

쇄빙연구선 “Araon” 호를 활용한 빙해역 속력 시운전에 관한 연구

김현수^{1,†} · 이춘주² · 정성엽² · 최경식³
인하공업전문대학 선박해양시스템과¹
한국해양연구원 해양시스템안전연구소²
한국해양대학교 해양공학과³

A Study on the Speed Sea Trial on the Ice Field for Ice Breaking Research Vessel “Araon”

Hyun-Soo Kim^{1,†} · Chun-Ju Lee¹ · Seong-Yeob Jeong² · Kyungsik Choi³
Department of Ship and Ocean System, Inha Technical College¹
Marine & Ocean Engineering Research Institute, KORDI²
Department of Ocean Engineering, Korea Maritime University³

Abstract

To know the speed performance of “ARAON” in Arctic ice field, the measurement of ice properties which is ice thickness & strength, snow depth and free board were performed on July 2010. The measuring method of nautical signals such as heading angle, power of engine, wind & current information etc, was described in this paper. The speed sea trials in ice were performed on the four different positions with different ice properties and engine powers because the uniform level ice is not detected in the Chukchi Sea. The test field was partially constrained ice floe with hummocks and it was superposed with small broken ice pieces each other. All of the measured ice properties were compared and evaluated according to the results of sea trial. The relations between speed, ice thickness, strength and power were summarized. Consequently according to the sea trial results, the speed of ARAON is 2.78knots at the 2.49m ice thickness with 6.55MW engine power.

Keywords : Sea ice(해빙), Ice field test(빙해역 시험), Ice floe(빙판), Hummock(빙언덕), Ice sea trial(빙해역 시운전)

1. 서론

빙해역 속력 시운전은 설계된 쇄빙선의 속도 성능이 빙해역에서 달성되었는지 여부를 확인하는 것이 가장 큰 목적이지만 시운전 결과를 유사한 선박의 설계에 활용하면 주어진 빙상환경에서 쇄빙 선박의 선형과 추진 시스템에 따른 속도와 마력의 관계를 추정할 수 있어 쇄빙선 초기 설계의 정도를 높일 수 있는 장점이 있다.

빙해역에서 수행된 시운전 결과에 대한 논문으로 Michailidis & Murdey (1981)는 캐나다 해안경비대의 8천톤급 쇄빙선인 Franklin을 사용하여 Melville 호수에서 평탄빙, 팩아이스(pack ice), 브로큰 채널(Broken channel)등에서 속도와 마력의 관계를 계측하여 모형시험 결과에서 실선의 값으로 추정한 결과와 비교하였고, 조종성능과 관련하여 선화시험을 수행하고 결과를 발표하였다. Peter, et al. (1987)는 쇄빙선 USCGC Mackinaw를 이용하여 42.6m인 쇄빙선 USCGC Mobile Bay를 직경 5cm, 길이 600m의 예인 삭(towline)으로 예인하여 쇄빙선의 속도 성능을

확인하는 연구를 수행하였다.

비교적 최근에는 Lawrence, et al. (1994)은 6,500톤급 미국의 쇄빙선인 Nathaniel B. Palmer를 사용하여 실해역 시운전 결과를 소개하였고, Valery, et al. (2008)은 3,800톤급의 다목적 쇄빙선(MISV; multipurpose Icebreaking vessel)를 사용하여 Norway 북쪽의 Bely island, Kara Sea 등에서 실선 시운전하여 결과를 소개하였다.

본 논문은 한국 최초의 쇄빙 연구선인 아라온(Araon) 호가 첫 북극해 항해에서 수행한 속력 시운전에 관련된 연구로서 시운전은 북위 80° 부근의 Chukchi Sea 부근에서 7월 말부터 8월 초 사이에 수행되었다. 시험을 수행하기로 선정된 빙판(ice floe)의 길이는 아라온호 길이의 2~3배, 폭은 아라온호 폭의 4~5배 정도 크기를 대상으로 하였다. 총 4회의 속력 시운전을 수행하였고, 빙해역의 빙상정보 계측 종류와 방법 그리고 결과를 소개하였다. 측정된 빙상 정보에서 수행된 속력 시운전 결과를 분석하여 쇄빙 연구선 “Araon”의 속도 및 쇄빙 성능을 평가하였다.

