

북극해 운항 중 계측된 빙하중에 대한 분석 연구

이탁기¹·김태욱²·임채환^{3,†}·김흥섭³
경상대학교 해양시스템공학과, 해양산업연구소¹
경상대학교 대학원 해양시스템공학과²
한국기계연구원 시스템신뢰성연구실³

A Study on Analysis of Ice Load Measured during the Voyage in the Arctic Sea

Tak-Kee Lee¹·Tae-Wook Kim²·Chae Whan Rim^{3,†}·Heung-Sub Kim³
Department of Ocean System Engineering, Gyeongsang National University, Institute of Marine Industry¹
Department of Ocean System Engineering, Graduate School, Gyeongsang National University²
Korea Institute of Machinery and Materials³

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 icebreaking research vessel, ARAON had her second ice trial in the Arctic Sea from 16th July to 12th August 2010. During the voyage, the local ice loads acting on the bow of port side were measured from 14 strain gauges. The measurements were also carried out in ice waters with various ice concentration ratio as well as the icebreaking performance tests. In this study, the ice loads measured during the 'general' operation in ice waters were analyzed. As a first step, the relationship between the location of strain gauges and the ice loads were investigated, and then the possibility for observation of higher ice loads was estimated based on the probability density function. The relationship between the ship speed and the ice load was also investigated. 718 peak stresses data higher than 20 MPa obtained from strain gauges array attached in longitudinally and vertically was analyzed. In general, the ice load increases as the ship speed increases in the low ship speed range, and ice load decreases as the ship speed is greater than a certain speed.

Keywords : Ice load(빙하중), Correlation between measuring location and ice load(계측위치와 빙하중의 상관성), Arctic sea(북극해), Icebreaker(쇄빙선), Probability density function(확률밀도함수), Ship speed-ice load curve(선속-빙하중 곡선)

1. 서론

우리나라의 쇄빙연구선인 아라온(ARAON)호는 2009년 건조되어 2010년 1~2월 본선의 운영주체인 한국 극지연구소의 의뢰에 따라 러시아의 남북극 연구소(AARI; Arctic and Antarctic Research Institute) 과학자들에 의해 남극해에서 빙해역 실선 시 운전이 수행되었다. 이때, 여러 빙해역 조건 하에서의 쇄빙 성능과 조종 성능을 시험하였으며, 선체 구조의 내빙 강도도 함께 조사하였다(Likhomanov, 2010).

뒤이어 그해 여름 아라온호의 북극해 운항 시 저자 등이 동승하여 빙하중과 빙저항 그리고 해빙의 재료강도 특성을 계측하는 실선시험을 수행한 바 있다. 2010년 7월 16일부터 8월 12일까지의 북극해 항해 기간 중 북위 73도부터 78도 사이 알래스카의 북극해 안쪽의 Chukchi해와 Beaufort해 일대에서 4회의 해빙 재료 특성 시험과 쇄빙 성능 시험을 실시하였다.

이 북극해 실선 시험에서는 쇄빙 성능 시험에 적합한 규모의

빙판을 선정하고 그 빙판 위에 직접 올라가 일정 간격으로 계측 지점을 정하고 그 지점에서 빙두께와 빙특성 계측을 수행하였으며(Choi, et al., 2011), 동일한 빙판을 대상으로 쇄빙 운항하면서 선박의 속력, 추진 미력 및 선수선측부의 국부 빙하중을 계측하였다(Kim, et al., 2011a). 이때 수행된 해빙의 재료강도 특성 및 빙하중 계측 그리고 쇄빙 성능 시험에 대한 결과는 그 동안 여러 차례 국내외를 통해 발표되었고 논문으로 게재된 바 있다(Kim, et al., 2011b; Jeong & Lee, 2012; Lee, et al., 2013).

그러나 선수 thruster room 좌현측 선측 외판 내부에 부착한 변형률 게이지에 의한 계측은 총 4회의 쇄빙 성능 시험 기간 외에도 아라온호가 해빙의 밀집도가 다양한 빙해지역을 운항할 때에도 여러 차례 수행되었다. 쇄빙 성능 시험을 위해서는 길이가 본선의 최소 2-3배 정도인 일정 규모 이상의 빙판을 쇄빙해야 하는데, 본 연구에서는 이를 빙판 쇄빙 운항이라 부르고(Fig. 1 참조), 이에 비해 해빙의 밀집도가 다양한 빙해역을 운항하는 것을 빙해역 일반 운항(Fig. 2 참조)으로 분류하였다.

