

# 큰 빙판에서 아라온 호 쇄빙 속도 성능 해석

김현수<sup>1,†</sup> · 이춘주<sup>2</sup> · 최경식<sup>3</sup>  
인하공업전문대학 조선해양과<sup>1</sup>  
한국해양과학기술원 선박해양연구소<sup>2</sup>  
한국해양대학교 해양공학과<sup>3</sup>

## Speed Trial Analysis of Korean Ice Breaking Research Vessel 'Araon' on the Big Floes

Hyun Soo Kim<sup>1,†</sup> · Chun-Ju Lee<sup>2</sup> · Kyungsik Choi<sup>3</sup>  
Dept. of Ship and Ocean System, Inha Technical College<sup>1</sup>  
Marine & Ocean Engineering Research Institute, Korea Institute of Ocean Science & Technology(KIOST)<sup>2</sup>  
Dept. of Ocean Engineering, Korea Maritime University<sup>3</sup>

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.

The speed performances of ice sea trial on the Arctic(2010 & 2011) area were shown different results depend on the ice floe size. Penetration phenomena of level ice was not happened on medium ice floe and tore up by the impact force because the mass of medium ice floe is similar to the mass of Araon which is Korean ice breaking research vessel and did not shut up by the ice ridge or iceberg. The sea trial on the Amundsen sea was performed at the big floe which is classified by WMO(World Meteorological Organization). Three measurements of ice properties and five results of speed trial were obtained with different ice thicknesses and engine powers. To evaluate speed of level ice trial and model test results at the same ice thickness and engine power, the correction method of HSVA(Hamburg Ship Model Basin) was used. The thickness, snow effect, flexural strength and friction coefficient were corrected to compare the speed of sea trial. The analyzed speed at 1.03m thickness of big floe was 5.85 knots at 10MW power and it's 6.10 knots at 1.0m ice thickness and the same power. It's bigger than the results of level ice because big floe was also slightly tore up by the impact force of vessel based on the observation of recorded video.

**Keywords** : Big floe(큰 빙판), Sea ice(해빙), Ice field test(실선 쇄빙시험), Speed performance in ice(빙 속도 성능)

## 1. 서론

아라온호를 이용한 빙해역 쇄빙시험은 2010년과 2011년 8월 두 차례 북극해 일원에서 수행되었고 시험방법과 빙 특성 계측 방법, 결과는 Kim, et al. (2011a, b)과 Choi, et al. (2011)에 의해 정리되었다. 북극해의 척치(Chuckchi) 해 일원의 북위 80° 근방의 여름철 해빙 특성은 중간 얼음(세계기상기구(WMO)가 정의한 medium floe)로 해빙이 크지 않고(Table 1 참조), 해빙의 자중이 아라온호의 배수량과 비슷하거나 작은 경우가 있어 쇄빙 운항시 해빙이 쇄빙이 되기보다는 아라온호에 밀리거나 크랙(crack)이 쉽게 발생하여 평탄빙(level ice)에서 연속쇄빙 능력을 정확히 평가하기에는 다소 어려움이 있었다. 남극해의 아문센(Amundsen) 해의 경우는 남극 대륙에 인접한 남위 74°까지 접근함으로써 해빙의 크기가 북극의 빙판보다 상대적으로 큰 1년생, 2년생 혹은 다년생 큰 빙판(세계기상기구가 정의한 big

floe)이 많아서 대상 빙판을 수월하게 찾을 수 있었다. 하지만 선박의 운용시간과 안전한 귀환을 위한 해빙선택의 제한은 가지고 있었다.

본 논문에서는 남극해 아문센 해 일원에서 수행한 쇄빙시험의 결과를 정리하였고, 각각의 결과가 서로 다른 빙 두께와 엔진 출력을 가지고 있어서 일정한 빙 두께에서의 속력과 엔진 출력의 관계를 알아보기 위해 Karl-Heinz (2007)에 의해 소개된 HSVA(Hamburg 예인 수조)의 방법에 따라 눈 두께, 빙 두께, 마찰계수 등에 대한 보정을 수행하였고, 빙 강도에 대한 보정에서는 평탄빙이 아닌 빙판의 경우에는 일정한 값을 사용하도록 HSVA의 방법이 정해져 있어서 별도의 보정은 수행하지 않았다.