2. 빙해역 시운전

2.1 쇄빙 연구선 아라온 소개

한국해양연구원 부설 극지연구소가 보유하고 있는 한국 최초의 쇄빙 연구선 아라온의 주요제원은 Table 1과 같이 정리하였다.

Table 1 The principal dimension of Araon

Parameters	Value
Length between Perpendicular(m)	95.0
Beam, Maximum W.L. (m)	19.0
Summer draft (m)	7.6
Volume of displacement(m ³)	9,071

아라온호의 승선 가능 인원은 85명, 발전기는 3400kW 4기가 설치되어 있고, 추진 장치는 5,000kW 아쿠아마스터(Aquamaster) 2기가 장착되었다. 쇄빙 성능은 630kPa의 굽힘 강도를 갖는 1m 두께의 얼음을 3노트로 연속 쇄빙이 가능하도록 설계되었다.

아라온호는 2009년 인도된 후 12월부터 남극 처녀항해와 실선 시운전을 무사히 완료하였고, 2010년 6월부터 첫 북극항해를 위해 출항하였다. 북극해에서 쇄빙 항해를 위해 할애된 시간은 약 30일이었다. Fig. 1은 첫 북극해 항해 기간 중에 항공 촬영한 모습을 보여주고 있다.



Fig. 1 Araon in Chukchi Sea on July 2010

2.2 빙해역 빙상 정보 계측 방법

빙해역 속력 시운전에서 두께와 강도에 따라 주어진 엔진의 출력에서 속도 성능이 큰 차이를 보이기 때문에 빙해역 속력 시운전을 할 때 가장 중요한 빙상정보는 얼음의 두께와 강도이다. 빙두께를 계측하는 모습은 Fig. 2에서 볼 수 있는데 계측 방법과 장비 등에 대해서는 Lee, et al. (2010)의 연구에서 잘 정리되어 있고, 10m 혹은 5m 간격으로 줄자를 사용하여 계측한 얼음의 실측 결과와 전자기력(electro-magnetic)을 이용한 장비인 EM-31을

사용한 계측 결과는 Jeong, et al. (2010)의 연구에서 잘 일치하는 것을 보여주어 계측 결과의 신뢰도를 검증하였다.

빙편의 강도 계측과 얼음의 온도, 밀도, 무게 등을 측정 후 압축강도를 계측하고 이들을 사용하여 굽힘 강도를 구하는 방법 등과 관련하여 Choi, et al. (2010)의 연구에서 잘 정리되어 있다.



Fig. 2 Measurement of ice thickness

건현(free board)과 눈 두께(snow depth)는 자(scale)를 사용하여 계측하였다. 건현은 빙판이 놓여 있는 상태를 유추해 볼 수 있는 중요한 정보이다. 건현이 크다면 얼음이 물위로 많이 올라와 있는 상태인 것을 알 수 있는데 이는 얼음의 밀도가 작거나 무언가에 의해 강제로 띄워져 있는 상태를 나타내는 것으로 얼음과 얼음이 서로 중첩되어 있는 상태에서 아래 부분에 있는 얼음의 부력에 의해 윗부분 얼음의 건현이 커진 것으로 판단할 수 있다. 눈 두께의 1/3은 얼음의 두께에 더해져 얼음 두께로 나타나기 때문에 역시 중요한 인자 중의 하나이다.

2.3 시운전 해역 정보

시운전 해역의 정확한 위도 경도는 Table 2에 정리하였다.