최근 대두되고 있는 북극항로를 통한 상선 운항 시에는 큰 빙판을 쇠빙하는 대신 가능하다면 해빙이 적게 분포된 경로를 따라 운항하는 것이 더욱 좋은 선택이 될 것으로 예상되므로 위에서 분류한 빙해역 일반 운항 시에 계측된 자료가 실제로 더욱 유용할 수 있다. 이상의 관점에서 아라온호의 북극해 시 쇠빙 운항이 아닌 빙해역 일반 운항 시 계측된 빙하중 자료를 분석하는 것도 상당히 의미 있는 작업이라는 판단 하에 본 논문에서는 이에 대한 분석에 초점을 두었다.



Fig. 1 ARAON in Chukchi Sea (Kim, et al., 2011b)



Fig. 2 Typical Arctic sea ice condition (Choi, et al., 2011)

이를 위하여, 우선 빙하중 계측 자료와 본선 운항 자료를 바탕으로 20MPa 이상의 피크값을 추출하고 이에 대응하는 선속 데이터도 수집하였다. 추출된 피크값을 중심으로 계측된 응력과 선속과의 관련성을 조사하였고, 선수미 방향과 선체 깊이 방향으로 부착된 변형률 게이지의 위치에 따른 응력의 상관성도 확인하였으며, 응력 수준을 범주화하여 그 발현 확률 특성도 살펴보았다.

2. 빙해역 일반 운항 시 계측자료

2010년 북극해 항해 시에 선수선체에 작용하는 국부 빙하중을 계측할 목적으로 선수 thruster room의 좌현 선체외판 내부에 Fig. 3과 같은 위치를 정하여 변형률 게이지를 부착하였다. 그림에서 알 수 있듯이, 부착된 변형률 게이지는 6개의 1축 게이지와 8개의 로제트 게이지로 총 30개 채널로 구성되어 있다. 그러나

실제 계측 시에는 앰프 채널수의 제약으로 선수미 방향으로 설치된 R1, R7, R8은 수평방향 채널만 계측하였다.

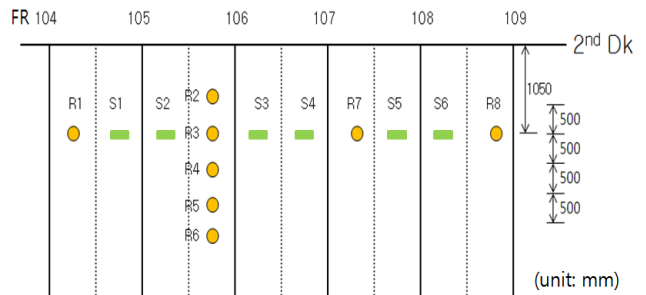


Fig. 3 Location of strain gauges in bow thruster room

R8이 선수에 가장 가까우며, 제2갑판의 수직 위치는 7,100 A/B이다. 참고로 아라온호의 설계 흘수는 6,820 A/B이고, 최대 흘수는 7,620 A/B이다. 그리고 게이지 부착 위치에 사용된 재료는 EH36(항복강도 355MPa)으로 그 두께는 34.5mm이다.

한편, 앞장에서 기술한 빙해역 일반 운항 시에 계측한 자료 가운데 응력 수준이 20MPa 이상인 피크값이 상당히 많이 계측된 시점의 데이터들을 일자별, 계측 순서별로 Table 1에 정리하였다. 계측 시간은 1,800초로 동일하게 맞춰져 있으며 계측 당시 기록에 의거 흘수, 풍속, 육안으로 추정된 해빙의 두께 및 밀집도(ice concentration; 100이 최대임)를 표시하였다. 표에서 ‘-’로 비어 있는 부분은 계측 당시의 기록이 남아 있지 않은 부분이다.

Table 1에 의하면, 20MPa 이상인 피크값이 계측된 횟수는 총 718회에 달하고 있다. 이는 24개 채널에서 동시에 계측된 것을 모두 포함하고 있다. 또한, 총 23,400초라는 계측시간은 약 6.5시간에 해당하는 것으로 운항거리도 상당하다고 할 수 있다. 비교란에 표시된 해빙의 생성 연수와 관련해서는 북극해의 경우 2010년 계측시기인 여름철에는 전체적으로는 1년생 빙이 대부분인데, 2년생 또는 그 이상의 해빙이 관측된 경우에는 이를 별도로 기록한 것이다. 해빙은 생성 단계에 따라 1년생 빙, 2년생 빙 및 다년생 빙으로 구분하는 것이 일반적이며 이 중 1년생 빙은 대체로 0.3~1.2m 정도의 두께를 갖는다.

표에서 큰 유빙(big floe)이라 함은 해빙의 길이에 따른 구분이며, 세계기상기구(WMO; World Meteorological Organization)에 의하면 그 길이가 500~2,000m 범위에 속하는 경우이며, WMO code 5에 해당된다 (Likhomanov, 2010).