계측 결과의 보정 값은 아라온(Araon) 평탄빙에서 쇄빙 시험 결과 (Valery & Vladimir, 2010)와 비교하였고, 평탄빙에서 모형 시험 결과 (Lee, et al., 2006)와도 비교하여 아라온 호의 큰 빙판에서의 성능을 확인하였다.

## 2. 쇄빙시험

### 2.1 항로 및 시험 장소

얼음의 명칭을 부르는데 혼선을 피하기 위하여 세계기상기구(WMO)에서 해빙의 크기에 따라 구분하여 놓은 Table 1에 따라 남극해 시험에 사용된 얼음은 1,000m 내외의 크기를 가지므로 본 논문에서는 ‘큰 빙판’으로 명명하기로 한다.

남극의 아문센 해에서의 이동 경로와 쇄빙 시험 장소를 Fig. 1과 같이 표시하였다. 각각에 표시된 정점(station)인 C1, C2 등은 빙해역의 물리, 화학, 생태, 지질 등 연구 활동을 위해 계획된 정점의 이름을 나타내고 있으며, 해빙의 쇄빙 능력 시험을 한 위치는 S1과 S2의 정점 이름으로 표시하였다. 정확한 위치 정보는 Table 2에 나타내었다.

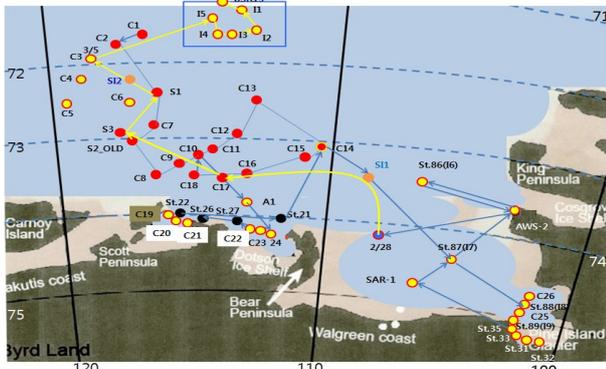


Fig. 1 Amundsen sea route & location of sea ice test

Table 1 Classification of form of ice

Name of ice	Size of floes
Small ice cake; brash ice	< 2m (WMO code 1)
Ice cake	< 20m (WMO code 2)
small floe	20~100m (WMO code 3)
Medium floe	100~500m (WMO code 4)
Big floe	500~2,000m (WMO code 5)
Vast floe	2~10 km (WMO code 6)
Giant floe	> 10km (WMO code 7)

### 2.2 빙상 정보 계측

눈의 두께, 얼음 두께, 건현(Free board) 등은 구멍을 뚫는 장비(Auger)를 사용하여 구멍을 뚫고 자를 사용하여 계측하였고, 빙 강도를 알기 위해 70mm 정도 직경의 얼음 시편을 채취해서 직경, 온도, 중량, 염도 등을 계측하였다. 압축 강도를 위한 시편은 20cm 정도의 길이로 별도로 마련하였다.

선박의 항해 장비 정보는 본선에 저장되는 회전 나침반(Gyrocompass) 신호를 받아서 위도 및 경도를 포함한 위치와 속도, 침로 등을 알 수 있었고, 엔진의 출력은 본선에 장착된 시스템의 화면을 출력하여 1초 혹은 5초 단위로 정리하였다. 운동 관련 정보도 본선의 기록된 값을 전자 파일로 받아서 분석을 할 수 있었다.

계측 장비와 방법 등과 관련 내용은 Kim, et al. (2011a) 과 Choi, et al. (2011)의 논문을 참고하면 되는데 이번 항해에서 사용된 모든 장비는 2010년과 2011년의 장비와 같은 것을 사용하였다.

이번 연구에서 계측과 관련해 주목할 필요가 있는 부분은 눈의 밀도 측정과 눈썰매(skidoo)를 이용한 얼음 두께 계측, 선측에 EM31 장비를 장착하여 빙 두께 계측 등 다양한 방법에서의 전자기 장비를 사용한 얼음 두께 계측을 시도한 것이다. 이와 관련해서는 별도의 논문을 준비 중이므로 본 논문에서는 이와 관련된 내용을 제외하기로 한다.

