

빙수조 모형시험법 개선 연구

이춘주*, 조성락†*, Michael Lau**, Jung-Yong Wang**

한국해양연구원 해양시스템안전연구소*, NRC-IOT**

A Study on Improvement of Ice Model Test Procedure

Chun-Ju Lee*, Seong-Rak Cho†*, Michael Lau** and Jung-Yong Wang**

Maritime & Ocean Engineering Research Institute, KORDI*, NRC-IOT**

Abstract

In this study, the target FSICR class is 1A whose target thickness of the brash ice is 46 mm in model scale. Normally ice floes for brash ice do not exceed 2 m in full scale, so the model ice sheet was cut by about 10 cm by 10 cm using hand saws. Since the target thickness of brash ice is 46 mm, 46 mm ice sheet makes one layer brash ice. For 23 mm thickness ice sheet, two layers should be accumulated to reach 46mm brash ice thickness. For 15mm thickness ice sheet, three layers need to be accumulated as the same as those in 23 mm ice sheet.

New methodology to produce a brash ice was proposed. The results showed that it would be important to use multi-layer rather than single layer possibly because of significant thrust deduction from the propeller-ice interaction in the present ice condition (FSICR 1A).

※Keywords: Ice model basin(빙해수조), Ice model test(빙시험), Brash ice(brash ice), Ice test analysis(빙시험해석)

1. 서론

해양시스템안전연구소에서는 정부지원하에 산업 기반조성사업의 일환으로 국내 유일의 빙해수조를 확보하기 위한 사업을 수행중에 있으며, 2010년 상반기에 완공을 목표로 냉동기가 포함된 시험연

구동과 모형선 및 계측기가 설치될 예인전차로 나누어서 건설중이다.

국내에서 Kim et al.(2006)은 앞선 조선기술을 이용하여 쇄빙 유조선의 선형저항특성을 분석하고 실제 운항지역에 따른 쇄빙선 선형의 변화가 있어야 한다고 주장하였으며, Choi et al.(2006)은 여러 빙저항 이론을 조사하고 쇄빙선 및 쇄빙상선에 적용하여 실측자료와 비교 정리하여 쇄빙상선을 위한 새로운 빙저항식을 만들 것을 제안하였다.

접수일자: 2007년 11월 15일, 승인일자:2008년 10월 일

†교신저자: scho@moeri.re.kr, 042-868-7670

이에 국내 빙해수조 확보사업은 그 동안 국내에 취약하였던 빙해선박 특히, 쇄빙선에 대한 성능검증과 설계기술 및 건조기술 등을 쉽게 적용하고 검증할 수 있게 되며 아울러 극한지 해양구조물에 대한 빙하중과 유빙충격 추정기술, 빙 공학기술 등의 국내 연구기반을 크게 확충시킬 것이다.

따라서 본 연구에서는 국내 빙해수조의 완공에 대비하고자 캐나다 빙해수조와 공동으로 평탄빙 시험, pre-sawn ice 시험, brash ice 시험에 대한 빙수조 시험법 및 해석법을 수행하였으며, 국외 주요 빙수조들의 특징을 분석하여 조기에 다른 빙수조들과 경쟁할 수 있도록 빙시험의 중요 특징에 대해 조사하였다.

2. 국외 빙해수조 현황

빙해역에서의 여러 가지 빙상환경을 모의적으로 재현해서 빙해용 선박의 쇄빙능이나 해양구조물에 작용하는 빙하중 시험을 가능하게 하는 시설이 빙해수조(ice towing tank or ice model basin)이다.

빙해수조 시설은 1, 2차 중동전쟁과 석유가격 폭등에 맞물려 1970년대 및 80년대 중반에 걸쳐 극지에서의 자원개발과 수송수단의 확보라는 차원에서 Table 1과 같이 선진국에 경쟁적으로 건설되었다. 60년대 이전에 건설된 구소련의 AARI(Arctic and Antarctic Research Institute) 수조에 이어 2세대인 독일의 HSVA(Hamburgische Schiffbau Versuchsanstalt) 소형수조, 미국의 CRREL(Cold Regions Research and Engineering Laboratory), 일본의 SRI(Ship Research Institute), NKK(Nippon Kaiji Kyokai) 등에 중소형 빙해수조를 만들어 쇄빙현상에 대한 연구가 활발히 진행되었다.