3. 계측자료 분석 절차

앞 장에서 보고한 빙해역 일반 운항 시 계측된 자료들을 분석하기 위해, 본 연구에서는 아라온호의 최초 항해인 남극항해 시에 쇠빙 성능 및 빙하중 분석을 수행한 러시아 AARI 보고서(Likhomanov, 2010)의 자료 분석 절차를 적용하였다.

이 절차에 의하면, 우선 게이지 위치에 따른 계측값의 변화로부터 위치-계측값의 상관관계를 파악한 후 특별한 상관관계가 없다고 판단되면, 전체 계측값을 이용하여 발현 확률을 표현할 수

있는 확률밀도함수를 구하게 된다. 그리고 계측된 변형률로부터 변환한 응력과 선박의 운항 속도와의 관계를 추정하여 아라온호의 최대 운항 속도까지 외삽하는 과정을 밟고 있다.

본 장에서는 Table 1 데이터 중 가장 높은 빙하중이 계측된 8월 7일 1차 계측자료를 이용하여 그 분석 절차를 자세히 기술한다. Fig. 4, 5는 각각 선수미 및 선체 깊이 방향으로 설치된 게이지 위치에 따른 계측값의 변화를 그래프로 표현한 것이다. 이때, 두 방향의 교차점인 R3 위치를 기준(즉, 0.0 위치)으로 하였고, 선수 방향 및 선체 깊이 위 방향을 양(+)의 값으로 취하였다.

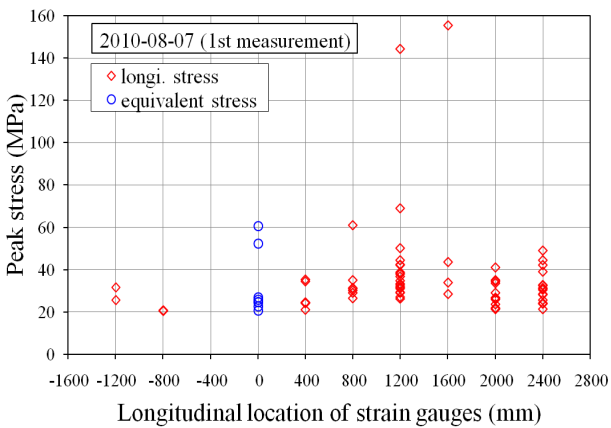


Fig. 4 Relationship between stress and location of strain gauges in longitudinal direction(7th Aug. 1st)

Fig. 4에 정리된 선수미 방향의 계측 위치와 응력과의 관계를 살펴보면, 우선 S2 위치(-400mm 지점)에서는 20MPa를 넘는 피크 응력이 전혀 계측되지 않았으며, R1 위치(-1,200mm 지점)에서부터 S5 위치(1,600mm 지점)까지 최대값은 선수쪽으로 갈수록 증가하는 추세를 보이고 있다.

그러나 그 구간의 데이터 전체에 대한 피어슨 상관계수(Pearson's correlation coefficient)를 계산하면 0.322 정도의 값이 구해지는데, 이는 상관성이 약함을 의미하는 수준이다. 상관계수 값이 1 또는 -1이 되면 완전한 양 또는 음의 상관성을 의미하며 일반적으로 0.4 이상이어야 다소 높은 상관성이 있는 것으로 다루고 있다 (Yang, 2012).

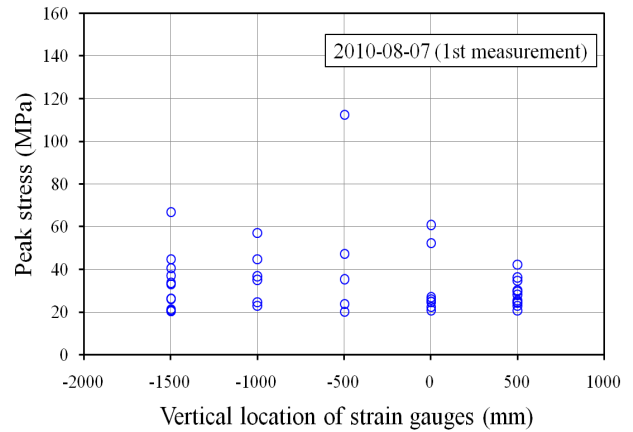


Fig. 5 Relationship between stress and location of strain gauges in vertical direction(7th Aug. 1st)

선체 깊이 방향의 게이지 위치에 따른 피크 응력을 나타낸 Fig. 5에서는 다섯 개 게이지 위치 모두에서 피크값이 계측되었는데, R4 위치(-500mm 지점)에서 튀는 값을 고려하면 R6(-1,500mm 지점)와 R5(-1,000mm 지점) 그리고 R4부터 R2(500mm 지점)까지 음의 상관성이 있는 것으로 보인다. 그러나 이 방향 역시 상관계수를 구해 보면 각각 -0.343과 0.157 정도이며, 이 또한 상관성이 약한 수준에 머무르고 있다.