### 2.3 쇄빙 시험용 큰 빙판(big floe)

쇄빙 시험을 위해 두 개의 큰 빙판이 선정되었는데 두 큰 빙판에 대한 정보는 Table 2에 정리되어 있다. 길이가 각각 900m와 1,100m 정도로 길이(L.B.P)가 95m인 아라온 호의 쇄빙 시험에 충분한 크기로 판단하였다.

각각의 빙판의 이름을 S1과 S2로 명명하였고, 각각의 빙판의 길이가 길어서 쇄빙 시험을 할 때 엔진의 출력을 변화하면서 계측을 수행할 수 있었고, S1에서는 세 개의 결과를 얻어 시험의 이름을 각각 A, B, C로 하였다. 또한 S2의 경우 두 번의 결과를 얻을 수 있었는데 이를 각각 D와 E로 부르기로 한다.

Table 2 The summary of big floe information

Ice floe ID		latitude	longitude		
Location	longitude	108°42.9822N	117°50.4123W		
	latitude	73°28.5867N	72°14.8264W		
Size	Length (m)	900	1,100		
	Width (m)	600	600		
Time (UTC)	Date	22 FEB 2012	4 MAR 2012		
	Time	11:00	04:20		
Weather Condition	Sunny	Cloudy			
Reconnaissance method	Ship	Helicopter			
Test ID	A	B	C	D	E

S1과 S2의 시험을 하는 동안 위치 파악 시스템(GPS :

Global positioning system) 신호를 사용하여 궤적을 그리면 Fig. 2, 3과 같다. Fig. 2, 3의 궤적에서 알 수 있듯이 SI1은 순조롭게 시험이 수행 되어 출력변화에 따른 속도 변화 결과를 소개 얻을 수 있었으나, SI2에서의 시험은 한쪽 끝에서 진입하여 첫 번째 쇄빙 시험 후 빙맥(ice ridge)을 통과하고자 하였으나 실패하였다. 따라서 첫 번째 쇄빙 시험 후 선회하여 다른 한쪽으로 진입하여 두 번째 쇄빙 시험을 하는 방법을 사용하여 양쪽 끝에서 각각 한 개씩 두 개의 결과를 얻을 수 있었다.

