

쇄빙연구선 ARAON호의 북극해 실선시험을 통한 해빙의 재료강도 특성에 관한 고찰

최경식^{1,†}·이춘주²·임채환³·김현수⁴
한국해양대학교 해양공학과¹
한국해양연구원 해양시스템안전연구소²
한국기계연구원³
인하공업전문대학 선박해양시스템과⁴

Strength Characteristics of Arctic Sea Ice from Ice Field Tests of the Icebreaking Research Vessel ARAON

Kyung-Sik Choi^{1,†}·Chun-Ju Lee²·Chae-Whan Rim³·Hyun-Soo Kim⁴
Department of Ocean Engineering, Korea Maritime University¹
Maritime and Ocean Engineering Institute, Korea Ocean Research and Development Institute²
Korea Institute of Machinery and Materials³
Department of Ship and Ocean System, Inha Technical College⁴

Abstract

The first Korean-made icebreaking research vessel "ARAON" had her second sea ice trial in the Arctic Ocean in Aug. 2010 after her first voyage to Antarctic Ocean in Jan. 2010 to gather various material and strength characteristics of sea ice. This is a detail report of ARAON 2010 summer Arctic voyage and this paper describes a standard test procedure to obtain proper sea ice data which provide basic information to estimate ice loads and icebreaking performance of the ship. The data gathered from sea ice in the Chukchi Sea and Beaufort Sea during the Arctic voyage of the ARAON includes ice temperature/salinity and the compressive/flexural strength of sea ice. This paper analyses the gathered sea ice data in comparison with data from the first voyage of the ARAON during her Antarctic Sea ice trial.

Keywords : Ice field test (빙해역 현장시험), Ice resistance (빙저항), Ice loads (빙하중), Strength characteristics of sea ice (해빙의 재료 강도 특성), Icebreaking research vessel ARAON (쇄빙연구선 아라온)

1. 서론

국내 최초의 쇄빙연구선인 ARAON호는 2009년 건조된 이후 남극해(2010년 1월)와 북극해(2010년 8월)에서 빙하중과 빙저항 그리고 해빙의 재료강도 특성을 계측하는 실선시험을 수행하였다. 이 논문은 2010년 7월 16일에서 8월 12일 사이 ARAON호의 북극해 항해에 동승하여 빙해역에서의 실선시험을 통해 북극해 해빙에 대한 강도 특성을 분석한 결과에 관한 것이다.

빙해역 실선시험은 빙해역에서 수행되는 모형빙과 쇄빙선박의 상호작용 해석을 검증하기 위해 실제 쇄빙선박을 이용하여 빙해역 현장에서 수행되는 시험을 말한다. 여기에는 선체와 해빙과의 충돌에 따른 빙하중 계측과 빙저항을 선상에서 실측하는 문제가 핵심이다. 그리고 이러한 빙하중과 빙저항을 추정하기 위한 기초자료로서 현장에서 해빙에 대한 강도특성을 파악하는 일이

필수적으로 요구된다.

빙해역 현장의 해빙에 대한 정보와 해빙의 재료특성을 계측하는 문제는, 빙하중 및 빙저항 계측과 병행하거나 혹은 독립적으로 수행되며, 기본적으로 빙하중과 빙저항의 크기를 산정하는 기초자료를 제공하며 동시에 특정 빙해역에 대한 해빙의 분포와 종류 그리고 얼음의 강도에 관한 정보를 축적함으로써 북극해 항로를 포함, 빙해역 항행 가능성 여부를 판단하는 데이터베이스로서 역할을 한다.

이 논문의 목적은 해빙의 강도 특성에 대한 측정 데이터를 구하기보다는 쇄빙선박을 이용하여 실선시험에서 빙하중과 빙저항을 추정하는데 필요한 기본적인 얼음의 재료강도 데이터를 획득하는 방법을 확보하는데 있으며 향후 북극해 혹은 남극해에서 쇄빙연구선 ARAON호의 실선시험을 충실하게 수행하기 위하여 마련된 것이다 (Choi, et al., 2010). 이를 위하여 본 연구팀이 직접 계측에 참여한 2010년 8월의 해빙의 재료특성 시험결과(Lee, 2010)를

분석하였고, 이 결과를 러시아의 AARI 연구팀이 작성한 2010년 1월에 있었던 ARAON호의 남극해 시험결과(Likhomanov, 2010)와 비교 고찰하였다.