당시의 관심사는 주로 빙해선박의 성능 향상이었기에 모두 장수조 형태로 건설된 바 있다. 한편 70년대 후반과 80년대에 걸쳐 캐나다 북극해의 개발과 러시아 사할린 자원개발로 극지용 해양구조물을 건조하게 되면서 1987년 핀란드의 HUT(Helsinki University of Technology)에서는 최초로 사각수조 형태의 빙해수조를 건설하였다.

Table 1 Principal characteristics of major ice model basins

Country	Japan	Finland	GER.	U.S.A	CAN.	RUS.	
Ice Tank	NMRI	AARC	HUT	HSVA	CRREL	IOT	KSRI
Length (m)	35	77.3	40	78	37	90	45
Width (m)	6	6.5	40	10	9	12	6
Depth (m)	1.8	2.3	2.9	2.5	2.4	3.0	1.75
Carriage Speed (m/s)	0.1 -	0.0 -	0.02 -	0.002 -	0.002 -	0.1 -	0.15 -
	2.0	3.0	2.0	3.0	2.1	4.0	2.0

1980년대 중반 이후에 건설된 3세대 빙해수조인 독일의 HSVA 대형수조, 핀란드의 MARC(Masa-Yards Arctic Research Center) 및 HUT, 캐나다의 IOT 빙해수조는 모형빙 및 제빙법과 모형시험 기법에 있어서 보다 진보적이고 각기 독자적인 방법을 고안해 사용하고 있다.

최근에는 핀란드의 MARC 빙해수조가 폐쇄되고 대신에 최신식 시설을 자랑하는 AARC(Aker Arctic Research Center) 빙해수조가 완공되어 현재 운영중에 있으며 Table 1에서 국외 주요 빙해수조의 사양을 정리하였다. 핀란드의 HUT 수조를 제외한 대부분의 수조가 길이방향이 폭방향보다 큰 장수조 형태를 가지고 있으며, 대부분 북극해와 지리적으로 가까운 곳에 위치한 선진 조선국들에 빙해수조가 운영되고 있다.

3. 캐나다-MOERI 빙수조 시험

빙수조 시험은 세계 최대 규모로서 장수조 형태의 빙수조인 캐나다 IOT(Institute for Ocean Technology)에서 수행하였다. 이 수조는 길이가 충분히 길기 때문에 빙판 하나로 여러 시험이 수행될 수 있는 장점이 있고, 예인전차를 움직여 폭 방향으로 1/4폭까지 모형선을 선회시킬 수 있다.

Fig. 1은 IOT 빙수조에서 모형선을 매달고 쇄빙시에 힘을 측정하는 센서 등이 설치되어 있는 주 예인전차의 모습을 보여주고 있다. 주예인전차 이



Fig. 1 Front view of main carriage

외에도 모형빙의 생성시 얼음핵을 뿌려주는 작업, 실패빙에의 여러 조건을 재현하기 위한 작업 및 빙시험이 모두 끝난 후 잘게 잘려진 모형빙을 밀어내는 작업 등은 보조 예인전차를 이용하여 담당하며 빙수조의 천장에는 16대의 냉각기가 설치되어 있어 -30°C 까지 온도를 제어할 수 있다. 또한 모형빙의 밀도를 맞추주기 위하여 수조 바닥에는 공기방울을 발생시켜 주는 장치가 있다.

빙수조시험에 사용된 모형선은 1983년에 건조되어 그동안 캐나다 해안 경비정으로 사용되고 있는 CCGS Terry Fox 모델이며 Table 2와 같이 모형선의 주요목을 나타내었다. CCGS Terry Fox는 그동안 많은 실패빙 지역의 실선 운항경험과 모형시험의 데이터가 많기 때문에 이번 공동연구에서 사용하였다.

