic ice 합성 얼음, Refrigerated ice 냉동 얼음, Density variation 밀도 변화, Resistance test 저항시험, General towing tank 일반 예인수조, Icebreaker 쇄빙선

ABSTRACT: This paper deals with the experimental works for the correlations of ice resistance for icebreaker with synthetic(model) ice in general towing tank and with refrigerated ice in ice tank. In order to find out the correlation, the density variation is mainly focused in the present study. The model of Terry-Fox ice breaker has been used for the present correlation study because many data are available to be compared. According to the increase of density, the correlation becomes better quantitatively as well as qualitatively. Other parametric studies such as an ice size, a friction coefficient, a bending moment, etc., are also expected to have better correlation in a near future. This research could be the basis for the possibility of resistance test using a synthetic ice in a general towing tank instead of an expensive ice tank.

1. 서 론

쇄빙선 및 쇄빙상선에 대한 연구는 북극항로가 계속 개발됨에 따라 점점 그 관심이 높아지고 있으며 최근에 국내에서도 이와 관련하여 여러 연구들이(김현수 등, 2003; 김현수 등, 2006; Wang J.Y., 2007) 있어 왔고 앞으로 더욱 많은 연구가 있으리라 예상된다. 그러나 이러한 필요성에도 불구하고 조선 1위국인 한국에는 아직 빙수조가 없는 실정이나 최근 MOERI 연구소에서 건조하기로 결정된 것은 늦게나마 다행으로 생각된다. 일본의 경우 오래전부터 4개의 빙 수조를 보유하고 있었으나 최근 경영난의 이유로 일부 수조가 문을 닫는 등 연구를 위해 매우 필요한 시설이나 그 운영이 쉽지 않음을 알 수 있으며 특히 학교와 같은 곳에서는 현실적으로 시설을 운영하는 것이 거의 불가능한 상황이어서 빙 관련 연구가 전무한 실정이다. 본 연구에서는 이러한 여건을 감안하여 일반수조에서 빙 관련 선박의 실험을 할 수 있는 가능성을 살펴보고자 하였으며 기 수행되었던 합성 얼음을 이용한 쇄빙선 저항 연구(송윤영 등, 2007) 뒤이어 밀도변화에 의한 저항 비교 연구를 수행 하였다. 기 수행되었던 연구에서(송윤영 등, 2007) IOT의 전체저항 값이 크게 해석되어 본 논문에서 이를 수정하고 종합하여 비교하도록 하였다. 빙 해상에서 선박의 성능에 영향을 주는 얼음의 주요 특성으로는 밀도(비중), 마찰계수 및 굽힘 응력이 있으며 왁스 등의

합성 얼음들로 냉동 얼음의 특성과 가장 맞추기 어려운 것이 굽힘 응력 및 마찰계수이다. 특히 굽힘 응력의 경우는 평탄빙에서의 실험 시 꼭 맞추어야하는 요소이므로 이를 무시하고 실험할 수 없어 이를 현실적으로 맞추기 불가능한 본 연구에서는 팩 아이스(Pack ice) 상태에서의 실험만 비교하였으며 최근 대원대학에서 해양구조물에 대한 합성 평탄빙(콩과 시멘트 등을 조합하여)을 이용하여 실험을 수행한 비(Li Z, et al., 2002) 있으나 아직 실험 결과가 냉동 평탄빙의 것과 차이가 많이 나고 있다. 팩 아이스 상태에서의 저항 시험의 경우는 굽힘 응력이 큰 영향을 주지 않을 것으로 생각되며 이는 빙 수조에서의 저항 시험의 경우 속도가 극히 낮아 빙의 변형이나 파괴가 전혀 일어나지 않음을 통해서도 확인할 수 있다. 냉동 얼음의 특성과 합성 얼음의 특성 중 맞추기 힘든 또 다른 특성이 마찰계수이다. 통상의 왁스타입의 합성 얼음의 마찰계수는 모형 냉동 얼음보다 2~3배 높은 값을 보인다. 마지막으로 중요한 요소인 비중의 경우, 합성 얼음의 경우 일반 시중에서 시판되는 왁스의 비중이 작아 냉동 얼음에 비해 5~10%정도 작은 값을 가지는데 첫 번째 저항시험에서는 보정 없이 비중이 적은 상태에서 그대로 수행했으며 두 번째 실험에서는 오히려 약간 크게 보정해서 실험함으로 이에 대한 영향을 살펴보았다. 냉동 얼음을 이용한 모형시험은 IOT(Institute for Ocean Technology, NRC, Newfoundland, Canada) 빙 수조에서 실시하였고, 합성 얼음을 이용한 모형 시험은 PNU(Pusan National University) 예인 수조에서 실시하였다. 모형시험에 사용한 모형선으로는 캐나다 해안 경비정 Terry Fox 호 쇄빙선이 사용되었다. 모형선의 간단한

교신저자 김문찬: 부산시 금정구 구서2동 우성아파트
051-510-2401 kcmprop@pusan.ac.kr

제원으로는 축척 비 21.8이고, 길이 3.739m, 폭 0.789m 로 Terry Fox 호는 많은 실험을 한 선박이고, 캐나다에서도 현재 운항중인 선박이기도 하다.

