

## 북극해 계측자료에 기초한 아라온호의 국부 빙압력 계산 연구

이탁기\* · 김태욱\*\* · 임채환\*\*\* · 김성찬\*\*\*\*

\*경상대학교 해양과학대학 조선해양공학과, 해양산업연구소

\*\*경상대학교 대학원, 조선해양공학과

\*\*\*한국기계연구원 기계시스템안전연구본부 시스템신뢰성연구실

\*\*\*\*인하공업전문대학 수송기계공학부 조선해양과

### A Study on Calculation of Local Ice Pressures for ARAON Based on Data Measured at Arctic Sea

Tak-Kee Lee\*, Tae-Wook Kim\*\*, Chae Whan Rim\*\*\* and Sungchan Kim\*\*\*\*

\*Department of Naval Archi. & Ocean Eng., Gyeongsang National University, Institute of Marine Industry, Tongyeong, Korea

\*\*Department of Naval Archi. & Ocean Eng., Graduate School, Gyeongsang National University, Tongyeong, Korea

\*\*\*Korea Institute of Machinery and Materials, Daejeon, Korea

\*\*\*\*Department of Naval Archi. & Ocean Eng., Inha Technical College, Incheon, Korea

**KEY WORDS:** Local ice pressures 국부 빙압력, Influence coefficient method 영향계수법, IBRV ARAON 쇄빙연구선 아라온호, Full-scale field trial 실패역 실선 시험, Icebreaking performance test 쇄빙 성능 시험, Arctic sea 북극해

**ABSTRACT:** The icebreaking research vessel (IBRV) ARAON had her second ice trial in the Arctic Ocean in the summer season of 2010. During the voyage, the local ice loads acting on the bow of the port side were measured using 14 strain gauges. These measurements were carried out in three icebreaking performance tests. To convert the measured strains into the local ice pressures, a finite element model of the instrumented area was developed. The influence coefficient method (ICM), which uses the influence coefficient from the finite element model, and the direct method, which uses the measured strain, were selected as the conversion methods. As a result, the maximum measured pressure was 1.236MPa, and the average difference between ICM and the direct method was about 5% for an area of 0.2m<sup>2</sup>. The pressure-area relationship of the measurement falls below the range of the existing pressure-area curve, which is due to the low ice strength of melted ice in the summer.

### 1. 서 론

빙해지역을 운항하는 선박은 해빙(Sea ice)과의 충돌이나 접촉에 의해 전체 또는 국부적으로 힘을 받게 된다. 이때, 국부 빙하중은 특정 부위의 국부적인 면적에만 작용하게 되며, 일반적으로 빙압력(Ice pressure)의 형태로 표현되고 있다.

해빙과의 접촉에 의해 선체가 받게 되는 압력을 계측하기 위해서는 압력을 잴 수 있는 계측기를 해빙과 직접 접촉하는 일정 구역에 도포하듯이 설치하는 것이 가장 좋은 방법일 것이다. 그러나 이러한 계측 방법은 계측기나 센서를 선체 외부에 부착해야 하는데, 이는 해빙과의 직접 접촉을 고려할 때 현실적으로 매우 힘든 작업이다.

위와 같은 이유로, Sanderson(1995)이 기술하였듯이 쇄빙선에 대한 국부하중 자료는 통상 선체 외판과 내부 구조부재에 설치된 스

트레인 게이지에 의해 기록되는 것이 일반적이다. 국부하중을 계측한 대표적인 선박인 Polar Sea는 1982년 9~10월과 1983년 3~4월에 각각 Beaufort Sea와 Chukchi Sea에서 스트레인 게이지를 이용하여 약 1,400회의 충격을 계측하였다(St. John et al., 1990). 이 시험에서는 선수부 약 9.2m<sup>2</sup> 영역에 스트레인 게이지를 설치하여 국부 압력을 계측하였다.