모형빙은 1986년 Timco가 세 가지의 다른 첨가물, 즉 EG/AD/S(Ethylene Glycol/Aliphatic Detergent/Sugar)가 용해된 용액으로부터 생성된 새로운 모형빙을 소개했다. 이 모형빙은 단일층의 고운 입자들로 구성되며 기동형으로 성장한다. 또한 실제 해빙과 기계적 성질이 거의 일치하여 1000판 이상의 모형시험 결과를 가지고 있다.

얼음두께 15mm, 23mm 그리고 46mm의 평탄빙을 생성한 후, pre-sawn ice와 brash ice 조건 등을 생성하였으며, 수시로 모형빙에 대한 여러 가지 물리적인 특성을 계측하였고, 각 빙조건에 따라 ITTC(International Towing Tank Conference)에서 권장하고 있는 방법에 따라 빙

Table 2 Hydrostatics of "Terry Fox"

LWL	3.739 m
B	0.789 m
T	0.368 m
Scale ratio	21.8
Vm (Vs)	0.551 m/s (5 knot)

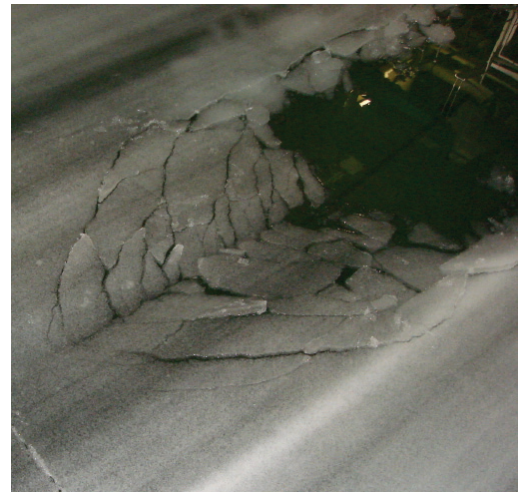


Fig. 2 Tested level ice

시험을 수행하였다.

구체적인 빙시험 절차는 Jones(1987)가 작성한 IOT 빙수조 시험 절차에 따라 진행하였고, 평탄빙, pre-sawn ice, brash ice 순으로 시험을 수행하였다.

Fig. 2에서는 평탄빙에서 빙저항 시험을 하고 난 후 깨어진 모습을 보여주고 있고, Fig. 3 및 Fig. 4는 pre-sawn ice와 brash ice가 모형시험을 하기 전 준비된 모습을 보여주고 있다. pre-sawn ice와 brash ice는 평탄빙 상태에서 보조예인전차 위에 작업자들이 수동 톱을 가지고 준비를 하며, 특히 brash ice 상태는 Fig. 5와 같이 ice scoop을 이용하여 잘라진 빙편들을 2단 또는 3단으로 쌓아서 생성하였다.

시험 종류는 Table 3에서 보는 것과 같이 저항시험과 자항시험으로 나눌 수 있으며, 빙조건으로 세분하여 보면 평탄빙 시험, pre-sawn ice 시험,

