사각 빙해수조에서의 Pack Ice 모형시험 기법 개발

조성락^{1,†} · 유창수² · 정성엽¹
한국해양연구원 해양시스템안전연구소¹
충남대학교 선박해양공학과²

Development of Model Test Methodology of Pack Ice in Square Type Ice Tank

Seong-Rak Cho^{1,†} · Chang-Soo Yoo² · Seong-Yeob Jeong¹
Maritime & Ocean Engineering Research Institute, KORDI¹
Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chungnam National University²

Abstract

The main purpose of ice model basin is to assess and evaluate the performance of the Arctic ships and offshore structures because the full-scale tests in ice covered sea are usually very expensive and difficult. There are various ice conditions, such as level ice, brash ice, pack ice and ice ridge, in the real sea. To estimate their capacities in ice tank accurately, an appropriate model ice sheet and prepared ice conditions copied from actual sea ice conditions are needed. Pack ice is a floating ice that has been driven together into a single mass and a mixture of ice fragments of varying size and age that are squeezed together and cover the sea surface with little or no open water. So ice-class vessels and Icebreaker are usually operated in pack ice conditions for the long time of her voyage. The most ice model tests include the pack ice test with the change of pack ice concentration. In this paper, the effect of pack ice size and channel breadth in pack ice model test is conducted and analyzed. Also we presented some techniques for the calculation of pack ice concentration in the model test. Finally, we developed a new model test methodology of pack ice condition in square type ice tank.

Keywords : Pack ice condition(Pack ice 조건), Ice model test(빙모형시험), Ice model basin(빙해수조)

1. 서론

고유가와 미래 에너지 자원 확보를 위한 세계 각국의 극지역 탐사 및 개발이 날로 활성화되고 있다. 이에 따른 극지 해역에서 천연자원의 시추가 가능한 해양구조물과 시추한 원유를 운송할 수 있는 쇄빙선 및 내빙선 등이 가까운 미래에 큰 수요를 가져올 것으로 예상되고 있다. 또한 다양한 환경변수가 존재하고 있는 극지방에서 천연자원을 안전하고 빠르게 운송하기 위한 항로 개발도 시급한 실정이다.

이러한 극지역 자원 탐사 및 개발을 위하여 극지에 인접한 여러 국가에서는 각국의 기술을 활용한 극지환경 재현시험 시설을 확보하였으며, 고유의 시험법 및 해석법 개발을 완료하였다(Cho, et al., 2008). 국내에서도 다가오는 극지 탐사 및 항로 개발을 위하여 2009년 말에 MOERI(Maritime & Ocean Engineering Research Institute) 빙해수조가 건설되었으며, 빙모형시험을 위한 모형빙 개발, 모형시험법, 모형시험 해석법 등을 연구하고 있다(Lee, et al., 2008). 또한 국외의 여러 빙해수조의 모형시험법을 조사하고, 빙해선박의 선형, 운항 시나리오 및 추진기에 따른

정확한 빙성능을 추정하기 위한 다양한 노력을 기울이고 있다(Kim, et al., 2010).

빙해수조에서 극지환경 재현시험을 위하여 가장 먼저 준비되어야 하는 것이 상사법칙에 맞는 모형빙을 생성하는 것이다. 또한 다양한 극지 얼음의 상태를 정확히 모사한 빙조건(ice conditions)을 준비하는 것이다. 여러 빙조건 중 Pack ice 상태는 다양한 크기를 가지는 빙편(ice floe) 조각들이 서로 혼재되어 있거나 하나의 덩어리로 이동하는 해상 상태로 정의된다. 국제해사기구(IMO)에서는 Pack ice의 분포도를 0/10~10/10으로 표시하고 있는데, 0/10은 빙편이 없는 개수로 상태(open water)를 나타내고 6/10은 pack ice가 전체 중 차지하는 비율이 60%인 상태를 나타낸다. 또한 10/10은 전체가 빙편으로 덮여있는 상태를 의미한다. 쇄빙선 및 내빙선의 경우, 빙해역 운항 기간 중 pack ice 상태에서 많은 시간 운항해야 하기 때문에, 각국의 빙해수조에서는 빙모형시험 시 pack ice 상태에서 선박 및 해양구조물의 빙성능 평가시험이 필수적으로 수행되고 있다.