2. 해빙의 재료강도 특성 시험항목

빙해역 실선시험 과정에서 계속되는 해빙의 재료특성에 관한 시험 항목은 먼저 얼음의 두께와 두께 방향의 깊이별 온도와 염도 및 밀도, 그리고 얼음의 결정구조이다. 그리고 얼음의 강도와 관련된 항목은 압축강도, 굽힘강도, 전단 및 인장강도 그리고 탄성계수와 마찰계수 등이다. 하지만 시험장비의 운반과 관련하여 현장에서 전단 및 인장강도, 마찰계수를 계속하기는 매우 어렵기 때문에 여기서 이 계측은 수행되지 않았다. 해빙의 압축강도는 직접 계측하였으며 굽힘강도는 직접 계측하지는 않아도 해빙의 온도와 밀도 그리고 염도에 관한 경험식을 이용하여 간접적으로 추정할 수 있다.

3. 북극해 실선시험 장소

본 실선계측 시험연구팀은 ARAON호의 북극해 실선시험 과정에 참여하였고 ARAON호는 2010년 7월 16일 Bering해를 통과하여 북극해에 진입하였는데, 73°N부터 78°N 사이 알래스카의 북극해 안쪽의 Chukchi해와 Beaufort해 일대에서 네 차례에 걸쳐 해빙의 재료특성 계측시험이 수행되었다. Fig. 1은 4번의 실선시험이 수행한 ARAON호의 위치와 이동한 경로를 개략적으로 표시한 것이다.

7월 20일 1차 시험을 했던 73°N 지역의 해빙은 8월 6일 경에는 해빙의 분포가 4/10~6/10 밀집도(ice concentration)로 이루어져 있고, 2차 및 3차 시험을 했던 77°N 지역은 7/10~8/10로 해빙이 분포하고 있음을 보여주고 있으며, 마지막 4차 시험을 한 78°N 지역은 해빙이 9/10~10/10으로 분포한 지역이었다.

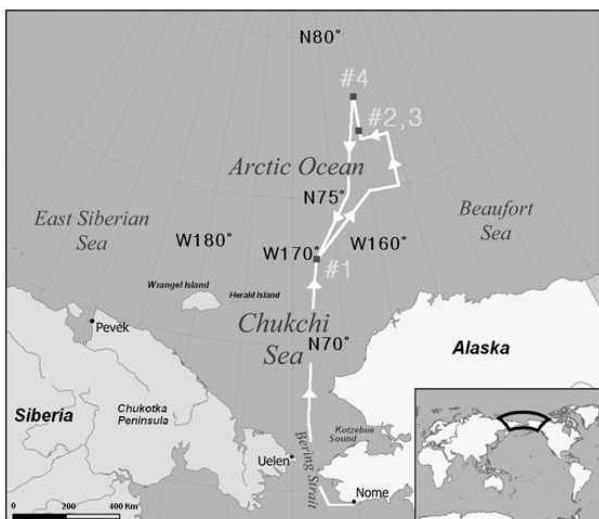


Fig. 1 Location of ice field tests

1차 시험(7월 20일)은 본 계측시험에 동원된 장비의 적절한 작동여부를 점검하고 시험 종사자의 역할 분담, 시험절차의 점검, 빙판 위에서의 작업에 따른 안전수칙 등 빙해역 실선계측에 필요한 전반적인 시스템을 검토하기 위한 목적으로 실시되었다. 시험 장소는 북극해 Chukchi해의 73.02°N, 168.26°W 지점으로 길이와 폭이 130×100m 정도의 빙판을 대상으로 주행거리 100m에 대하여 수행하였다.