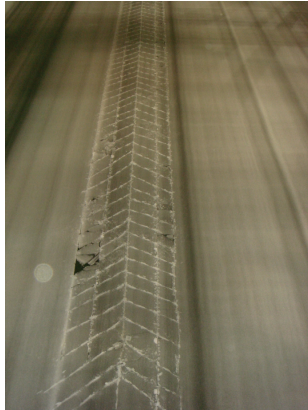


Fig. 3 Prepared pre-sawn ice



Fig. 4 Prepared brash ice

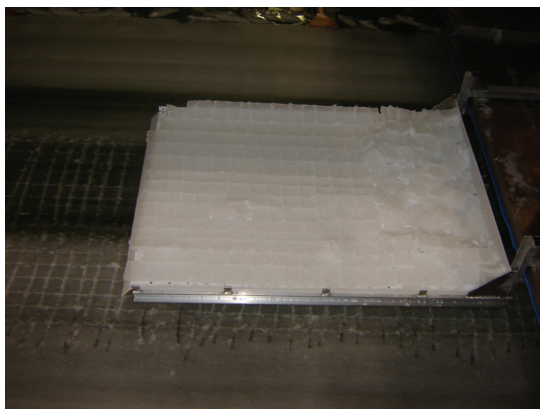


Fig. 5 Ice scoop for multi brash ice

Table 3 Test matrix

Test items	Carriage Speed(m/s)	RPS(/s)	Ice conditions
Resistance	0.1, 0.3, 0.55, 0.7	NA	23mm, 30kPa
Propulsion	0.1, 0.3, 0.55, 0.7	3 ~ 7	15mm, 30kPa
	0.1, 0.3, 0.55, 0.7	3 ~ 8	23mm, 30kPa
	0.1, 0.3, 0.55, 0.7	4 ~ 9	46mm, 30kPa

brash ice 시험으로 나누어서 진행되었다.

3.1 평탄빙 시험

평탄빙 시험은 모든 빙시험의 기본이 되는 것으로 실제 해빙의 두께, 굽힘강도 등을 축척비에 맞게 축소하여 모형빙을 생성한 후 시험한다. ITTC에서는 평탄빙 시험 전후에 두께 및 물리적 특성을 수시로 계측하여 빙시험 보정 및 분석을 하도록 권장하고 있다.

이번 시험에서는 얼음두께가 23mm인 평탄빙 조건에서 빙저항 시험과 빙자항 추진 시험을 수행하였고, 얼음두께가 15mm와 46mm인 평탄빙 조건에서는 자항시험만 수행하였으며, 자항점을 찾기 위하여 프로펠러 회전수를 3~4회 변경하였다.

주로 평탄빙 시험은 수조의 중앙부와 트리밍 탱크와 연결되는 구역에서 수행하였으며, 시험계측 시간은 감가속을 제외하고 약 10초 동안 진행되었다.

평탄빙 시험을 한 후 깨어진 빙수로 양쪽 얼음의 두께를 2m 간격마다 다시 계측하여 빙시험 결과를 보정해 주었다. 보정은 ITTC에 규정되어 있는 방법을 이용하였다.

3.2 pre-sawn ice 시험

pre-sawn ice는 쇄빙선박이 얼음을 깨고 추진할 때, 순수한 쇄빙성분을 구하고자 얼음이 깨어지는 형태로 미리 잘라놓은 상태를 말한다. Fig. 6에서는 ITTC에서 규정한 pre-sawn ice의 여러 형태를 보여준다.

이번에 시험한 pre-sawn ice는 Fig. 3과 Fig 6에서 볼 수 있듯이, ITTC에서 정한 Type A로 준비하여 시험하였다. 먼저 얼음의 폭은 선박의 폭 B, 얼음의 두께를 h라고 한다면, 전체 폭을 $B+(3 \times h)$ 로 하고, 중앙의 2개 구역은 전체 폭의

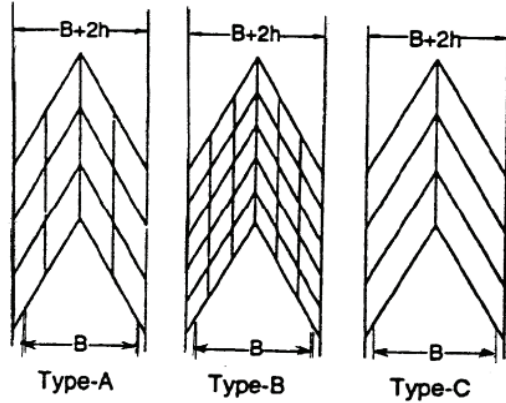


Fig. 6 Patterns of pre-sawn ice field

30%의 비율로 준비하고, 바깥쪽의 2개 구역은 20%의 비율로 만들어서 얼음을 먼저 길이방향에 수평하게 만들어 준다. 그 다음으로는 45°의 각도를 가지고 잘라주며, 길이방향으로의 간격을 10~15cm 정도로 주어서 pre-sawn ice를 만들어 준다.

pre-sawn ice 조건에서 빙시험은 평탄빙에 대한 빙시험 후에 수조의 중앙부에서 주로 수행하였으며, 시험계측은 감가속을 제외하고 약 10초 동안 진행되었다.