Donald, et al. (1999)은 실험역 pack ice의 생성 및 소멸 등을 예측할 수 있는 장비를 개발하고, 예측된 정보를 인공위성을 이용하여 원격 모니터링 할 수 있는 시스템을 구축하였다.

Barker, et al. (2004)은 파도가 있는 pack ice 상태에서 구조물에 대한 빙성능 및 운동 계측을 위하여 모형시험을 수행하였으며, Peter, et al. (2005)은 캐나다 동북부 해역에서 다양한 빙편에 의한 해양구조물 보호 목적으로 pack ice 관리기술(pack ice management) 및 시험기법을 정립하였다. 최근에 Colbourne and Woolgar (2010)은 계류(mooring) 형태의 해양구조물이 pack ice 상태에서 선체와 얼음 사이의 마찰계수 차이에 따른 빙하중의 효과를 모형시험을 통해 검증하였다.

하지만 각국의 빙해수조에서 수행하고 있는 모형시험은 대부분 쇄빙 시 소요마력 추정을 위한 평탄빙 시험 위주로 시험법을 개발하고 있으며, pack ice 모형시험법은 부가적인 시험으로 간주하여 정확한 절차를 개발하지 않고 있으며, 문서화되지 않고 있다. 또한, 대부분 국외 수조들은 장수조 형태이기 때문에 평탄빙(level ice)에서의 시험 후에 모든 얼음을 pack ice 상태로 만들어 모형시험을 진행하게 된다. 하지만 MOERI 빙해수조는 빙해선박의 조종성 및 다양한 모형시험을 수행하기 위하여 사각수조로 건설되었으며, 이에 따른 새로운 pack ice 모형시험 기법 개발이 요구되었다.

본 논문에서는 사각수조 형태의 MOERI 빙해수조에서 적용이 가능한 새로운 pack ice 모형시험 기법에 대해 기술하였다. 빙편의 크기와 pack ice 채널 폭 변화에 따른 시험 및 해석을 통해 pack ice 시험의 정도를 높이고자 하였다. 또한, 종래의 국외 수조에서 사용하고 있는 재래식 빙분포도 계산법을 개량하여, 영상 이미지를 이용한 정확한 빙분포도 계산법 적용에 대해 연구하였다.

2. 시험 장비

2.1 시험 시설 및 모형빙

MOERI 빙해수조는 42m(L) × 32m(W) × 2.5m(D)의 수조 크기를 가지며, 실제 사용가능한 모형빙의 면적은 32m(L) × 32m(W)로 사각수조의 형태를 가지고 있다. 사각수조에 맞게 최대 속도 3.0m/s, 분해능 0.0002m/s로 정밀하게 예인이 가능한 X-Y 형태의 주에인전차가 설치되어 있다.

또한 최대 0.5m/s 속도로 구동이 가능하며, 깨어진 얼음을 밀어낼 수 있는 ice pusher가 부착되어 있는 보조에인전차가 설치되어 있다. 이 보조에인전차는 모형빙 생성, 모형빙 특성계측 및 모형빙 조건 준비를 위한 작업발판이 설치되어 있어 pack ice 조건 준비에 반드시 필요한 설비이다.

또한 MOERI 빙해수조에서는 캐나다 NRC-CHC(Timco, 1986)에서 개발한 EG/AD/S(ethylene glycol / aliphatic detergent / sugar) 모형빙을 개선하여, 박테리아를 유발시키는 설탕 성분을 제거한 EG/AD 모형빙을 개발하였다(Cho, et al., 2010). 그리고 빙시험 과정에서 깨진 얼음에 대한 빙부력 저항 성분을 고려하기 위하여 Spencer (1990)가 개발한 밀도 보정을 통해 최종적으로 EG/AD-CD(collect density) 모형빙을 적용해 2011년 중반까지 약 40여판의 모형빙을 생성하여 사용하고 있다.

2.2 데이터 계측 시스템

모형시험의 저항값을 측정하기 위하여 1200N 용량의 X-Y 2축 저항동력계를 사용하였으며, 주에인전차의 정속성 및 데이터 해석 시 정속구간 검증을 위하여 주에인전차의 속도를 계측하였다. 또한 모형시험 녹화를 위하여 수상카메라 2대, 수중카메라 2대를 사용하였으며, 저항동력계에서 계측한 값은 HBM사의 DAS(data acquisition system)를 이용하여 100Hz의 주기로 샘플링되며, 샘플링된 데이터는 LAN(local area network) 케이블을 이용하여 계측 컴퓨터에 자동으로 기록하도록 시스템을 구축하였다. Fig. 1은 1200N 용량의 저항동력계와 HBM사의 DAS 및 계측 컴퓨터의 설치 모습을 보여주고 있다.