Table 2 The latitude & longitude of ice speed trial position

ID	latitude	longitude
No.1	73°02.6703N	168°26.1942W
No.2	77°01.3862N	159°56.4814W
No.3	77°02.7006N	159°49.7612W
No.4	77°59.0562N	159°38.4158W

시운전이 수행된 항해 기간 중에 북극해는 계절적으로 여름철이어서 얼음이 녹는 과정에 있었다. 따라서 북위 80도 근처에서 1.0m 정도의 평탄빙은 찾을 수가 없었다. 대상이 되는 빙판은 가능한 큰 것을 찾고자 하였으며, 배 길이의 3배, 배 폭의 8배 (300m × 160m)인 빙판을 '적정 크기'로 정의하였으나 '적정 크기'의 빙판을 발견하는 것도 쉽지 않아 유사한 크기에서 시험을 수행하였다. '적정 크기'의 정의는 모형시험을 수행하는 과정을 검토하여 착안한 것으로 모형시험을 수행할 때 일반적인 계측은

정해진 속도에서 배 길이 한 배 정도(one ship length)를 계측하고, 빙해 수조의 항로(channel) 사이 간격을 배 폭의 4배 정도를 하는 것에서 착안하였다. 위에서 정의된 '적정 크기'에서 모형 시험은 정상상태인 경우에 계측 값이 안정적으로 계측되고 얼음의 쇄빙현상도 충분히 관찰할 수 있으며, 폭에 의한 항로 간섭도 없다.

Table 3 The information of ice floe size and mean ice thickness

ID	Length(m)	Beam(m)	mean thickness (m)
No.1	130	100	1.1
No.2	200	80	2.2
No.3	280	100	1.8
No.4	300	110	2.46

Table 3에는 시운전이 수행된 각 지점에서의 계측된 빙편의 크기와 두께정보를 보여주고 있다. Table 3에 의하면 빙편의 크기가 대부분 '적정 크기'보다 작은 것을 알 수 있는데 이 경우 쇄빙현상에 차이가 있을 수 있음을 의미하고 있다. 또한 평탄빙의 경우를 가정하기 위해서는 빙편의 주변이 모두 구속되어 있는 조건이 필요한데 실험에서는 완벽한 구속을 기대할 수 없었다. 이러한 영향은 빙편의 운동으로 인한 영향이 속도에 영향을 줄 수 있음을 알 수 있다.

2.4 항해 정보 계측 방법

일반해역에서는 시운전 계측 시스템을 사용하여 항해기록장치(VDR, Voyage Data Recorder)등과 연결된 시운전 계측장비를 사용하여 자동으로 계측이 되지만 빙해역의 경우 빙상정보를 추가한 시스템이 필요하게 되는데 이러한 시스템이 갖추어지지 않아서 한시적인 방법으로 선박에 설치된 각종 항해 장비를 활용하였다. 선박의 출수는 시험 전 출수계의 값을 사진 촬영하여 기록하였고, 수심도 본선 수심계 정보를 사용하였다. 대기온도는 온도계의 값을 기록하였다.

엔진 출력은 시스템의 값을 입력으로 읽을 수 있는 준비가 되어 있지 않아서 선박에 장착된 엔진 출력 화면을 비디오로 녹화하였고, 위도, 경도, 속도, 침로(heading) 등의 정보 역시 비디오로 녹화하여 시험이 완료된 후 5초 단위로 다시 정리하는 방법을 사용하였다. 추진기의 방향 전환은 발생하지 않을 것으로 판단되어 타각에 해당하는 추진기 전환은 기록에서 제외시켰다. 엔진 출력과 위치 정보의 시간 동기화를 위해 시작과 끝의 구령을 음성으로 녹음하였다.

또한 빙편의 쇄빙패턴을 관찰하기 위해 비디오카메라를 우현 현측, 선수 전방, 선수 직하, 선미 후방에 설치하여 촬영하였다. 엔진의 출력은 각 시운전 지역에서 50~75%를 사용하였는데 선박의 안전이 최우선 항목이어서 빙편의 두께에 따른 출력을 권고하고, 선장의 경험 등을 종합하여 선장이 결정을 하도록 하였으며,

빙판에 표시된 선을 따라서 선박의 침로를 잡고, 엔진이 출력을 낼 수 있는 준비가 되면 선장의 구령에 의해 실선 계측시험을 수행하였다. Fig. 3은 4회의 빙해역 시운전 중에서 첫 번째 시운전 대상 빙편의 사진을 보여주고 있다.