평탄빙과 마찬가지로 얼음두께가 23mm인 평탄빙 조건에서 빙저항 시험과 빙자향 추진시험을 수행하였고, 얼음두께가 15mm와 46mm인 평탄빙 조건에서는 자향시험만 수행하였으며, 빙자향시험에서만 자향점을 찾기 위하여 회전수를 3~4회 변경하였다.

3.3 brash ice 시험

brash ice의 경우는 각 수조마다 불리는 이름은 다르지만, 쇠빙선이 깨고 간 빙수로를 내빙선박이 지나는 경우를 모사해 만든 빙상조건이다. 다른 이름으로는 broken channel, rubble field, wide or narrow channel 등으로 불리며, FSICR(Finnish/Swedish Ice Class Rule)에 따라 1A, 1B, 1C 등급으로 나누어져 빙편을 헤치고 항해가 가능해야 한다. 규정된 얼음 두께는 아래와 같다.

$$H_{av} = H_M + 14.0 \times 10^{-3} \times B$$

단, $H_M = 1\text{m}$ (1A), 0.8m (1B), 0.6m (1C) 이며 $B_{\max} = 30\text{m}$ 이다.

일반적으로 빙수로는 모형 폭의 2배로 준비하여 시험하고, 좁은 빙수로의 경우 모형 폭의 1.2배인 상태에서 시험한다.

이번 시험에서는 brash ice 시험을 위하여 brash ice를 2가지 방법으로 준비하였다. 먼저 FSICR에 따라 다른 국외 수조와 비슷하게 채널폭을 1.6m로 결정하고, 실제 ice floe의 크기가 2m 이하이기 때문에 채널폭 내의 평탄빙을 2m/scale ratio, 즉 가로/세로 길이가 Fig. 4와 같이 각각 10cm인 정사각형 모양이 되도록 수동 톱으로 절단하여 평탄빙하고 두께가 동일한 단층 brash ice(single layer brash ice)를 생성하였다.

두 번째 방법은 처음 방법으로 생성된 brash ice를 ice scoop를 이용하여 이중/삼중으로 적층하여 두께가 46mm인 brash ice(double layer brash ice) 조건을 생성하여 각각 brash ice 시험을 수행하였다.

이 결과 얼음두께가 23mm인 경우에는 이중으로 적층하여 48~52mm brash ice 조건을 만들었으며, 얼음두께가 15mm인 경우에는 삼중으로 적층하여 50~54mm brash ice 조건을 생성되었다.

brash ice 조건에서 빙시험은 수조의 1/4부근에서 주로 수행하였으며, 시험계측은 감가속을 제외하고 약 20초 동안 진행되었다.

4. 시험결과 고찰

4.1 빙저항 시험(ice resistance test)

Fig. 7에서는 23mm 두께의 평탄빙, pre-sawn ice, 단층 및 이중 brash ice 상태에서의 저항 시험 결과를 보여주고 있다. 표시된 저항값은 계측된 저항값의 평균값을 분석하여 그려주었다. 평탄빙 시험에서 가장 큰 저항이 값이 계측되었고, pre-sawn ice 시험과 단층 brash ice 시험은 거의 비슷하게 저항이 걸렸다. 이중 brash ice의 경우 큰 마찰력과 전단력으로 인해 지속에서 큰 저항이 걸렸으나 고속으로 갈수록 저항이 회복하여

pre-sawn ice와 단층 brash ice 시험과 비슷하게 고속에서는 저항이 측정되었다.