Fig. 1 A 2-axes dynamometer(left) and the HBM's DAS (right)

2.3 시험 절차 및 해석

시험 전에 X-Y 2축 저항동력계를 교정(calibration)하였으며, 시험에 사용할 쇄빙연구선 아라온(Araon) 모형을 주에인전차의 계측프레임에 설치하였다. 또한 모형선의 길이방향 부력중심에 저항동력계를 위치시키고, 선수와 선미에 트림가이드를 설치하여 모형선을 Y방향(sway)으로 구속시켜 주었다.

Pack ice 시험 전에 평탄빙, pre-sawn ice, brash ice 상태에서 저항시험을 수행하였으며, 깨어진 채널을 이용하여 pack ice 조건을 준비한 후 시험을 수행하였다.

Table 1 Main particular of Icebreaking research vessel Araon

Scale Ratio ($\lambda=18.667$)	Model	Prototype
L_{PP} (m)	5.10	95.20
B (m)	1.02	19.04
T (m)	0.36	6.8
Stem angle, γ (deg)	30	30

Table 2 Model ice properties

Date	Ice thickness	Flexural Strength	Frictional Coefficient	Ice Density
2010. 03. 04	47±3 mm	30±7 kPa	0.02	930 kg/m ³
2011. 01. 13	36±4 mm	35±6 kPa	0.02	930 kg/m ³
2011. 03. 09	38±4 mm	33±7 kPa	0.02	930 kg/m ³

pack ice 시험 기법을 정립하기 위하여 총 세 판의 모형빙을 이용하였으며, 생성된 각 모형빙의 특성은 Table 2에 정리하였다. 그리고 저항동력계의 영값(zero value)은 평탄빙 시험 초기에 1회만 설정하였으며, 쇄빙선박의 경우 저속에서 운항하기 때문에 0.238, 0.357, 0.476m/s($\lambda=18.667$, 대응실선속도 2, 3, 4knots)에서 모형시험을 수행하였다. 예인전차의 감가속은 저항동력계에 무리한 힘이 가해지지 않도록 설정하였으며, 정속구간에서 계측은 최소 20초 이상 확보하여 시험의 정밀도를 높였다.

3. Pack ice 시험조건 준비

MOERI 빙해수조 모형빙 1판의 크기는 Fig. 2와 같이 32m(W) × 32m(L)이며, 평탄빙, pre-sawn ice 및 brush ice 상태의 시험 채널은 기본적으로 6개(C1~C6)로 구성되어 있다. 상기 6개의 채널에서 시험을 수행한 후 pack ice 시험조건을 준비한 다음 pack ice 시험을 수행해야 한다. 초기 pack ice 시험조건은 32m 전폭에 걸쳐 모형빙을 약 0.25m × 0.25m 크기의 임의적인 모양으로 잘게 잘라준 후 전체 수조면적 대비 얼음이 차지하고 있는 면적이 9/10, 8/10, 6/10의 순서로 줄이면서 시험을 수행하였다.

국외의 다른 수조는 폭이 좁은 형태를 가지고 있기 때문에 전 폭을 모두 잘게 나누어 시험을 수행해도 문제가 없지만, 사각수조의 장폭에서는 정확하게 모형빙을 제어할 수 없으며, pack ice 시험 조건을 맞추기 어려운 단점을 가지고 있다. 이에 Fig. 2에서 A2, A4, A6 구역의 평탄빙 구간을 잘게 나누고, A1, A3, A5, A7 구역은 그대로 유지시켜 pack ice 시험 채널을 Fig. 2에서와 같이 크게 3개(P1, P2, P3)로 만들 수 있다.

Fig. 2 The ice sheet after level ice test was conducted

상기와 같이 준비한 3개의 채널 폭은 대략 6m 정도이며, 3개의 채널에서 각각 6/10, 8/10, 9/10의 순서로 시험조건을 준비한다. Fig. 3에서와 같이 A2에서 약 4m(길이방향) 정도의 평탄빙을 떼어내어 A6 구역으로 이동시켜 약 6/10의 조건을 준비한다. 그리고 A4구역을 모두 잘게 나누게 되면, C3 채널과 C4 채널이 이전 평탄빙 시험 시 얼음이 깨져있기 때문에 쉽게 8/10 조건을 준비할 수 있다. 마지막으로 A6 구역도 모두 pack ice 크기대로 자르고, A2 구역에서 이동한 얼음까지 더해주면 9/10 조건을 준비할 수 있다.