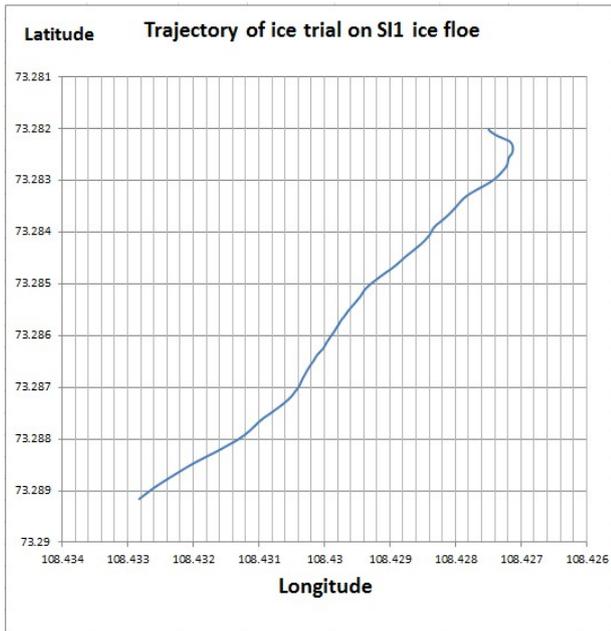


Fig. 2 Trajectory of ice trial on SI1 ice floe

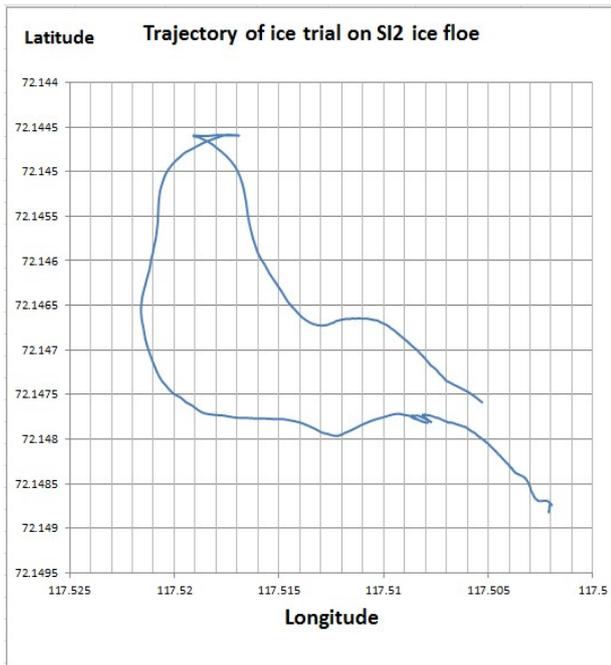


Fig. 3 Trajectory of ice trial on SI2 ice floe

### 3. 결과 평가

#### 3.1 쇄빙시험 결과의 정리

Fig. 4는 SI2에서 계측된 좌 우현 추진기의 회전수(RPM)와 추진기의 각도, 엔진의 전체 출력을 시간의 변화에 따라 변화되는 과정을 보여주고 있는데, SI1과 SI2 모두에서 이러한 결과를 얻었다. Fig. 4의 가로축은 세계시 (UTC : Universal Time Coordinated)를 사용하여 표현하였고, 세로축의 좌측은 회전수, 추진기 각도를 우측은 엔진 출력을 MW 단위로 표현하였다.

빙판의 두께를 계측한 결과는 Fig. 5와 같은 방법으로 정리하였는데 가로축은 진행거리를 표시하고 세로축은 눈 두께와 얼음 두께를 나타내었다. 자유수면(Free surface)을 영점으로 하여 눈 높이를 일점쇄선으로, 건현을 이점쇄선으로 표현하였고 얼음 두께를 실선으로 표현하였다. 건현을 고려한 눈과 얼음의 수직 분포를 길이 방향으로 알 수 있도록 표현하였다.

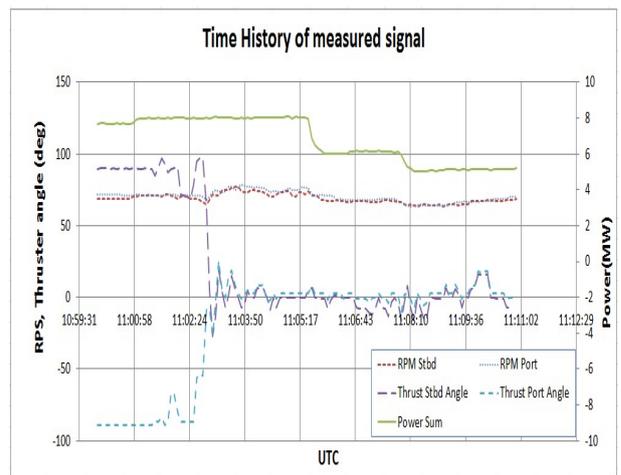


Fig. 4 Time history of measured signal

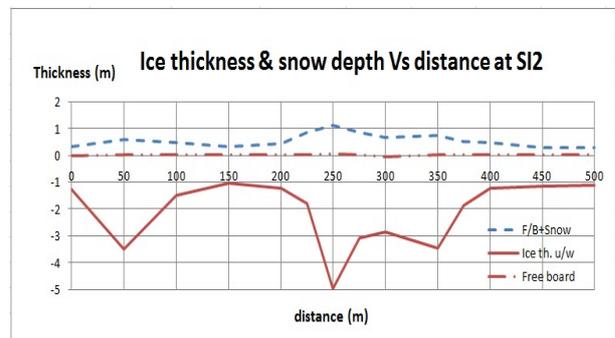


Fig. 5 Ice thickness & snow depth Vs distance at SI2

SI1에서는 800m구간에 대해 50m간격으로 계측하였고 SI2에 대해서는 500m구간에 대해서 25m 간격으로 빙 두께를 계측하였다.