Table 1 Summary of measurements and ice conditions

Date	Test No.	Measuring time (sec)	No. of peak over 20MPa	Draft (m)	Wind speed (knot)	Estimated ice thickness (m)	Estimated ice concentration	Remark
07-31	1	1,800	52	7.01	6	0.5~1.0	6	
	2	1,800	27	6.93	9	0.5~1.0	4~5	almost water
	3	1,800	51	6.90	8	0.5~2.0	4~5	
08-01	1	1,800	54	6.99	15	0.5~0.7, 1.0	8	
08-02	1	1,800	51	7.08	12.5	-	6	almost water
08-07	1	1,800	112	7.11	12.7	0.7~1.0, 1.5	9	also multi-year ice
	2	1,800	114	-	-	-	-	
	3	1,800	57	-	-	-	-	
	4	1,800	57	-	-	-	-	
	5	1,800	42	7.14	10.6	0.5	7~8	also 2nd year ice
	6	1,800	27	-	-	-	-	
08-08	1	1,800	41	7.01	6.5	1.0	9	ridge, multi and 2nd year ice
	2	1,800	33	-	3.0	~1,2	-	2nd year, one big floe
sum		23,400	718					

따라서 선수미 및 선체 깊이 방향에 대한 피크 응력의 변화는 큰 관련성을 찾을 수 없어 예측된 피크 응력들은 그 전체를 개별적인 자료로 취급할 수 있게 된다. 이에 따라 응력 수준을 10 MPa씩 범주를 나누어 발현 확률을 구하여 Fig. 6에 나타내었다. 그림으로부터 피크 응력의 발현 확률은 지수 함수보다는 음의 거듭 제곱 함수에 의해 더욱 잘 표현되고 있음을 알 수 있다.

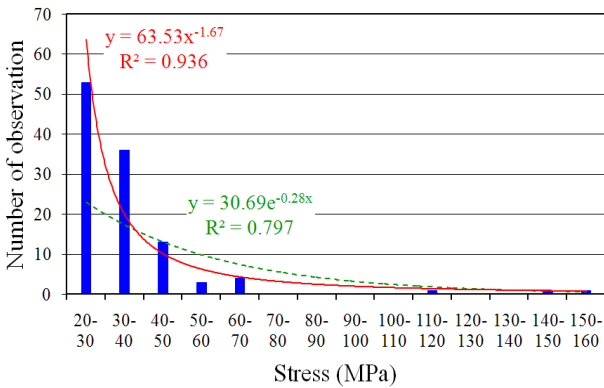


Fig. 6 Histogram and probability density approximation of stress(7th Aug. 1st)

한편, 예측 시각에 대한 동기화 과정을 거쳐 위에서 정리된 예측자료에서 각각의 피크 응력이 예측되었을 때의 선속을 본선 자료로부터 추출한 후 선속에 따른 피크 응력의 변화를 살펴보고자 하였다. 8월 7일 1차 예측자료에 대해서는 Fig. 7과 같은 결과를 얻었는데, 이때 AARI에서 거의 동일한 예측 위치에서 수행한 남극 예측자료를 함께 나타내었다.

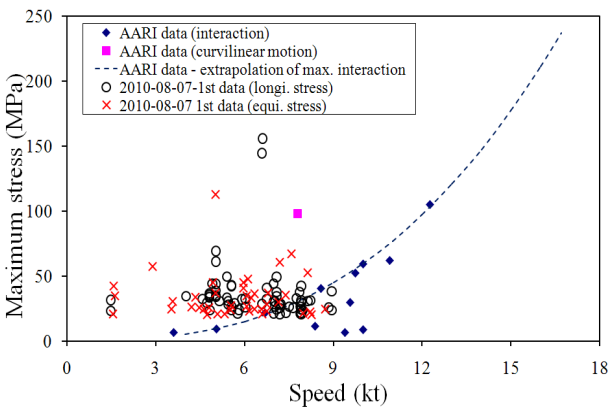


Fig. 7 Maximum stresses - ship speed curve(7th Aug. 1st) including AARI data and extrapolation

AARI 보고서 (Likhomanov, 2010)에 의하면, 선체와 해빙이 서로 부딪히는 상황 중에서 매우 위험한 시나리오 중 하나가 빠른 속도에서 빙판의 모서리(ice edge)와 접촉하거나 빙맥(ice ridge)을 뚫고 지나가는 빙-선체 충돌 상황이며, 이와 관련된 자료를 모아 Fig. 7과 같은 외삽 곡선을 유도하였다. 여기서 AARI는 7.8knot에서 97.87MPa로 예측된 값(그림에서 사각형 ■으로

표시)은 본선이 곡선운동을 할 때 얻어진 것이라 하여 배제하고 나머지 자료들을 이용하여 극대값을 외삽한 결과를 제시하고 있다.