Fig. 3 Usable pack ice channels(P1, P2, P3)

Fig. 3과 같이 6/10, 8/10, 9/10의 분포도로 준비된 pack ice 조건 상태를 검증하기 위하여 국외의 빙해수조에서는 임의의 구간을 선정하여 줄자를 준비된 얼음위에 놓고 특정 구역에서의 얼음의 분포 형상을 기록한 후 분포도를 계산하여 전체 Pack ice 시험 구간의 분포도로 사용하고 있다. 하지만 MOERI 빙해수조에서는 정확한 분포도 계산을 위하여 카메라를 이용해 각 채널당 3장의 정지영상을 촬영하고, 촬영된 정지영상을 Fig. 4와 같이 이미지 처리를 통해서 분포도 계산 시 신뢰성을 높이고 있다. Pack ice 모형시험 시 분포도 계산을 위해 Zeiss사의 AxioVision 소프트웨어를 사용하였으며, 준비된 pack ice 조건의 명암분석을 통해서 정밀하고 빠르게 분포도를 계산할 수 있다. 이러한 명암분석을 통해 목표 pack ice 분포도에 최대한 근접하여 pack ice 조건을 준비하여 시험을 수행하였다. 캐나다 IOT(Institute for Ocean Technology) 빙해수조에서는 개략적으로 40~50cm 정도로 pack ice 빙편 크기를 맞추어 자른 후 빙해수조 전폭(12m)에 대해 분포도를 맞춘 다음 모형시험을 수행하고 있지만, pack ice 상태에서 저항시험 시 빙편의 크기에 대한 정보가 명확하게 정의되지 않은 실정이다.

Fig. 4 The captured pack ice channel(left) and calculated pack ice concentration(right)

따라서, 두 번째 모형빙에서는 pack ice 빙편 크기에 대한 효과를 검증하기 위하여 pack ice 분포도를 6/10과 9/10으로 고정하고, pack ice 빙편 크기를 Fig. 5와 같이 직경이 약 50cm, 25cm, 12.5cm로 잘게 나누어 시험조건을 구성하였다.

즉, 직경 50cm 채널에서 시험을 수행한 후 빙편을 4조각으로 나누어 직경 25cm 채널을 준비하고, 마지막으로 다시 25cm 채널의 빙편을 더욱 잘게 준비하여 12.5cm 직경의 빙편 상태를 구현하였다.

Fig. 5 Prepared pack ice channels with the change of floe size

국외의 대부분 빙해수조는 길이방향으로 길고, 폭이 좁은 장수조 형태로 pack ice 시험 시에 전폭에 대해 pack ice 상태로 잘게 나눈 후, 분포도를 맞추는데 많은 시간을 소비하며 모형시험을 진행하고 있다. 하지만 MOERI 빙해수조는 Fig. 3에서와 같이 효율적인 시험 채널 준비를 위하여 크게 세 개의 부분으로 나누어 시험하는 기법을 개발하였으며, Fig. 3에서 준비한 6m 폭의 pack ice 시험 채널을 검증하기 위하여 Fig. 6과 같이 2m, 4m, 6m, 8m 순으로 시험 채널 폭을 넓혀가면서 9/10 집중도의 pack ice 조건에 변화를 주었다. 시험 조건을 준비한 채널은 그림 3에서 정 가운데에 위치한 A4 및 P2 채널에서 준비하였으며, 예인전차는 Y방향으로 움직이지 않고 고정된 상태에서 작동하여 시험의 정도를 높였다.

이때 빙편(ice floe)은 모두 $0.25\text{m} \times 0.25\text{m}$ 크기로 잘라주었으며, 분포도 계산을 위하여 시험 채널 영상을 촬영하였다. 또한 모형선은 준비된 채널의 정중앙을 이동하도록 정밀하게 조절하였다.