4.2 빙자항 시험(ice resistance test)

Fig. 8은 23mm 빙자항 시험의 결과를 보여주는 그래프로서, 평탄빙의 저항 시험시 높은 저항 값으로 인해 자항점이 5.7rps 정도로 예측되었다. 마찬가지로 pre-sawn ice 시험과 단층 brash ice

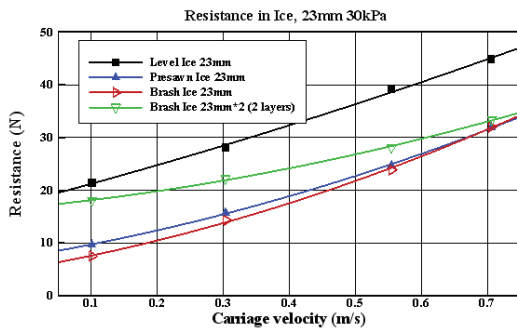


Fig. 7 Mean resistance vs. carriage velocity with trend lines

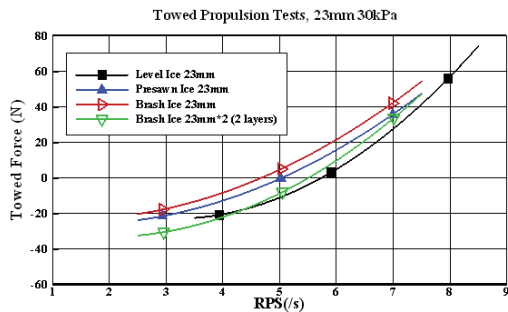


Fig. 8 Towed propulsion tests in 23mm ice

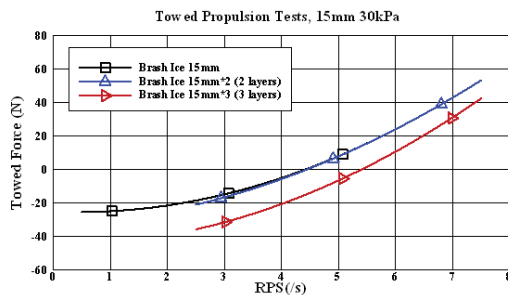


Fig. 9 Towed propulsion tests in 15mm ice

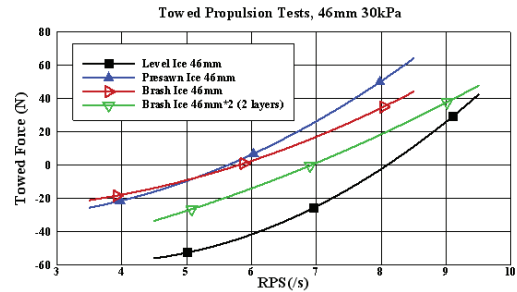


Fig. 10 Towed propulsion tests in 15mm ice

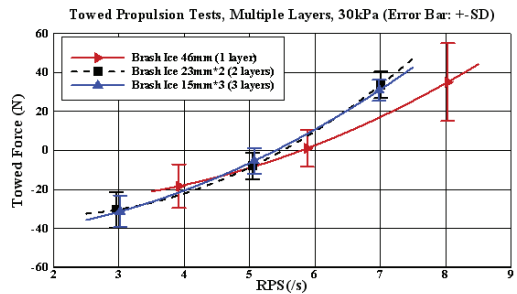


Fig. 11 Towed propulsion tests in multiple layer brash ice

의 자항점은 저항 시험시 거의 비슷한 곡선을 따라 움직였기 때문에 4.7~5.0rps 정도로 비슷하게 측정되었다. 마지막으로 이중 brash ice의 자항점은 5.5rps로 측정됨을 확인할 수 있었다.

Fig. 9는 15mm 두께의 brash ice 빙자항 시험의 결과를 보여주고 있다. 흥미롭게도 단층 brash ice의 자항점과 이중 brash ice의 자항점이 4.4rps로 같게 측정되었다. 삼중 brash ice에서는 약 5.4rps로 단층 및 이중 brash ice 상태보다 훨씬 높게 측정되었다.