빙판 위에서의 계측작업은 먼저 주행거리 전 구간을 직선으로 연결하고 20m 단위로 5개로 나눈 뒤 각 지점에서 얼음의 두께와 적설층의 두께 등을 계측하였고, 주행거리의 시작과 끝 2개소에서 총 5개의 얼음시편 코어를 채취하였으며 이로부터 깊이에 따른 온도, 밀도를 계측하고 채취된 시편은 본선으로 가지고 가서 압축강도와 염도를 측정하고 일부 시편으로는 결정구조의 편광사진도 촬영하였다. 1차 시험은 첫 시험으로 일종의 연습과정으로 생각하였기 때문에 시험 도중 계측기기를 바꾸거나 재측정 등을 하였고 이 때문에 획득한 데이터는 일관성이 없어서 본 논문에서는 다루지 않는다.

2차 시험(8월 3일)은 Beaufort해의 77.01°N, 159.56°W 위치에서 200×80m 크기의 빙판을 대상으로 주행거리 160m에 대하여 수행하였다. 부유하는 빙판에 표시된 주행거리의 우현 20m 부근에 얇은 빙맥(ice ridge)이 존재하고 있는 상태에서 주행시험이 수행되었다.

주변의 얼음과 느슨하게 연결된 이 빙판은 폭이 80m 정도로 진행 방향 앞뒤로 개수역(open sea)이 있어서 빙판이 약간 밀릴 수 있으나 왼쪽에 길이 방향으로 언덕(hummock)이 줄지어 있어서 얼음이 쉽게 깨져 이동하지 않도록 구속하는 역할을 할 것으로 기대되었다. 하지만 이 시험에서는 주행거리가 본선 길이의 1.5배 정도인데 폭이 상대적으로 좁아서 선박의 주행 코스를 유지하는데 어려움이 있었다. 빙판 위에서의 계측작업은 먼저 주행거리 160m 구간을 직선으로 연결하였고 전체를 10m 단위로 16개로 나누었다. 각 지점마다 얼음의 두께와 적설층의 두께를 계측하고 주행거리의 시작점과 중간, 끝점 등 3개소에서 총 8개의 얼음시편 코어를 채취하였다.

3차 시험(8월 4일)은 77.02°N, 159.49°W 위치에서 실시하였는데 280×100m 크기의 빙판을 대상으로, 210m 주행거리를 확보하여 실시하였다. 주변의 얼음과 느슨하게 연결된 2년생빙인 이 빙판에서 주행거리 210m를 10m 간격으로 구멍을 뚫고 두께를 계측하였다. 이 시험에서는 예상된 주행거리를 비교적 정확하게 운항할 수 있었다. 한편 주행거리의 시작점과 중간, 끝점 3개소에서 총 9개의 얼음시편 코어를 채취하였으며 또한 주행거리 후방의 언덕 주변 얼음 두께가 5m에 이른다는 것을 확인하고 별도의 시편을 채취하였다.

4차 시험(8월 5일)은 3차 시험 장소에서 북쪽으로 이동하여 77.59°N, 159.38°W에서 실시되었다. 4차 시험에서는 기상이 좋아서 헬리콥터를 이용한 ice search를 수행하였고 대상 빙판으로는 300×110m 규모로 한쪽이 다른 얼음층과 연결된 빙판을 선정하였다. 이것은 지금까지 시험을 한 빙판 중 가장 큰 것으로 물웅덩이(puddle) 크기도 작고, 두께도 가장 두꺼운 상태였다.

빙판 위에서 측정한 주행거리는 200m로 20m 간격으로 구멍을 뚫고(augering)과 빙두께를 측정하였다. 한편 주행거리의 시작점과 중간, 끝점 3개소에서 총 6개의 얼음시편 코어를 채취하였는데 이곳에서는 빙판의 두께와 강도가 예상보다 훨씬 커서 선박의 정상적인 조종에 상당히 어려움이 있었으며 빙판 위에 표시된 예상 주행코스를 상당히 벗어난 상태로 주행하였다.

본 논문에서는 데이터의 정밀도가 떨어지는 1차 시험결과를 제외하고 2,3,4차 시험에서 획득한 측정 데이터를 가지고 북극해 해빙의 강도특성에 대하여 설명한다.