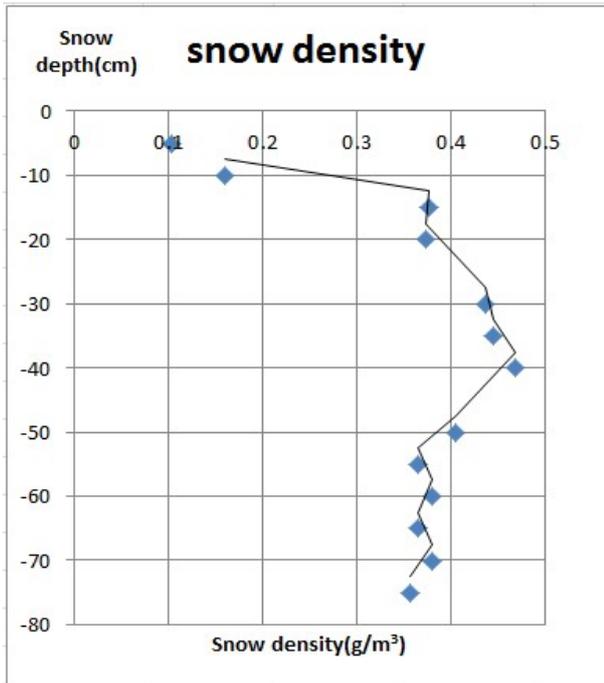


Fig. 6 Result of snow density at near S11

눈 밀도는 극지연구소의 홍 상범 박사팀의 도움을 받아서 계측을 수행하였는데 S11과 S12에서 계측되지 않았으나 하루 전에 S12와 가까운 거리에 있는 빙판에서 계측되어서 같은 시기에 내린 눈으로 판단하여 같은 밀도를 사용하였다. 눈 밀도는 100m 단위로 3개 지점을 계측하여 평균을 취하였고, 눈 밀도의 평균값은  $0.361 \text{ g/cm}^3$  로 일반적으로 해빙의 눈 밀도로 알려진  $0.3 \text{ g/cm}^3$  보다 큰 값이다. 눈 밀도를 계측 결과의 하나를 Fig. 6에서 보여주고 있다.

Table 3 Results of ice trial at S11

Test ID	Mean Power (MW)	Distance (m)	Time (sec)	V (knots)	Mean ice thickness (cm)
A	8.02	158.1	105	2.93	145.39
B	6.10	136.4	110	2.41	99.11
C	5.09	123.7	80	3.01	92.50

Table 4 Results of ice trial at S12

Test ID	Mean Power (MW)	Distance (m)	Time (sec)	V (knots)	Mean ice thickness (cm)
D	6.95	100.5	230	0.85	198.17
E	7.95	139.3	140	1.93	192.47

S11 빙판에서 수행한 쇄빙 시험의 결과를 정리하면 Table 3과 같고, S12 빙판에서 수행한 결과는 Table 4와 같다. Table 3을

두께에 따른 속도와 엔진 출력의 관계를 보기위해 그래프로 정리하면 Fig. 7과 같다.

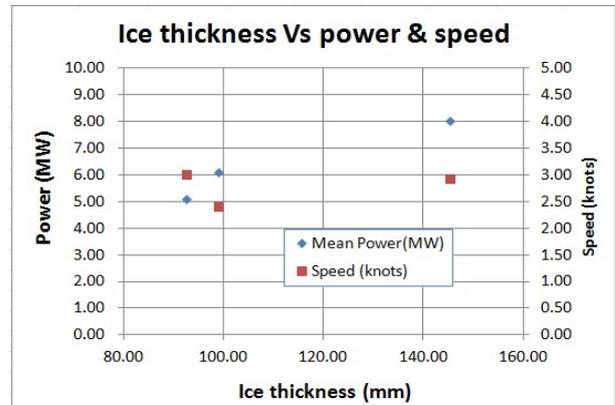


Fig. 7 Relation among ice thickness, engine power and speed

Fig. 7에서 한 개의 점은 일반적인 예상을 벗어나는데 이 점은 Table 3의 'C'이다. C의 결과는 엔진 출력을 6MW에서 5MW로 1MW를 줄였음에도 불구하고 빙 두께가 7cm 줄은 이유로 속도가 0.7 knots 증가하는 결과를 준 것이다. 이러한 결과는 현장 시험 관찰 결과 다음의 Fig. 8과 같이 C 시험 구간에서 빙판이 갈라져서 생긴 결과이다. 갈라진 얼음 사이로 비 결빙 구역(open sea)이 생겨서 작은 엔진 출력에도 큰 속도를 낼 수 있었다. 따라서 향후 해석에서 C는 분석 대상에서 제외하였다.