Fig. 6 Prepared pack ice channel with 9/10 concentration and the change of channel breadth(from the left 2, 4, 6, 8m)

4. 시험 결과

일반적으로 pack ice 상태에서 선박에 발생하는 저항은 일반 평탄빙 구간에서 발생하는 저항보다 크지 않지만 빙편의 크기가 커짐에 따라 선박에 작용하는 저항 또한 커지게 된다. 본 연구에서는 pack ice의 분포도 변화와 함께 빙편의 크기 변화, 채널의 폭 변화에 따른 저항특성을 분석하였으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

4.1 Pack ice 분포도 변화

저항시험에서는 평탄빙 시험과 pre-sawn ice 시험을 수행한 후 깨진 채널에서 pack ice 분포도를 9/10에서 6/10으로 변화시키면서 시험을 수행하였고 아울러, 개수로 시험도 함께 수행하였다.

아래 Fig. 7에는 평탄빙에서 발생하는 저항과 pre-sawn ice 상태에서의 저항, 개수로 저항 그리고 pack ice 분포도가 6/10 인 경우와 9/10인 경우에 발생하는 저항을 함께 도시하였는데, 시험 전 예상했던 경향을 비교적 잘 보여주고 있다. 특히 국외 빙해수조의 경우 6/10 분포도 이하의 pack ice 상태에서는 시험을 수행하지 않는데, 이는 분포도가 1/10~8/10 정도까지는 저항의 크기변화가 크지 않기 때문이다.

본 시험을 통해 pack ice 분포도가 6/10인 경우 개수로 저항과 거의 유사하지만 9/10인 경우 속도가 증가함에 따라 개수로 저항과 차이가 나타나며, 평탄빙에서 발생하는 저항과 차이를 확인할 수 있다. 특히 속도가 0.238, 0.357, 0.476m/s인 경우 평탄빙에서 발생하는 저항은 71.1, 85.7, 100.9N 정도지만 9/10 분포도 pack ice에서는 2.2, 5.9, 8.3N 정도로서 pack ice 상태에서 발생하는 저항이 평탄빙에서 발생하는 저항보다 현저히 낮음을 알 수 있다.

Fig. 7 Mean resistance vs. carriage velocity with trend lines

4.2 빙편 크기 변화

본 연구에서는 pack ice 분포도 변화에 따른 저항특성과 함께 빙편의 크기 변화에 따른 저항특성도 비교분석하였다. Fig. 8은 6/10 분포도와 9/10 분포도에서 빙편의 크기변화에 따른 평균 빙저항과 추세선을 나타낸 것이다.

여기서 빙편 크기가 클수록 평균 빙저항값이 커지는 경향을 나타내는데, 빙편의 직경이 50cm인 9/10 분포도 조건에서 빙저항이 급격히 증가함을 알 수 있다. 또한 6/10의 분포도에서 빙편의 직경이 50cm인 경우 발생하는 빙저항은 빙편의 직경이 25cm인 9/10 분포도에서 발생하는 저항과 거의 유사함을 알 수 있으며, 이를 통해 pack ice 상태에서 모형시험 시 빙편 크기 조절이 중요함을 확인할 수 있다. 따라서 실제 운항하는 해역에서 pack ice 상태를 정확히 모사한 다음 빙저항 시험을 수행할 경우 보다 정도 높은 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 8 Mean resistances at various concentrations and floe sizes of pack ice

4.3 Pack ice 채널 폭 변화

Fig. 9에는 아라온의 쇄빙 시 설계속도(모형: 0.357m/s, 실선: 3knot) 부근에서 pack ice 채널 폭 변화(2, 4, 6, 8m)에 따른 저항특성을 도시하였다. Pack ice의 채널 폭이 2, 4m인 경우 큰 저항이 발생하지만 채널 폭이 6m 부터는 비교적 안정화 되어 일정한 저항값이 예측되는 것을 확인할 수 있다. 그러므로 pack ice 시험 시 모형시험의 정도를 확보하기 위해서는 최소 6m 이상의 채널 폭이 요구됨을 알 수 있으며, 사각수조 형태의 MOERI 빙해수조에서는 크게 pack ice 모형 시험 시 세 부분으로 나누어 수행해도 큰 문제가 없음을 확인할 수 있다. 현재 pack ice 모형시험에서 모형선 속도, 채널 폭, 집중도에 따른 빙저항 추정식이 존재하지 않기 때문에 지속적인 시험을 통하여 pack ice 모형시험의 기법을 개발할 예정이다.