Fig. 2 Typical Arctic sea ice condition

4. 해빙의 재료강도 특성 측정

1차 시험에서 측정한 빙판의 두께는 평균 1.1m로 2년생빙 이상된 것으로 추정된다. 20m 지점에서 시추한 결과는 두 개의 빙판이 겹쳐져 있다는 것을 알 수 있었다. 1차 시험에서 측정한 빙판의 압축강도는 평균 1.36MPa로 나타났고, 측정한 온도와 염도를 바탕으로 계산된 빙판의 굽힘강도(flexural strength)는 최고 0.19MPa이었고 대부분은 이보다 훨씬 낮은 굽힘강도를 보였다. 이 수치는 예상보다 훨씬 작은 값으로 이는 시험장소의 기온이 높아 시간이 많이 걸리는 측정 과정에서 시편이 급격히 녹는 상황이었으며 온도와 염도 값은 측정장비의 정밀도가 떨어져 부정확한 결과가 증폭되었다. 2차 시험부터는 좀더 정밀한 측정과 계산이 가능하도록 시험 장비와 절차를 보완하였다.

2차 시험에서 측정한 빙판의 강도특성은 Table 1과 같다. 표에 따르면 대상 빙판의 평균 빙두께는 2.2m로 1차 시험 때보다 두껍고 역시 2년생빙 이상으로 추정된다. 빙판의 형상과 시추된 코어를 볼 때 이 빙판의 하부에는 여러 겹의 얼음이 rubble 형태로 분포되어 있는 것으로 판단되었다. 2차 시험에서 측정한 빙판의 특성을 보면 직접 압축강도시험기로 측정된 해빙의 압축강도는 3개소에서 채취된 시추코어에서 평균 1.60MPa로 나타났고(3개 시추지점 총 41개 시편의 압축강도는 0.83~ 2.51MPa 사이에 분포, Table의 값은 각 시추지점에서의 평균값임), 측정한 온도와 염도를 바탕으로 계산된 빙판의 굽힘강도는 3개 지점의 평균 0.17MPa로 나타났으며 개별 시편에서는 0.36MPa이 최고였다.

3차 시험에서 측정한 빙판의 평균 빙두께는 1.88m이었다. 두께 측정 결과는 2m 전후로 대체로 균질의 얼음이고 한두 곳에서 물웅덩이 때문에 얇아진 곳이 있었다. Table 1과 같이 3차 시험에서는 해빙의 압축강도가 3개소에서 채취된 시편에서 평균 1.55MPa인데 (총 48개 시편 압축강도는 1.07~2.86MPa에 분포), 굽힘강도는 3개소의 평균 0.16MPa이고 개별적인 시편의 굽힘강도를 보면 최대 0.34MPa이었다. 빙판의 아래쪽으로 갈수록 대체로 치밀한 조직의 얼음이 발견되고 압축강도와 굽힘강도가 커지는 것을 알 수 있었다.

Table 1 Measured ice properties at test sites

Test Date	Position (m)	Temperature (°C)	Salinity (%)	Density (g/cm ³)
#2 Aug. 3	0	-0.74	1.81	0.87
	80	-0.70	1.63	0.90
	160	-0.88	2.50	0.95
	Mean	-0.77	1.98	0.91
#3 Aug. 4	0	-0.76	1.98	0.95
	100	-0.79	2.01	0.89
	150	-1.07	3.53	0.95
Mean	-0.77	2.51	0.93	
#4 Aug. 5	0	-1.06	2.60	0.89
	100	-1.34	2.53	0.92
	200	-0.59	1.05	0.91
	Mean	-1.00	2.06	0.90

Test Date	Position (m)	Compressive Strength (MPa)	Flexural Strength (MPa)
#2 Aug. 3	0	1.45	0.16
	80	1.55	0.19
	160	1.84	0.15
	Mean	1.60	0.17
#3 Aug. 4	0	1.37	0.16
	100	1.67	0.18
	150	1.60	0.14
Mean	1.55	0.16	
#4 Aug. 5	0	2.70	0.21
	100	2.43	0.29
	200	1.91	0.26
Mean	2.35	0.25	

4차 시험에서 측정된 빙판의 평균 빙두께는 2.46m 였는데 역시 2년생빙 이상으로 추정되는 오래된 이 빙판의 두께는 얇은 얼음과 두꺼운 얼음이 골고루 분포되어 있고 전자기파를 이용한 비접촉식 측정장비인 EM-31에 의한 측정과 상당한 차이도 보이고 있다. 이것은 얼음조각층(층rubble)의 존재를 의심할 수 있는 얼음의 분포인데 몇몇 곳이 두 겹 혹은 세 겹으로 되어 있을 가능성을 가지고 있다고 판단된다.