본 연구에서 분석을 수행하기로 한 피크 응력과 선속 자료들은 해빙의 밀집도 다양한 지역에서 해빙과 빈번하게 접촉하면서 운항할 때 예측된 값들이다. 1장에서 구분한, 이러한 빙해역 일반 운항 상황에서 운항 승조원들은 가능한 한 해빙을 피해 운항하려고 노력하게 된다. 그러나 해빙의 밀집도가 높아 모든 해빙을 피해 운항할 수 없을 경우에는 일반적으로 매우 큰 빙맥 만을 피하는 수준에서 운항하게 된다고 하는데, 이 경우에는 다수의 해빙과 충돌하게 되고 수초 이상의 긴 쇄빙현상도 겪게 된다.

Fig. 7을 고찰하면, 8월 7일 1차 예측자료의 피크 응력 - 속도 관계는 AARI의 남극 예측자료보다 동일한 선속에서 상당히 큰 응력 수준을 보이고 있다. 특히, 6.6knot 근처에서 예측된 두 개의 피크 응력(144 및 155MPa)은 외삽곡선에 비해 약 7.4배에서 8배 이상 높은 수준이다. Table 1에 제시된 다른 예측 자료를 모두 이용한 전체적인 고찰은 다음 장에 정리하였다.

4. 분석 결과 고찰

Table 1에 제시한 바에 의하면, 아라온호에 의한 빙해역 일반 운항 시 예측된 자료는 총 23,400초 동안 20MPa 이상의 피크가 718회 예측되었다. 앞서 3장에서 기술한 자료 분석 절차에 의거 전체 데이터를 정리한 결과는 다음과 같다.

우선 Fig. 8과 9는 선수미 및 선체 깊이 방향으로 설치된 각 변형률 게이지 위치에서 예측된 피크 응력을 보여주고 있다. 각 게이지 위치에서 가장 높은 응력에만 주목하면 경향성을 갖는 것 같지만 같은 시기에 예측된 데이터를 이용하여 전반적인 상관계수를 조사해 보면 선수미 방향이 -0.591~0.420, 선체 깊이가 방향이 -0.439~0.427로 상당히 변하고 있다. 이러한 상관계수의 변화는 특정 운항 조건에서는 일부 상관성이 높은 경향을 보이기도 하지만, 전체적으로는 예측 위치와 피크 응력 간에는 밀접한 상관성이 없는 것을 의미한다고 볼 수 있다.

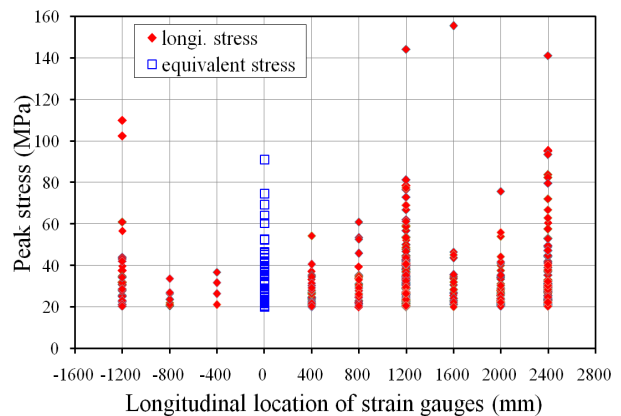


Fig. 8 Relationship between stress and location of strain gauges in longitudinal direction

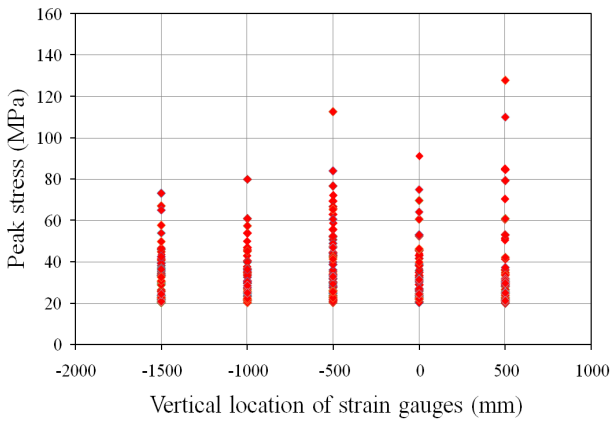


Fig. 9 Relationship between stress and location of strain gauges in vertical direction