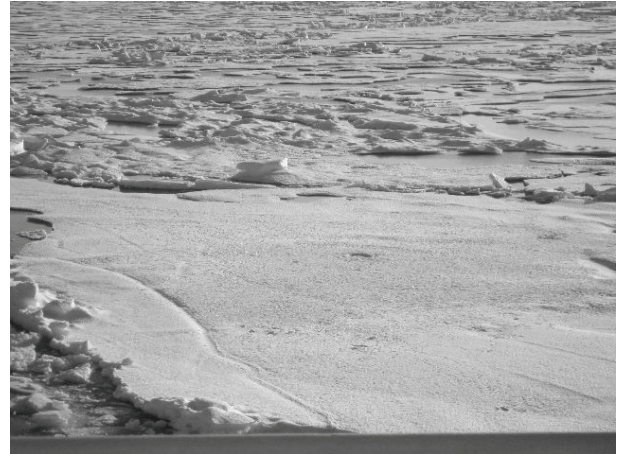


Fig. 3 Ice floe of first ice sea trial

2.5 빙상 정보 계측 결과

계측된 속도 시운전 결과를 Table 4로 정리하였다. 'No.1, No.2..' 등으로 표시된 것은 첫 번째 및 두 번째로 시도된 시운전을 나타낸다.

Table 4 Summary of measured datum at each ice field

Trial No.	No.1	No.2	No.3	No.4
Length (m)	100	160	210	200
Flexible strength (kPa)	70	170	160	250
Ice thickness (m)	1.1	2.2	1.9	2.5
STD of ice thickness (m)	0.45	0.52	0.48	0.86
Snow depth (cm)	13	9	8	10
Free board (cm)	48	28	25	34
Equivalent ice thickness (m)	1.14	2.25	1.91	2.49

Table 4에서는 몇 가지 특징적인 것들을 발견할 수 있다. 첫째는 얼음의 강도가 너무 작다는 것이다. 계측된 얼음의 강도가 약 70kPa~250kPa로 아라온이 설계할 당시 목표로 설정된 630kPa 보다는 상당히 작은 것을 알 수 있다. 작은 강도에 대한 영향이 선박의 저항 감소로 나타나 속도가 커질 수 있음을 알 수 있다.

둘째는 건현 값이 너무 크다는 것이다. 2010년 5월에 DNV선급의 연수(Practical Arctic Course)에서 계측된 Norway Svalbard 지역에서 건현은 10cm이하로 안정적인 값을 갖고 있었음에 반해 8월 Chukchi Sea에서 계측된 건현 값은 평균 30cm 정도이고 1.1m 얼음 두께에 최고 50cm까지 나타나는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과의 원인은 얼음과 얼음이 상호 중첩되어 있는 것으로 평가되었다.

셋째는 얼음의 두께 분포의 편차가 상당히 크다는 것을 표준 편차로부터 알 수 있다. 1.1m의 얼음 두께에서 0.45m의 편차를 보이고 있는데 약 41%의 편차를 보이고 있음을 알 수 있다. Jeong, et al. (2010)은 각 시운전 지점에서 10m 간격으로 EM-31장비를 사용해 두께를 계측한 결과를 발표하였는데 이 결과에는 중첩된 얼음의 두께가 평균 두께의 산정에 포함된 것임을 알 수 있다. 따라서 실제 평탄빙의 두께보다 더 두꺼운 빙 두께가 계측된 것을 알 수 있다. 하지만 현실적으로 중첩된 얼음을 제거하고 빙 두께를 계측하는 것은 EM-31 장비를 사용하거나 직접 계측을 한다는 것은 어려운 일이다.

넷째는 Table 3에서도 알 수 있듯이 얼음의 크기가 아라온호에 비해 그다지 크지 않다는 점이다. 첫 번째 빙판의 경우 길이, 폭 및 두께가 130m × 100m × 1.1m로 중량을 추정해 보면 해빙의 밀도는 지역에 따라 차이를 보이지만 900 kg/m³로 가정하면 약 1만 3톤 정도(12,870톤)이 된다. 아라온호의 배수량이 9천 톤인 것을 고려하면 빙판의 중량이 상대적으로 크지 않은 것을 알 수 있고, 빙판이 충분히 구속되어 있지 않은 상태에서 아라온호가 속도를 가지고 빙판에 진입한다면 빙판 전체가 운동을 할 수 있다는 것을 고려하여야 한다. 따라서 계측된 본선의 속도가 순수한 쇄빙상태에서 선박의 속도로 평가하기에는 무리가 있다고 하겠다.