Table 1과 같이 4차 시험에서 직접 측정된 해빙의 압축강도는 3개소에서 채취된 시편에서 평균 2.35MPa로 나타났고 (총 50개 시편의 1.19~3.71MPa), 측정한 온도와 염도를 바탕으로

계산된 빙판의 굽힘강도는 3개소 평균 0.25MPa이고 개별적인 시편의 굽힘강도는 최대 0.66MPa이었다. 이는 지금까지 수행된 시험 중 가장 높은 강도인데 평균값은 작아도 몇몇 시편에서는 설계 시 사용하는 해빙의 평균 굽힘강도 0.55MPa 보다 큰 값도 나타내고 있다.



Fig. 3 Coring work on large sea ice floe



Fig. 4 Ice core samples extracted from sea ice



Fig. 5 Measurement of compressive strength for sea ice specimen

5. 실측된 재료강도 특성 분석

직접 계측한 압축강도와는 달리 굽힘강도는 직접 계측하지 않고 해빙의 온도와 밀도 그리고 염도에 관한 다음 경험식(Timco & O'Brien, 1994)을 이용하여 간접적으로 추정한다.

$$\sigma_f = 1.76 e^{-5.88 \sqrt{\nu_b}} \quad (1)$$

염수(brine)의 체적은 다음 식으로 계산한다.

$$\nu_b = \rho S_i / F_1(T_i) \quad (2)$$

$$F_1(T_i) = -4.732 - 22.45 T_i - 0.6397 T_i^2 - 0.01074 T_i^3 \quad (3)$$

(-0.6°C ≥ T_i ≥ -22.9°C)

여기서 ν_b : brine 체적 (무차원)

S_i : 해빙의 염도 (%)

T_i : 얼음의 온도 (°C)

해수의 결빙온도는 -1.9°C 정도인데 이 부근에서 염수액(brine)의 부피변화가 가장 심하다. Brine 부피의 변화는 얼음의 성질에 큰 변화를 주기 때문에 빙점 부근에서 수행되는 얼음 실험에서는 온도의 영향이 중요하다. 해수의 온도가 낮아지면 해수 속의 담수 부분만 얼고, 나머지 농축된 염수가 남게 된다. 표층인 입자형 얼음층에서는 염도가 비교적 높은 8~12% 이다. 2년생빙 이상 오래된 얼음인 경우 시간이 지나고 온도가 올라감에 따라 염분은 해수에서 점차 빠져 나옴과 얼음 내의 염도는 점차 감소하게 된다.

해빙은 겨울철에는 두께에 따른 온도변화가 거의 선형적이다. 빙판의 윗면 공기와 얼음의 접촉면 근방 10~20cm 정도는 일평 균기온의 ±10°C 내에서 온도가 유지된다. 반면 해수와 접하는 아랫면은 거의 일정하게 -1.9°C를 유지한다. 그러나 봄철에는 기온이 올라가서 빙판을 통한 열전달이 커지기 때문에 빙판 내의 온도도 상승하는 것이 일반적이다.

Fig. 6~7에는 ARAON호의 2010년 8월 북극해 항해에서 측정된 해빙의 두께에 따른 온도/염도 데이터의 일부를 보여주고 있다. Fig. 8~9에는 ARAON호의 2010년 1월 남극해 항해에서 측정된 해빙의 두께에 따른 온도/염도 데이터를 비교를 위해 나타내었다. 또한 Table 2에는 ARAON호의 남극해 항해에서 측정된 해빙의 강도특성을 정리하여 보여주고 있다.