2. 합성 얼음의 제조

합성 얼음에는 MOD ice, Tryde ice, Syg ice 등 여러 종류가 있으나 본 연구에서는 Wax type의 합성 얼음을 사용해서 실험을 하였다. 냉동 얼음에 비해서 합성 얼음이 가지는 장점은 우선 실제 얼음이 아니기 때문에 수조 전체의 온도를 영하로 떨어뜨릴 필요가 없어서 작업 환경이 좋다. 그리고 얼음이 가지고 있는 최대 단점인 녹는 일이 없기 때문에 시간의 제약을 받을 필요도 없어서 냉동 얼음에 비해 시험 수행에서 유리하다.

실제 빙 해역의 얼음 속에 함유된 염수액과 기포 때문에 해빙은 기포가 없는 순수 담수빙의 밀도(917kg/m³)와는 다른 값을 갖는다. 하지만 실제로는 염수액과 기포의 밀도에 대한 영향은 서로 상쇄되어, 전형적인 해빙의 밀도는 순수한 얼음에 가까운 915~920kg/m³ 정도이다. 또한, 빙판의 위쪽 0.2m 부위의 밀도는 더욱 낮아서 890~920kg/m³ 정도이다 (Sanderson, 1988). 1차 실험에서는 국내에서 시판되는 Wax의 밀도를 그대로 해서 합성 얼음의 밀도가 820kg/m³이었으나, 2차 실험에서는 인위적으로 합성 얼음의 밀도를 900kg/m³로 증가시켜 모형시험을 수행하였다. IOT에서 사용한 냉동 얼음의 밀도는 870kg/m³이었으나 밀도차이로 인한 뚜렷한 저항 값을 확인하기 위하여 2차 실험에서 사용된 합성 얼음의 밀도 값을 900kg/m³으로 하였다. 합성 얼음의 질량증가를 위하여 왁스 제조 시 볼트를 추가시켜 합성 얼음의 밀도를 증가시켰다. Fig. 1에서 PNU 2차 모형시험에 새롭게 제조된 합성 얼음의 사진을 보이고 있다. 실험결과 비교를 위해 사용된 냉동 얼음은 EG/AD/S(Ethylene glycol/ Aliphatic detergent/ Sugar) 얼음을 사용하였다. EG/AD/S 얼음은 파괴모드가 실제 해빙과 유사한 Column형 결정구조를 갖고 있다(Timco, 1986). 실험은 Pack ice 상태에서 수행하였고 3가지 침중도(90%, 80%, 60%)를 실험하였다. Table 1은 IOT와 PNU 1차, 2차 모형시험에서 사용된 냉동 얼음과 합성 얼음을 비교한 표이다.

3. 모형시험

3.1 모형시험방법

에인수조에서의 저항시험 방법은, 우선 합성 얼음을 넣기 전에 가이드라인을 설치한다. 가이드라인 설치에서 중요한 점은 가이드라인의 폭을 조절하는 것인데 합성 얼음이 벽에 부딪혀서 다시 나올 때 선체저항에 영향을 주지 않을 만큼 충분히 넓어야 한다. IOT의 모형시험 방법을 참고하여 선폭의 4배로 넓혀 수행하였다(Aboulazm, 1989). 이 때 두 가지 크기의 합성 얼음은 1:1의 비율로 잘 섞어서 넣는다. 합성 얼음의 침중도 판독은 냉동 얼음과 마찬가지로 5~10m 간격으로

Table 1 Comparison of three tested ices

	Refrigerated ice(IOT)	Wax type (PNU 1 st test)	Wax type (PNU 2 nd test)
Shape	Various	Right triangle	Right triangle
Thickness [mm]	40	40	40
Density [kg/m ³]	870	820	900
Friction Coefficient	0.01	0.03	0.03
Area [cm ²]	Various	320 160	320 160



Fig. 1 The 2nd synthetic ice profile

로 위에서 수직으로 사진을 찍어서 사진 판독으로 정확한 침중도를 맞춘다.

얼음이 덮여있는 상태에서는 Open water 상태보다 저항이 크므로 모형선의 선속은 최대속도 0.6m/s (실선 속도 기준 약 5knot)까지 실험을 수행하였다. 이는 실제 쇄빙선이 실제 해상을 운항할 때 낼 수 있는 최대 속도와 비슷하며 Ice class rule에서 규정한 속도이기도 하다. 얼음의 침중도를 판단하기 위해서는 예인 전차 위에서 5에서 10 미터 간격으로 사진을 찍은 후에 사진 판독으로 정확한 침중도를 맞춰야 한다.