다음으로 피크 응력에 대한 발현 확률을 보여주는 Fig. 10으로부터 지수 함수와 거듭제곱 형태를 이용한 분포 함수가 비교적 좋은 결과를 준다는 것을 알 수 있었다. 그림에서 구해진 두 확률 밀도 함수를 이용하여 사용강재의 항복응력인 355MPa의 약 44% 수준이고 본 연구에서 예측된 최대값인 155MPa이 발생할 확률을 계산해 보면 지수 함수의 경우 136.1391×10^{-30} 이였으며, 거듭제곱 함수의 경우 287.97×10^{-5} 이었다. 155MPa이 예측된 총 예측시간과 100 Hz인 예측주파수를 고려한 발생 확률이 427.4×10^{-9} 정도인 것과 일반적으로 설계 하중을 다소 높게 추정하여 안전성을 높이려는 경향을 고려하면 거듭제곱 형태의 확률밀도함수가 보다 합리적인 것 같다.

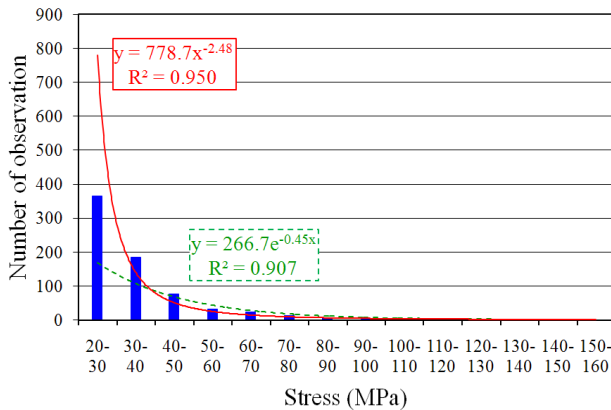


Fig. 10 Histogram and probability density approximation of stress due to operation in ice water area

최종적으로 선속에 따른 최대 응력을 Fig. 11과 같이 정리하였다. 이때, AARI가 남극에서 예측한 자료를 토대로 외삽하여 제시한 최대 응력 곡선을 함께 표시하였다. 본 연구를 통해 예측된 선속의 범위는 1.46~10.34knot로 비교적 광범위하고, 표에서 8개의 기록된 흡수들에 대한 평균치는 7.02m이었다. 참고로 open water에서 흡수 6.8m이고 추진마력을 100% 가동할 때 아라온호의 최대선속은 16.7knot 수준이다.

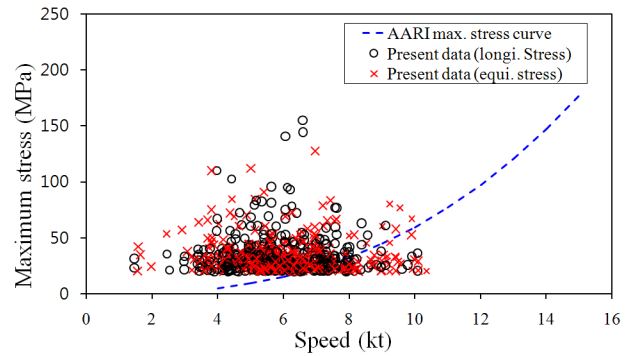


Fig. 11 Maximum stresses – ship speed curve including AARI extrapolation of maximum stress

또한, 예측된 응력의 최대값은 155.52MPa이었으며, 앞서 3장에서 보여주었던 8월 7일 1차에서 예측된 값이다. 전체 데이터에서 100MPa이 넘는 값은 총 8회 예측되었고, 이때 선속은 3.79~6.95 knot 범위에 걸쳐 있는 것으로 조사되었다. 그림의 응력 - 선속 관계 곡선에서 최외곽 데이터를 연결한 envelop를 그리면 선속 6.59knot이고 최대 응력이 155.5MPa인 점을 꼭짓점으로 하는 삼각형 모양을 이루게 된다.

이러한 envelop 형상과 그 특징은 미국 쇄빙선 Polar Sea호의 1982년 여름 Beaufort해에서 예측한 112개의 이벤트 데이터와 유사한데 (St. John, et al., 1990), Fig. 12와 같이 선속 3.5 knot 수준에서 빙압력이 최대값을 보이고 있다. 그들은 대부분의 충격 쇄빙이 3.5knot 근처에서 이루어지며, 높은 속도는 빙판이 얇거나 깨진 빙판 속에서 운항할 때 얻어진다고 분석하였다.