2010년 8월 북극해에서 계측된 해빙의 두께에 따른 온도와 염도에 대한 계측 데이터로부터 다음과 같이 정리할 수 있다. 해빙의 깊이에 따른 온도변화를 보면 북극해에서는 깊이가 증가함에 따라 상층 표면의 0°C 에 가까운 온도로부터 점차 감소하여 하층 해수면과 접하는 깊이에서는 -1.5~-1.7°C로 일정하게 유지됨을 알 수 있었다. 반면 남극해의 자료를 보면 당시 그곳에서의 대기

온도에 해당하는 -2°C 정도로부터 깊이가 증가할수록 오히려 조금씩 높아져 수면과 접하는 깊이에서는 거의 -1.9°C 에 가깝게 유지됨을 알 수 있었다.

이러한 차이는 현장시험 당시 두 장소의 대기온도 차이로 인한 것인데 북극해에서의 대기온도는 0°C 안팎으로 대체로 포근하여 해빙의 표면온도가 높은 반면 해수와 접하는 아랫면의 온도는 표면온도보다 비교적 낮아서 깊이에 따라 온도가 감소하는 반면 남극해에서는 대기온도가 해수가 접하는 하층부의 온도보다 낮기 때문에 온도가 증가하는 것으로 볼 수 있다.

해빙의 밀도는 얼음 속에 함유된 염수액(brine)과 기포 때문에 순수 담수빙의 밀도($0.917\text{g}/\text{cm}^3$)와는 차이가 있지만 염수액과 기포의 밀도에 대한 영향은 어느 정도 상쇄되어, 전형적인 해빙의 밀도는 순수한 얼음에 가까운 $0.915\sim 0.920\text{g}/\text{cm}^3$ 정도이다. 해빙의 표면에서는 쌓인 눈이나 비로 인해 일반적으로 밀도가 낮다. 깊이가 깊어질수록 치밀한 조직의 얼음이 발견되는 것을 확인할 수 있었다. 북극해와 남극해에서의 계측자료 모두 이러한 경향을 보여주고 있다.