앞에서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 평탄빙과 Pre-sawn 상태에서의 저항 결과는 비교하지 않았고 합성 얼음을 가지고는 Pack ice 상태에서만 실험을 실시하였고 그 결과 값만을 비교하였다. 아래 Fig. 2에서는 에인수조에서 합성 얼음을 가지고 Pack ice 실험을 하는 모습을 보여주고 있다.

3.2 Pack ice 시험결과

Pack ice 상태에서 작용하는 저항은 얼음을 쇄빙하는데 필요한 저항은 없고 얼음의 부력이 선체에 작용하는 저항과 선

체가 얼음을 밀어낼 때 생기는 저항으로 나눌 수 있다.

PNU 1차 실험에 이어 PNU 2차 실험에서 3가지의 집중도 (90%, 80%, 60%)에 따른 Pack ice 실험을 수행한 결과 밀도가 커진 PNU 2차 실험에서 저항 값이 전체적으로 10% 가량 감소한 것을 알 수 있다. 이는 PNU의 2차 실험에서 합성 얼음의 밀도를 80kg/m³ 정도 증가시킴으로 합성 얼음의 질량이 증가하였고 이는 쇄빙선에 대하여 부력저항 감소로 이어졌다. Fig. 3과 Fig. 4에서 선수부분의 Pack ice의 유동을 보면 모형선 선속이 0.1m/s에 비하여 모형선 선속이 0.6m/s 일 때는 물에 잠긴 선체 부분에 많은 양의 합성 얼음을 볼 수 있다. 저속에서는 얼음과 선체사이의 마찰을 이기지 못해 적은 양의 얼음이 선저로 들어오게 되나 고속이 됨에 따라 이러한 마찰을 이기고 많은 양의 얼음이 들어오고 있음을 알 수 있다. 이는 합성 얼음의 경우가 냉동 얼음에 비해 마찰계수가 크기 때문에 저속에서는 합성 얼음의 유입이 적게 됨이 확연히 나타나리라 생각된다.



Fig. 2 Profile of resistance test with synthetic ice



Fig. 3 Under water view of resistance test with pack ice (0.1m/s, 90%)

Fig. 5~Fig. 7은 IOT, PNU 1차 실험과 PNU 2차 실험에서 Pack ice 각 집중도별 모형선 선속에 대하여 전체적으로 살펴보면 저속에서는 냉동 얼음과 합성 얼음을 사용한 결과의 차이가 크지 않고 90% 집중도의 경우는 오히려 냉동 얼음을 사용한 경우 보다 합성 얼음을 사용한 저항 값이 작게 나오고 있다. 속도가 증가함에 따라 합성 얼음을 사용한 경우가 저항이 커지고 있으며 밀도를 증가 시킨 2차 시험의 경우가 1차 시험의 결과 보다 전체적으로 작으며 기울기가 냉동 얼음을 사용한 것과 비슷해지는 쪽이나 여전히 차이가 있음을 알 수 있다. 속도에 따라 합성 얼음의 결과가 냉동 얼음과 달라지는 즉 기울기가 다른 이유로는 앞에서 언급한 바와 같이 마찰이 상대적으로 큰 합성 얼음의 경우가 선저로 들어가는 얼음의 양이 상대적으로 적어 부력저항이 작아지기 때문으로 생각되며 속도가 증가함에 따라 마찰이 큰 영향을 주지 못해 선저로 유입되는 얼음의 양이 비슷해지고 이럴 경우 마찰이 큰 합성 얼음의 경우가 부력저항 및 Clearing 저항이 모두 커지기 때문에 속도가 증가할수록 큰 저항이 발생됨을 알 수 있다. 마지막으로 밀도에 따른 1차 시험과 2차 시험의 차이는 밀도가 큰 합성 얼음을 이용한 2차 시험의 경우, 부력이 작아지므로 이에 따른 부력저항이 감소하여 저항이 줄어들게 됨을 알 수 있다.