Fig. 8 Ice split at S11 'C' test

### 3.2 빙 두께, 마찰 계수 보정

Table 3과 4는 빙 두께와 엔진 출력이 서로 달라 상대 비교가 쉽지 않은 단점이 있다. 따라서 Karl-Heinz (2007)이 수행한 방법을 사용하여 동일한 빙 두께에서의 엔진 출력과 속도를 사용하여 결과를 평가하고자 한다.

눈의 밀도에 대한 보정에서 Valery and Vladimir (2010)은 눈의 밀도가  $0.35 \text{ g/cm}^3$  이상인 경우에는 눈의 두께를 얼음 두께에 포함시키는 AARI(Arker Arctic Research Institute)의 경험을 소개한 바 있다. 따라서 본 연구에서도 그들의 방법을 따라서 보

정을 수행하였다. 계측한 눈 밀도가  $0.361 \text{ g/cm}^3$ 로서  $0.35 \text{ g/cm}^3$ 보다 큰 값이므로 빙두께에 눈 두께를 더하여 새로운 빙 두께로 사용하였다.

Table 5 Summary of correction for 1.03m ice thickness

ID	A	B	D	E
V (knots)	2.93	2.41	0.85	1.93
Hi-actual (cm)	158.5	116.7	227.5	222.2
Fni	0.38	0.37	0.09	0.21
A	1.08	1.08	1.17	1.13
F1	0.63	0.87	0.40	0.42
Hi-Target (cm)	103	103	103	103
F2	1	1	1	1
F3	1.11	1.11	1.11	1.11
Power (MW)	8.02	6.10	6.95	7.95
Power Correction (MW)	5.91	6.24	3.22	3.90

목표로 하는 빙 두께에 대한 보정은 HSVA에서 사용하는 방법을 그대로 사용하였다. 마찰에 의한 보정은 일반적인 눈과 선체의 마찰계수 0.05를 사용하였다. 구하여진 보정 계수를 사용하여 목표 두께와 속도에서 엔진 출력을 계산하였다.

Valery and Vladimir (2010)의 결과와 비교하기 위하여 1.03m 두께에서의 출력을 계산하여 Table 5에 정리하였고, Lee, et al. (2006)의 모형시험 결과와 비교하기 위해 1.0m에서의 출력을 계산하여 Table 6에 정리하였다.

Table 6 Summary of correction for 1.0m ice thickness

ID	A	B	D	E
V (knots)	2.93	2.41	0.85	1.93
Hi-actual (cm)	158.5	116.7	227.5	222.2
Fni	0.38	0.37	0.09	0.21
A	1.08	1.08	1.17	1.13
F1	0.61	0.85	0.38	0.41
Hi-Target (cm)	100	100	100	100
F2	1	1	1	1
F3	1.11	1.11	1.11	1.11
Power (MW)	8.02	6.10	6.95	7.95
Power Correction (MW)	5.72	6.05	3.1	3.77

Table 5, 6을 실선 쇄빙 시험과 모형시험과 비교하여 그래프로 그리면 각각의 결과는 Fig. 9, 10과 같이 정리할 수 있다.

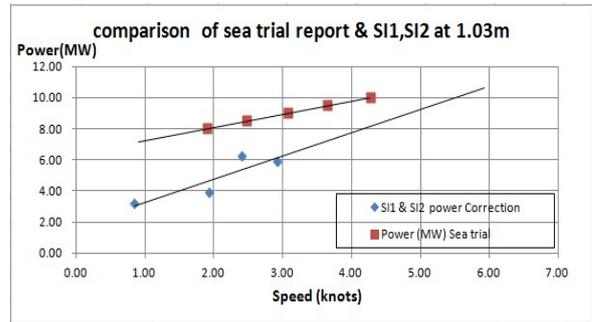


Fig. 9 Comparison of sea trial and SI1, SI2 test at 1.03m ice thickness

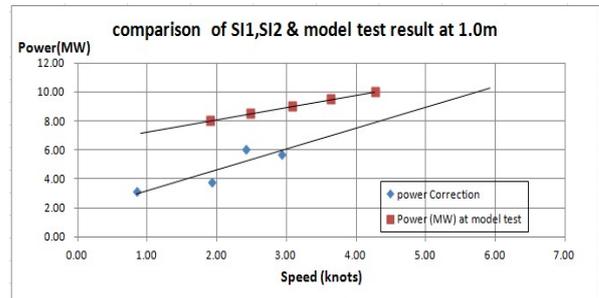


Fig. 10 Comparison of sea trial and SI1, SI2 test at 1.0m ice thickness

Fig. 9, 10은 평탄빙에서의 실선 시운전 및 모형 시험 결과를 큰 빙판에서 결과와 비교한 것으로 두 그래프 모두 같은 속도를 내기 위한 출력이 큰 빙판 보다는 평탄빙에서 더 큰 것을 알 수 있었다.