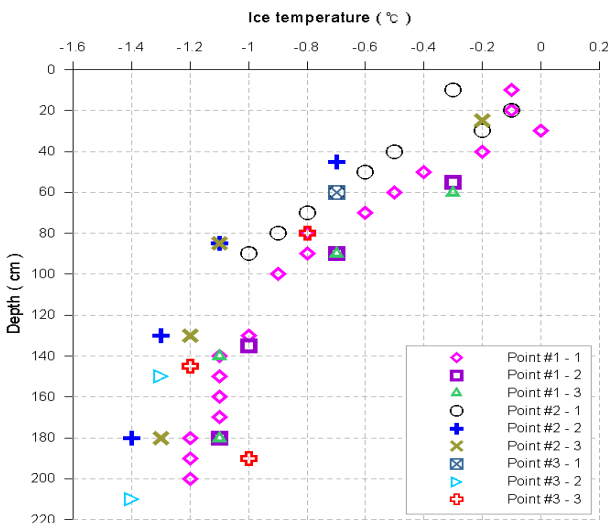


Fig. 6 Temperature profiles of sea ice at test site #4

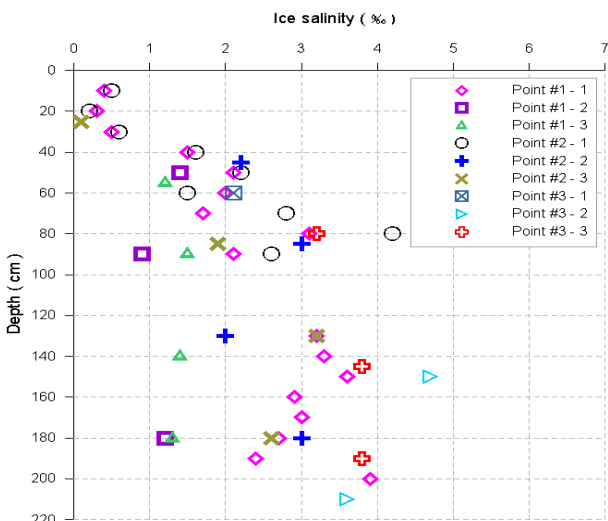


Fig. 7 Salinity profiles of sea ice at test site #4

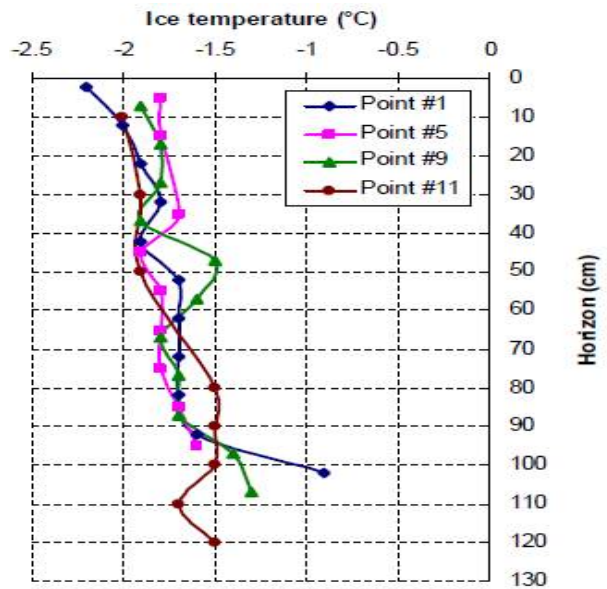


Fig. 8 Temperature profiles of sea ice from ARAON's Antarctic voyage (Likhomanov, 2010)

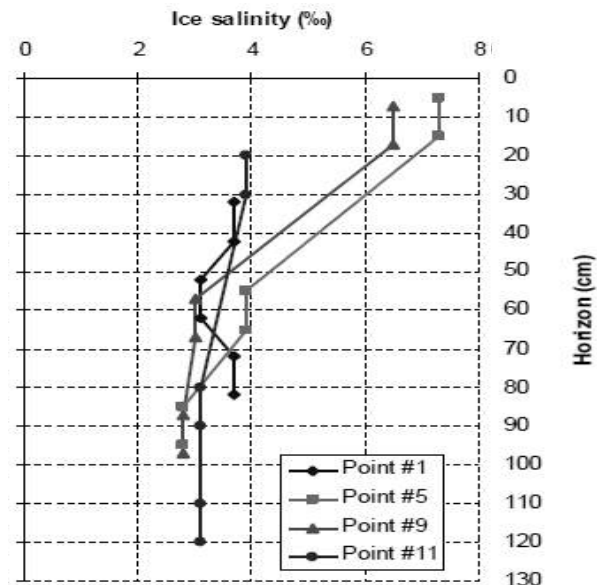


Fig. 9 Salinity profiles of sea ice from ARAON's Antarctic voyage (from Likhomanov, 2010)

Table 2 Measured ice properties from Antarctic voyage of ARAON (from Likhomanov, 2010)

Position	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Salinity (%)	Density (g/cm^3)	Flexural Strength (MPa)
Point 1	-1.64	3.67	0.778	0.290
Point 5	-1.62	1.83	0.785	0.490
Point 11	-1.90	5.83	0.875	0.190
Mean	-1.74	3.98	0.819	0.320

다음으로 Fig. 6~7을 통해서 해빙의 깊이별 염도변화를 확인할 수 있다. 일반적으로 해빙의 상층부에서의 염도는 8~12% 정도이고 아래쪽으로 갈수록 염분이 빠져나가 5~8% 정도인데 남극해에서의 계측자료는 이러한 경향을 확인할 수 있으나 북극해에서의 결과는 반대로 상층부의 낮은 염도로부터 하층부로 갈수록 점차 염도가 증가하여 4~6%로 유지되는 것을 알 수 있었다. 이러한 차이는 남극해 자료의 대상이 1년생 해빙인 반면 8월 초 북극해 조사지역의 해빙은 1년생빙이 거의 녹아서 존재하지 않고 주로 2년생 이상 오래된 다년생빙이 관측되는데 융해를 반복하는 과정에서 표면 상층부의 염도가 충분히 낮아진 상태가 된 것으로 추정할 수 있다.

마지막으로 해빙의 강도특성을 보면 Table 1과 같이 2차 시험의 경우 해빙의 압축강도는 3개 시추지점 평균 1.60MPa, 굽힘강도는 평균 0.17MPa 이었다. 3차 시험의 경우 압축강도가 3개소에서 평균 1.55MPa, 굽힘강도는 평균 0.16MPa이었다. 4차 시험에서는 압축강도가 3개소에서 평균 2.35MPa, 굽힘강도는 평균 0.25MPa 로 나타났다.