Fig. 4 Under water view of resistance test with pack ice (0.6m/s, 90%)

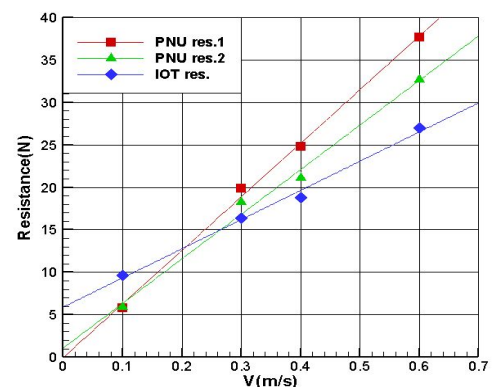


Fig. 5 Comparison of resistance at the concentration of 90%

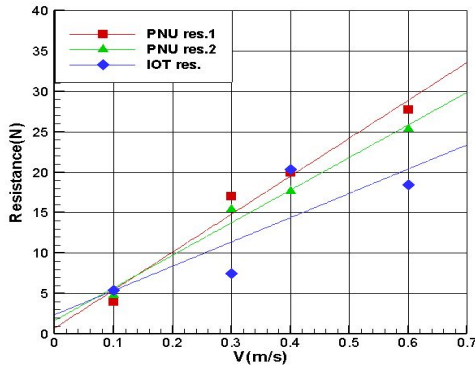


Fig. 6 Comparison of resistance at the concentration of 80%

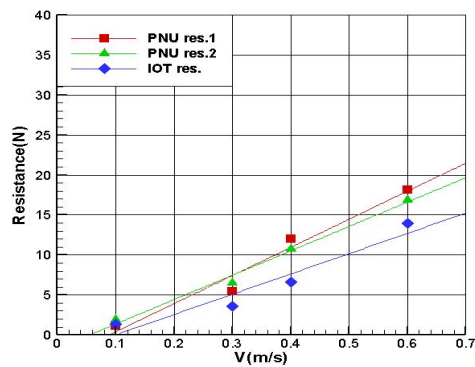


Fig. 7 Comparison of resistance at the concentration of 60%

4. 결 론

합성 얼음을 이용하여 일반수조에서 빙 저항 시험의 가능성을 살펴보았으며 특히 합성 얼음의 밀도의 변화에 따른 냉동 얼음과의 빙 저항 결과와의 연관성을 고찰하였다. 도출된 결론을 정리하면 다음과 같다.

(1) 냉동 얼음과 빙의 주요 특성치인 거칠기 계수가 다른 왁스 타입의 합성 얼음을 사용한 저항시험을 수행한 결과 약간의 차이를 보이고 있으나 보다 많은 자료들이 축적되고 연구가 계속되면 약간의 보정을 통해 보다 가까운 정성적, 정량적 연관성을 찾을 가능성이 있을 것으로 생각된다.

(2) 저속에서 합성 얼음을 이용한 저항시험 결과가 상대적으로 적은 값을 보이는 것은 저속에서는 선저로 들어오는 합성 얼음의 양이 적어 부력저항이 적기 때문으로 생각된다.

(3) 밀도를 크게 한 2차 시험의 경우 1차 합성시험에 비하여 기울기가 감소하고 정량적으로도 저항이 줄어 냉동 얼음

의 결과와 가까워졌으나 여전히 기울기 및 정량적인 차이는 보이고 있다.

(4) 보다 정도 높은 상관관계를 얻기 위해서는 얼음의 크기, 마찰계수, 굽힘 응력 등과 같은 특성치의 변화에 의한 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

후 기

이 논문은 2007년도 한국학술진흥재단의 지원에 의해 연구되었습니다 "(KRF 2007-314-D00315)".

참 고 문 헌

김현수, 하문근, 안당, 전호환 (2006). "쇄빙 유조선과 일반 유조선의 저항특성 비교 연구", 대한조선학회 논문집, 제 44권, 제1호, pp 44-39.

김현수, 하문근, 안당, 전호환 (2003). "극지용 쇄빙 유조선 개발", 대한조선학회 논문집, 제40권, 제6호, pp 20-30.

송윤영, 김문찬, 전호환, (2007). "합성 얼음을 사용한 쇄빙선 저항시험에 대한 연구", 대한조선학회 논문집, 제44권, 제4호, pp 389-397.

Aboulazm, A.F. (1989). Ship Resistance in Ice Flow Covered Waters, A doctoral Thesis, Memorial University of Newfoundland, Canada.

Li, Z., Wang, Y., Wang, X. and Li, G. (2002). "Effect of Cement Contents and Curing Periods on Properties of DUT1 Synthetic Model Ice", 21st International Conference on Offshore Mechanics and Engineering, OMAE2002, Oslo, Norway.

Timco, G. (1986). "EG/AD/S: A New Type of Model Ice for Refrigerated Towing Tanks", Cold Science and Technology, Vol 2, pp 175-195.

Sanderson, T.J.O. (1988). Ice Mechanics Risks to Offshore Structures, Kluwer Academic Publishers, Norway, MA.

Wang, J.Y., Ayhan, A., Stephen, J.J., Neil B., Kim, M.C. and Chun, H.H. (2007). "Ice Loads Acting on a Model Podded Propeller Blade", Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, August 2007, Vol 129, pp 236-244.

2008년도 4월 23일 원고 접수

2008년도 8월 26일 최종 수정본 채택