Fig. 10는 46mm 자항시험으로, pre-sawn ice와 단층 brash ice 시험의 자항점이 5.6 rps와 5.7rps로 거의 비슷하게 나왔다. 23mm 두께의 시험과 마찬가지로 이중 brash ice는 평탄빙과 단층 brash ice의 중간에서 자항점이 형성되었으며, 23mm에서 46mm로 빙두께가 두꺼워짐에 따라 자항점이 올라가고 있음을 확인할 수 있다.

4.3 brash ice 빙시험

Fig. 11에서 목표 빙 두께가 약 46mm인 brash

ice의 빙시험의 결과를 보여주고 있다. 46mm brash ice의 경우 단층으로 만든 경우, 23mm brash ice를 이단으로 적층한 경우와 15mm brash ice를 삼단으로 적층한 경우를 비교하여 나타내었다. Fig. 11에서 보듯이 단층의 brash ice 상태에서는 자항점에서 회전수(rps)가 5.8rps 정도이나, 이중/삼중 brash ice 조건에서는 5.4~5.5rps부근으로 서로 비슷한 경향을 보여 주고 있다.

5. 결론

본 모형시험법은 해양시스템안전연구소 내에 건설될 빙해수조에서 향후 쇄빙선, 내빙선 및 해양구조물에 대한 빙수조 시험을 위하여 캐나다 IOT 빙해수조와 공동으로 빙시험을 수행한 결과이다.

평탄빙과 pre-sawn 상태의 빙시험은 기존 ITTC 및 국외 주요 빙수조의 방법대로 빙시험을 수행해도 시험정도 문제가 없을 것으로 사료되었으나 brash ice 조건에서의 빙시험은 본 연구를 통하여 개선안이 도출되었다.

특히 brash ice 조건의 빙시험에서는 프로펠러-얼음 상호작용 때문에 가급적 이중 또는 삼중으로 중첩된 brash ice 조건을 생성하여 시험할 필요성이 제기되었다.

향후 국내 유일의 빙해수조가 완공되면 이번에 수행한 평탄빙, pre-sawn ice 및 brash ice 시험에 대한 경험을 통해 캐나다 IOT와 협력으로 빙시험을 정립하여 조기에 빙해수조가 운영될 수 있도록 모형빙 생성법, 빙모형 시험법 및 분석법에 대해 연구하고 개발해야 한다.

또한 실해빙 지역에 대한 실선 데이터가 적기 때문에 향후 산학연이 공동으로 북극해 지역에 대한 실선데이터를 확보하여 더욱 정확한 실험법을 개발하여 고부가가치 선박을 건조하고 지속적으로 선진 조선대국의 위치를 점할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 빙해선박의 원천기술 확보를 위한 빙해수조 기반구축(PN0100A)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Choi, K.S., Lee, W.R. and Lee, J.K., 2006, "A Comparative Study of Ice Resistance Estimation Equations with Measured Data for Icebreakers and Ice-Strengthened Cargo Vessels," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 43, No. 2, pp. 147-155.
- Finnish Maritime Administration, 2005, "Guidelines for the Application of the Finnish-Swedish Ice Class Rules", Finish Maritime
- ITTC, 1999, "The Specialist Committee on Ice: Final Report and Recommendations to the 22nd ITTC," Proc. of the 22nd International Towing Tank Conference, Seoul and Shanghai, Korea and China.
- Jones, S., 1987, Ice Tank Test Procedure at the Institute for Marine Dynamics, Report No. LM-AVR-20, Institute for Ocean Technology, National Research Council of Canada.
- Kim, H.S., Ha, M.K., Ahn D. and 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.
- Spencer D. and Jones S., 2001, "Model-Scale/ Full-Scale Correlation in Open Water and Ice for Canadian Coast Guard R-Class Icebreakers," Journal of Ship Research, Vol. 45, No. 4, pp. 249-261.



< 이 준 주 >



< 조 성 략 >



<Michael Lau>



<Jung-Yong Wang>