남극해에서 측정된 결과는 한 지점에서의 관측치이긴 하지만 Table 2에서 보듯이 굽힘강도가 3개 지점에서 각각 0.29MPa, 0.49MPa, 0.19MPa로 평균 0.32MPa이었다. 앞서 실선시험 장소에서 설명한 바와 같이 해빙의 압축강도와 굽힘강도는 얼음의 온도, 밀도, 염도에 의해 좌우되는데 시험 장소에 따라 조금씩 차이가 있지만 북극해에서 측정된 결과는 대체로 예상보다도 낮은 강도특성을 보이고 있으며 이것은 남극해에서 계측된 값에 비해서 상당히 낮다.

이러한 차이는 기본적으로 두 시험장소의 환경조건의 차이에서 기인하는 것으로서 8월초 북극해에서 해빙이 예상보다도 훨씬 빨리 녹고 있는 상태에서 얼음의 조직이 구조적으로 심하게 약화된 상태라는 것으로 판단된다. 북극해 실선시험에서 측정된 굽힘강도는 쇄빙선박의 설계에 사용되는 굽힘강도 값인 0.55MPa에 비해서 작은 값으로서 대규모로 운용이 진행되는 이 시기의 북극해 해빙 상태로 볼 때 어느 정도 예상할 수 있는 수치라고 하겠다.

6. 결론

본 연구에서는 2010년 8월 ARAON호의 북극해 항해에서 얻은 해빙의 강도 특성 시험결과를 분석한 것이다. 이 연구는 해빙의 재료특성치에 대한 정밀 데이터를 구하려는 것이 아니라 쇄빙선박을 이용하여 실선시험에서 빙하종과 빙저항을 추정하는데 필요한 기본적인 얼음의 재료강도 데이터를 획득하는 방법을 확보하는데 있다.

2010년 8월 북극해에서 측정된 해빙의 재료강도 특성은 예상보다 높은 기온으로 인하여 대체로 낮은 강도값을 보여주고 있다.

이것은 남극해에서 계측된 값에 비해서 상당히 낮은 결과이다. 이러한 차이는 8월초 북극해에서는 해빙이 예상보다도 훨씬 빨리 녹고 있는 상태이며 얼음의 조직이 구조적으로 심하게 약화된 상태라는 것이라 추정된다.

이번 북극해 실선시험은 북극해의 제한된 지역에서 실험을 했기 때문에 북극해 해빙의 재료강도특성에 대한 전반적인 정보를 얻을 수는 없었지만 우리 연구진에 의해 독자적으로 시도된 이번 북극해 실선시험이 우리나라에서 건조된 쇄빙선박을 이용하였는데 가장 중요한 의미가 있고 향후 동 선박을 이용하여 동일한 실선시험을 수행하기 위한 표준화된 실선시험 절차를 마련하는데 중요한 기여를 했다고 판단된다.

후 기

본 논문은 2009년도 지식경제부 지원 산업원천기술과제 (Grant No. 10033640)와 한국연구재단 첨단조선공학연구센터 (ASERC)의 연구비(R11-2002-008-01002-0) 지원으로 수행된 연구결과임.

참 고 문 헌

- Choi, K. Lee, C.J. Rim, C.W. & Kim, H.S., 2010. Strength Characteristics of Sea Ice during Ice Field Tests of the Icebreaking Research Vessel ARAON, *The Society of Naval Architects of Korea, Annual Autumn Meeting*, Changwon, Republic of Korea, 21-22 October 2010.
- Lee, C.J., 2010. Arctic Sea Voyage of the Icebreaking Research Vessel "ARAON", *2010 Summer Ice Field Test Report*.
- Likhomanov, V., 2010. Full-scale Ice Trials of the Korean Research Icebreaker, ARAON, *Arctic and Antarctic Research Institute Scientific-Technical Report*.
- Timco, G.W. & O'Brien, S., 1994. Flexural Strength Equation for Sea Ice, *Cold Regions Science and Technology*, 22, pp.285-298.



최경식

이춘주

임채환

김현수