위에서 언급된 네 가지 특징들을 종합해 보면 속력 시운전 결과를 평탄빙의 성능으로 판단하는 것에는 무리가 있다. 하지만 빙해역의 집중도 9/10 (전체의 90%가 얼음으로 덮혀진 빙해역) 이상인 해역에 존재하는 대형 빙판에서의 아라온호의 성능을 확인한 결과로 아라온호의 운용에 있어서는 중요한 자료로 활용될 것으로 판단된다.

3. 결과 평가

속력 시운전 결과는 Table 5에 정리하였다. Table 5는 계측된 결과를 그대로 정리한 것으로 앞에서 언급한 빙 두께에 대한 보정은 고려하지 않았으며, 속도는 매초마다 계측된 속도의 평균을 기록하였다. 또한 네 번째 시도에서 엔진의 출력을 5.03 ~ 6.55MW로 증가시켰는데 중간에 천이구간을 제외하고 엔진 출력에 따라 두 구간으로 나누어 5.03MW 출력과 6.55MW 출력에 대한 결과를 각각 No.4A와 No.4B로 정리하였다.

Table 5 Summary of Speed trial results in ice field

Trial No.	No.1	No.2	No.3	No.4A	No.4B
Distance (m)	100	160	210	30	150
Time (sec)	35	65	120	30	105
Mean speed (m/s)	2.86	2.46	1.75	1.0	1.43
Ice Thickness(m)	1.14	2.25	1.91	2.49	2.49
Power (MW)	5.99	6.04	5.03	5.04	6.55

Table 5를 속도와 두께의 그래프로 표현하면 Fig. 4와 같은 결과를 얻을 수 있다. Fig. 4의 결과는 평탄빙의 결과보다 속도 성능이 우수한 결과를 보여주고 있으며 다음에 기술하는 몇 가지의 평탄빙에서 적용되는 일반적인 역학적 경향을 만족시키는 것을 알 수 있다. 첫째로 같은 엔진 출력에서 얼음의 두께가 두꺼울수록 속도가 작아진다는 것으로 Fig. 4의 사각형과 다이아몬드 형상의 심볼(symbol)을 각각 비교할 경우 그 경향을 찾을 수 있다. 둘째는 엔진의 출력이 클수록 큰 속도로 진행된다는 것인데 이는 사각형과 다이아몬드 심볼의 경향을 동시에 비교하는 경우 Fig. 4에서 확인 할 수 있다. 셋째는 같은 얼음 두께에서 출력이 큰 경우 속도가 증가한다는 것인데 Fig. 4에서 2.5m 얼음 두께에서 사각형과 삼각형 심볼을 비교하여 그 결과를 알 수 있다.