## 4. 결론

본 논문은 큰 빙판에서 빙해역 시운전을 하여 평탄빙 시운전 및 모형시험 결과와 비교한 것으로 아라온호의 큰 빙판에서 성능을 알 수 있었고, 빙해역 시운전 결과를 모형시험 결과와 비교하는 과정을 정립한 것에 의의가 있다고 하겠다.

(1) Fig. 9에 의하면 1.03m 빙 두께에서 쇄빙연구선 아라온의 큰 빙판 성능과 평탄빙 성능을 알 수 있으며, 10MW 엔진 출력으로 큰 빙판에서 5.85 knots의 속도를 낼 수 있다.

(2) Fig. 10에 의하면 1.0m 빙 두께에서 쇄빙연구선 아라온의 큰 빙판성능과 평탄빙 성능을 알 수 있으며, 10MW 엔진 출력으로 큰 빙판에서 6.1 knots의 속도를 낼 수 있다.

본 연구를 통해 아라온호의 큰 빙판 성능을 알 수 있었으나, 각종 항해 신호의 계측과 정리에 상당한 어려움이 있었다. 향후 과제로는 자동항해기록장치(VDR : Voyage Data Recode)를 이용한 빙해역 시운전 계측 및 해석 시스템과 빙 두께 계측 시스템

과 연계하여 선박의 성능을 좀 더 과학적이고 체계적으로 획득하여 모형시험 결과와 비교를 통해 실선 모형선 상관계수를 찾아낸다면 수조의 활용과 우수한 쇄빙 선형 연구에 좋은 결과를 줄 수 있을 것으로 판단된다.

## 후 기

이 논문은 지식경제부 산업원천기술개발사업인 "빙해선박의 극지방로 안전운항기술 및 극저온 빙성능 시험평가 기법 개발 (과제번호 10033640)" 중 "2세부과제 : 빙성능 시험기법 및 최적화 기술(PNS133B)" 과제의 연구비 지원으로 수행된 결과입니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

또한 아라온호의 선장님을 포함한 승조원과 아문센 해 연구항차의 대장 이 상훈 박사님 그리고 눈 밀도 계측을 도와주신 홍 상범 박사님, 빙 특성 계측을 도와주신 서울대 김 진우, 김 성희, 극지연구소 문 흥수, 김 형준 씨에게 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

Choi, K.S. Lee, C.J. Rim, C.W. & Kim, H.S., 2011. Strength Characteristics of Arctic Sea Ice from Ice field Tests of the Icebreaking Research vessel ARAON. *Journal of the society of Naval Architects of Korea*, 48(3), pp.254-259.

Karl-Heinz, R., 2007. *Model Test in Brash Ice for Class 1B and 1A for a 52000 DWT TANKER*, Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt (HSVA) Report No.4473-1001.

Kim, H.S. Lee, C.J. Jeong, S.Y. & Choi, K.S., 2011a. A Study on the Speed Sea Trial on the Ice field using ice breaking research vessel "Araon". *Journal of the society of Naval Architects of Korea*, 48(5), pp.420-424.

Kim, H.S. Lee, C.J. Choi, K.S. & Kim, M.C., 2011b. Study on icebreaking performance of the Korea icebreaker ARAON in the arctic sea. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 3(3), pp.208-215.

Lee, C.J. Koh, C.D. Lee, Y.Y. & Park, L.R., 2006. A development of icebreaking Hull form for Antarctic Research Vessel. *Proceedings of the sixteenth (2006) International Offshore and polar Engineering Conference*, San Francisco, California, USA May 28-June 2 2006, pp.608-613.

Valery, L. & Vladimir, L., 2010. *Full-scale ice trials of the Korean research icebreaker ARAON*, AARI(Arctic and Antarctic Research Institute) report.



김 현 수

이 춘 주

최 경 식