Fig. 9 Mean resistances at various channel breadths of pack ice

5. 결 론

MOERI 빙해수조는 국외 빙해수조와 달리 사각수조로서 pack ice 시험과정에서 모형빙 제어 및 시험조건을 구현하는데 있어 많은 어려움이 존재한다. 또한 pack ice 분포도 계산 시 국외 빙해수조와 같이 수동으로 줄자를 이용해 계산할 경우 신뢰성이 떨어지는 문제점을 가지고 있어서 보다 신속하고 정교한 pack ice 분포도 계산방법이 지속적으로 요구되고 있다. 그러므로 본 연구에서는 사각수조 형태의 MOERI 빙해수조에서 정도 높은 pack ice 시험을 위한 시험법을 개발하였다.

우선 pack ice의 분포도를 계산을 위해 pack ice 채널을 촬영한 후 AxioVision 소프트웨어를 이용해 분포도를 계산함으로써 신뢰성과 함께 시험 정도를 이전 보다 향상시켰다.

또한 pack ice 시험에서 빙편의 크기 변화에 따른 빙저항 시험을 통해 시험조건 구현 시 빙편의 크기가 중요한 변수임을 알 수 있다.

그리고 pack ice 시험에서 예측된 빙저항의 정도를 높이기 위해 채널 폭은 최소 6m 정도가 적절함을 알 수 있는데, MOERI 빙해수조는 선박의 조종성 평가 및 해양구조물에 작용하는 빙하중을 추정하기 위해 사각형태의 수조로 건설되었기 때문에 폭 방향으로 충분한 여유를 확보하고 있어 pack ice 시험 시 채널을 크게 세 부분으로 나누어 시험을 해도 큰 지장이 없음을 확인하였다.

아울러, 향후 연구에서는 pack ice 상태에서 보다 정확한 빙저항 추정을 위해 다양한 분포도와 빙편의 크기에 따른 추가적인 시험이 수행되어야 할 것으로 판단된다. 또한 brash ice 모형시험 중 좁은 채널(narrow channel)과 넓은 채널(Wide channel)에서의 모형시험 기법 개발에도 응용할 수 있을 것으로 기대한다.

후 기

본 연구는 지식경제부 원천기술개발사업 과제인 “빙해선박의 극지항로 안전운항기술 및 극저온 빙성능 시험평가 기법 개발(PNS151B)” 및 한국해양연구원 주요과제(PES141A)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Barker, A. Simoesre, A. Walsh, J. & Kennedy, E., 2004. Model Testing of an Evacuation System in Ice-Covered Water with Waves. *PERD/CHC Report* 61-6.
- Cho, S.R. Lee, C.J. & Jeong, S.Y., 2010. An Efficient EG/AD Model Ice for the MOERI Ice Tank. *Proceedings of International Symposium on Offshore and Polar Engineering*. pp.1183-1187.
- Cho, S.R. Lee, C.J. Micheal, Lau. & Wang, J.Y., 2008. Introduction of Ice Model Test Methodology. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 45(1), pp.4-12.
- Colbourne, D.B. & Woolgar, R.C., 2010. Effects of Hull-Ice Friction Coefficient on Predictions of Pack Ice Forces for Moored Offshore Vessels. *Journal of Ocean Engineering*, 37, pp.296-303.
- Donald, J.B. & Charles, L.T., 1999. Measurement of Ice Growth and Melt in the Labrador Pack Ice. *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, 9(1).
- Kim, H.S. Lee, C.J., 2010. A Study on the Bow Shape of Ice Breaking Vessel. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 47(3), pp.469-475.
- Lee, C.J. Cho, S.R. Micheal, Lau. & Wang, J.Y., 2008. A Study on Improvement of Ice Model Test Procedure. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 45(5), pp.455-461.
- Peter, D. Brian, W., 2005. Pack Ice Management on the Southern Grand Banks Offshore Newfoundland, Canada. *PERD/CHC Report* 20-76.
- Spencer, D. & Timco, G.W., 1990. CD Model Ice: A Process to Produce Correct Density Model Ice. *Proceedings of IAHR Ice Symposium*. 2, pp.745-755.
- Timco, G.W., 1986. EG/AD/S: A New Type of Model Ice for Refrigerated Towing Tanks. *Journal of Cold Regions Science and Technology*, 12, pp.175-195.

조 성 락

유 창 수

정 성 엽