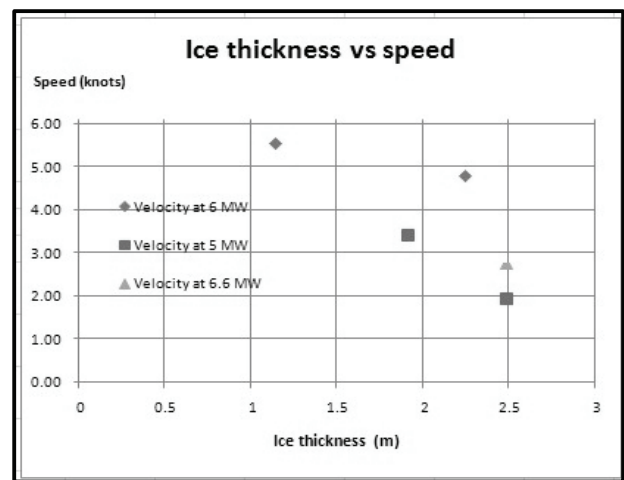


Fig. 4 Results of relations between ice thickness & vessel speed

하지만 시운전에서 계측된 결과인 속도 성능은 평탄빙에서의 성능과는 차이가 있을 수 있는데 그 이유는 앞에서 일부 언급한 바와 같이 빙판의 크기가 선박에 비해 상대적으로 작고, 얼음의 두께 계측에 중첩의 효과가 일부 포함되어 있으며, 강도 역시 설계 목표인 630kPa보다 작은 70~250kPa의 강도에서 수행되었기 때문이다. 속도 계측의 정밀성에서 본선 위성 위치 확인 시스템(GPS) 속도의 평균을 사용한 것도 오차의 원인이 될 수 있는데 그 이유는 매 초마다 위치 정보를 기초로 계산된 속도가 오차를 누적할 가능성이 있기 때문이다. 또한 Azimuth 추진기로 방향 전환을 하면 선박은 선회운동을 하게 되고 이때 발생하는 선체의 운동이 쇄빙을 일으키고 이러한 선체 운동이 선수 부분 뿐만 아니라 선측의 쇄빙현상도 유도함으로 발생하는 속도 감소 등도 전혀 반영되지 않았기 때문이다.

4. 결론

본 논문은 쇄빙연구선 아라온호를 이용하여 Chukchi sea에서 집중도 9/10 이상인 조건의 빙판에서 수행한 빙해역 실선 시운전 결과로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 쇄빙연구선 아라온호를 이용하여 북위 80° 근방의 Chukchi sea에서 집중도 9/10 이상인 빙해역의 빙판의 두께, 강도, 눈 두께, 빙판의 견현 등 빙상 정보를 수집하였고, 실선 속도 계측을 수행하였으며 그 결과를 정리하였다.
- (2) 빙판에서 시운전 결과에 따르면 같은 빙두께에서 엔진 출력이 커짐에 따라서 속도가 커지고, 같은 엔진 출력에서 빙 두께가 두꺼울수록 속도가 작아지는 경향을 확인하였다.
- (3) 최종적으로 아라온호는 집중도 9/10이상의 빙해역에서 6.55MW의 마력으로 2.49m의 평균 얼음두께를 2.78knots의 속도로 주행할 수 있었다.

향후 과제로는 빙 두께와 강도 등의 정보와 빙상태를 분석하는 장비를 포함하는 빙해역 시운전 계측 및 해석 시스템을 만들어 좀 더 과학적인 빙해역 시운전의 계측과 해석을 수행할 예정이다.

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.

참 고 문 헌

Belyashov, V. Grozdov, A. Sazonov, K. Tumashik, A., 2008. "Yury Topchev" and "Vladislav Strizhov" Multipurpose Ice-Breaking Vessels for Pirazlomnaya Platform Maintenance : Field and Model tests, *Icetech08-106-RF*.

Choi, K.S. Lee, C.J. Lim, C.W. Kim, H.S., 2010. Strength Characteristics of Sea Ice during ice field tests of the icebreaking Research vessel 'Araon'. *Proceeding of the society of Naval Architects of Korea*, Changwon, Republic of Korea, 21-22 October 2010.

Jeong, S.Y. Lee, C.J. Ahn, D.S. Hwang, B.J., 2010. Measurement of Sea Ice Thickness in the Arctic Ocean, July-August 2010. *Proceeding of the society of Naval Architects of Korea*, Changwon, Republic of Korea, 21-22 October 2010.

Lee, C.J. Jeong, S.Y. Ahn, D.S. Kim, H.S., 2010. The ice field tests of Araon in Arctic Ocean, *Proceeding of the society of Naval Architects of Korea*, Changwon, Republic of Korea, 21-22 October 2010.

Michailidis, M. Murdey, D.C., 1981. Performance of CCGS Franklin in Lake Melville, 1980. *The Society of Naval Architects and Marine Engineers*, STAR Symposium, pp. 311-322.

Schultz, L.A. Middleton, R.W. Dai, R.Y., 1994. Operational Performance of the RV NATHANIEL B. PALMER, *ICETECH '94*, pp.T1-T26.

Zahn, P.B. Humphreys, D. Phillips, L., 1987. Full-scale Towed Resistance Trials of the USCGC Mobile Bay in Uniform Level Ice, *SNAME Transactions*, 95, pp. 45-77.



김 현 수

이 춘 주

정 성 엽

최 경 식