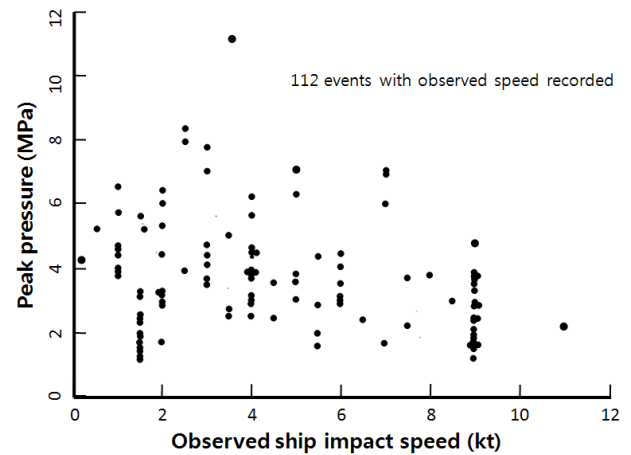


Fig. 12 Highest average pressure on a single sub-panel vs impact speed for the Beaufort Sea data

다른 예는 미국의 다목적 과학연구선인 Nathaniel B. Palmer 호를 이용하여 1992년 8, 9월에 남극에서 수행된 빙하중 예측시험 결과이며 (St. John & Minnick, 1995), Fig. 13과 같이 hull panel에서의 빙하중을 선속별로 정리해서 나타내고 있다. 이 자료에서도 예측된 빙하중은 선속이 약 6knot 수준까지 선속과 함께 증가하다가 최대값을 보인 후 감소하는 경향을 보이고 있다.

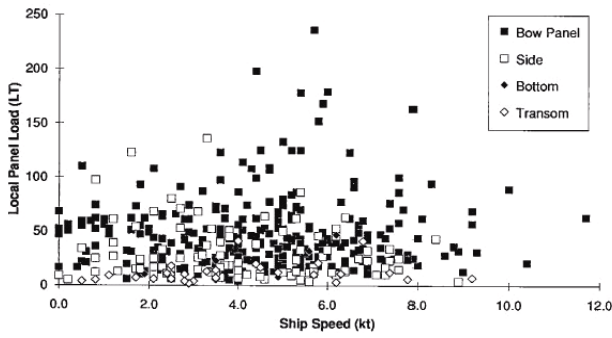


Fig. 13 Hull panel ice load vs. ship speed(Antarctic sea)

선속에 대한 계측값의 경향은 전반적으로 유사하다. 다만, 최대 계측값이 어느 정도의 선속에서 나타나는지의 문제는 해빙의 강도나 밀집도 등 해빙 환경을 고려한 선장의 운항방침과 관련이 있을 것으로 짐작된다. 즉, 육안 관측 시 빙맥이 다수 발견되는 정도의 빙해역을 운항하게 되면 선장은 다소 느린 속도를 유지하게 될 것이나, 이번 북극항해와 같이 여름이거나 해빙의 강도가 다소 약하다고 느껴지면 운항 속도를 높여 갈 것이기 때문이다.

결과적으로 본 연구와 Palmer호 운항 시 계측된 응력들은 Polar Sea호의 경우보다 높은 선속을 유지하면서 운항할 때 계측된 것으로 파악할 수 있으며 이는 해빙의 밀집도나 강도가 그리 높지 않다는 판단에 따른 것으로 보인다. 그리고 Polar Sea호와 Palmer호에 의한 계측자료와 본 연구의 결과를 종합해 볼 때, 선속과 빙하중과의 관계는 일정한 관계에 의해 지속적으로 점차 증가한다기 보다는 일정 선속까지는 증가하고 그 이후에는 선속이 증가하더라도 감소하거나 더 이상 증가하지 않는 경향을 갖는 것으로 다루는 것이 합리적이라 생각된다. 단, 이러한 분석은 야간이나 안개 지역에서 다소 높은 속도로 운항 중 급작스럽게 해빙과 충돌하는 경우와 같은 최악의 조건은 포함하지 않는 것으로 이해해야 한다. 따라서 지금까지의 분석으로부터 선속이 일정 수준 이상으로 높을 때 빙하중이 감소한다는 결론을 도출할 수는 없을 것이란 점도 유의해야 할 사항이다.

Table 2 All measured stresses at the top 5 peaks

Strain gauge	Rank 1 (7th Aug. 1st test)	Rank 2 (7th Aug. 1st test)	Rank 3 (7th Aug. 4th test)	Rank 4 (8th Aug. 1st test)	Rank 5 (7th Aug. 1st test)
R1-1	-0.11	0.05	-0.03	-0.18	-0.17
S1	-0.06	-0.09	-0.01	-0.05	-0.18
S2	-0.12	0.03	-0.02	-0.41	-0.05
R2(ES)	4.63	3.89	1.82	127.80	4.96
R3(ES)	3.87	3.62	1.79	19.74	16.14
R4(ES)	3.64	3.74	1.68	6.24	112.60
R5(ES)	2.81	3.08	0.96	4.80	13.83
R6(ES)	3.09	2.69	2.28	5.84	12.60
S3	-3.53	-5.87	-0.81	-3.99	-1.40
S4	-7.75	5.94	-1.46	0.20	-0.42
R7-1	-16.63	144.34	-4.35	-0.64	0.03
S5	155.52	13.34	-1.34	-0.14	-1.10
S6	-20.24	-5.36	-16.35	-0.71	-1.23
R8-1	-3.65	-2.83	141.20	-1.72	-1.96

한편, Table 2에는 Fig. 11에 나타난 최상위 응력 5개가 계측 될 당시 다른 게이지에서 계측된 값을 정리하였다. 여기서 R2~R6는 등가응력 (Equivalent Stress)으로 환산된 값이며, 음(-)의 값은 게이지 부착 면이 오목하게 변형되었음을 의미한다. 이러한 데이터는 향후 빙 충격량을 예측하는데 유용할 것이다.

5. 결론

본 연구는 2010년 아라온호의 북극항해 시 국부 빙하중을 계측한 자료 중에서 쇄빙 성능 시험이 아닌 다양한 조건을 가진 빙해역을 운항하는 과정에서 계측된 자료를 분석한 것이다. 분석 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 게이지 위치에 따른 피크 응력을 조사한 결과, 게이지 위치와 응력 사이의 상관성은 약한 수준으로 파악되었다. 이는 특정 위치에서 항상 높은 값이 계측되지 않는다는 것을 의미한다.
- 2) 설계와 관련하여 최대 하중을 산정하는 경우, 선체가 받는 하중값이 일정 수준 이상일 확률이 중요하다. 본 연구에서 계측된 최대 응력인 155.5MPa에 대한 확률 수준은 최소 427.4×10^{-9} 부터 최대 287.97×10^{-5} 정도인 것으로 나타났다.
- 3) 빙하중의 발생 확률은 거듭제곱 함수를 이용하는 것이 비교적 안전 측에서 합리적인 결과를 주는 것으로 파악되었다.
- 4) 선속에 따른 빙하중을 분석한 결과, 빙하중은 해빙 분포나 강도 등을 고려한 선장의 운항 방침에 영향을 받을 수 있으며, 이에 따라 높은 빙하중이 계측되는 선속 범위가 달라질 수 있다.
- 5) 빙하중은 선속에 따라 특정 경향으로 지속적으로 증가한다기 보다는 낮은 속도 구간에서는 점차 증가하다가 일정 속도 이상이 되면 더 이상 증가하지 않는 경향인 것으로 조사되었다.

후기

이 논문은 산업통상자원부 산업원천기술개발사업인 “빙해선박 선체구조 안전성 평가 기술(과제번호 10033640)” 과제의 연구비 지원으로 수행된 결과이며, 이에 감사드립니다.

References

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.

Jeong, S.Y. & Lee, C.J., 2012. Measurement of Sea Ice Thickness in the Arctic Ocean Using an Electromagnetic Induction Instrument. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 49(2), pp.189-195.

- Kim, H.S. Lee, C.J. Choi, K.S. & Kim, M.C., 2011a. 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.
- Kim, H.S. Lee, C.J. Jeong, S.Y. & Choi, K.S., 2011b. A Study on the Speed Sea Trial on the Ice Field for Ice Breaking Research Vessel "Araon". *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 48(5), pp.421–425.
- Lee, T.K. Kim, H.N. Hwang, N.S. Lee, J.H. Rim, C.W. & Choi, K.S. 2013. Effects of ship speed and ice thickness on local ice loads measured at arctic sea. *Proceedings of the Joint Conference of the Korean Association of Ocean Science and Technology Societies (KAOSTS)*, Jeju, Republic of Korea, 23–25 May 2013, pp.1988–1992.
- Likhomanov, V., 2010. *Full-scale Ice Trials of the Korean Research Icebreaker ARAON. Scientific-Technical Report*, St. Petersburg: Arctic and Antarctic Research Institute.
- St. John, J.W., Daley, C. & Blount, H. 1990. *Ice loads and ship response to ice –Summer 1982/Winter 1983 Test Program, Report No. SSC–329*, Washingto, D.C.: Ship Structural Committee.
- St. John, J.W. & Minnick, P.V. 1995. *Ice load impact study on the National Science Foundation's Research Vessel Nathaniel B. Palmer, Report No. SSC–376*, Washingto, D.C.: Ship Structural Committee.
- Yang, Y.K. 2012. *Sports Statistics*. Yidam–Books: Seoul.