본 논문은 스트레인 게이지로부터 계측된 변형률 자료를 압력으로 환산하는 방법에 대해 다루고 이를 비교 분석하는 것이 주목적이다. 일반적으로 압력과 응력 또는 변형률 간의 관계를 규정하는 영향계수법을 이용하게 되는데, 아라온호에서 쇄빙 시험 시 계측된 피크 분포를 이용하여 영향계수법을 적용하였으며, 피크가 계측된 구역만을 고려하여 계산한 직접법에 의한 결과와 비교도 수행하였다. 또한, 1년생 및 다년생 해빙에 대한 쇄빙

Received 23 September 2013, revised 7 October 2013, accepted 10 October 2013

Corresponding author Chae Whan Rim: +82-42-868-7415, cwrim@kimm.re.kr

© 2013, The Korean Society of Ocean Engineers

It is noted that this paper is revised edition based on proceedings of KSOE 2013 in Seoul.

시 계측된 기존의 빙압력 - 접촉면적 곡선에도 적용하여 이번에 계산된 빙압력이 대체로 합리적인 결과임을 보였다.

## 2. 북극해 빙하중 계측

여름철 북극해의 빙판을 쇄빙 운항할 때 선수선측에 걸리는 빙하중을 계측할 목적으로 2010년 8월초 우리나라의 쇄빙연구선인 아라온호를 이용하여 스트레인 게이지를 부착하고 실험역 실선시험을 수행하였다. 이 시험의 주요 목적은 해빙의 재료 특성 수집/분석, 아라온호의 쇄빙 성능 검증과 빙하중 계측이며, 총 네 차례의 쇄빙 시험이 실시되었다. 연구팀은 쇄빙 대상 빙판을 탐색, 선정된 후 그 빙판에 직접 올라가 해빙 두께 및 특성 계측 지점을 정하고 그 지점에서 구멍을 뚫고 Ice gauge라는 줄자를 이용하여 빙두께를 측정하였으며 일부 지점에서는 빙시편을 추출하여 빙의 온도, 염도, 밀도, 압축강도 등을 현장 계측하였으며, 이 빙판을 대상으로 쇄빙 운항하면서 빙하중을 계측하고 쇄빙 성능도 확인하였다(Park et al., 2011; Kim et al., 2012). 또한 이 빙판을 대상으로 쇄빙 운항하면서 빙하중을 계측하고 쇄빙 성능도 확인하였다. 쇄빙 성능 확인을 위해 선속, 추진마력, 풍속 등에 대한 자료도 수집하고 정리하였다(Kim et al., 2011a). Fig. 1은 빙판을 뚫고 쇄빙 운항을 시작하는 아라온호의 모습을 항공 촬영한 것이다(Kim et al., 2011b).

빙하중 계측을 위한 스트레인 게이지는 Fig. 2에서 보이는 바와 같이 6개의 1축 게이지와 8개의 로제트 게이지를 선수 Thruster room 내의 좌현측 외판 내부에 부착하였으나, 실제 계측 시에는 이용 가



Fig. 1 Araon in the Arctic Sea in the end of July 2010

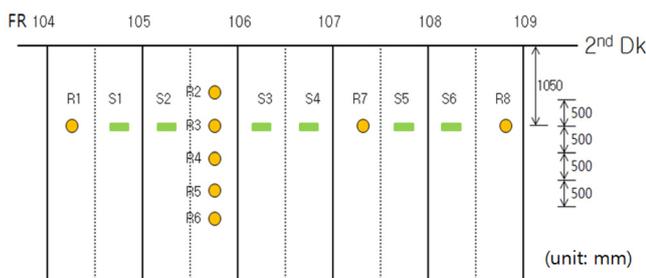


Fig. 2 Location of strain gauges

능한 앰프 채널의 제약으로 총 24개 채널의 신호만을 측정하였다. 그림에서 알 수 있듯이, R8이 선수에 가장 가까운 게이지이며, Fr. 109 위치에 선수 쇄빙 Knife edge가 있고 제2갑판의 수직선상 위치는 7,100 A/B이다.

이번 항해 기간 중, 총 네 차례의 쇄빙 시험을 수행하였으나, 관련 연구자들의 보고(Choi et al., 2011)에 의하면, 1차 시험은 예비시험 성격이라고 하여 2~4차 시험 자료만을 분석에 활용하기로 하였다. 또한, 이번 논문의 목적이 빙압력을 계산하는 것에 관한 것이므로 단일 게이지 지점이 인접한 영역에 작용하는 압력에 의한 영향도 고려할 필요가 있어 계측 게이지 중에 R3번 게이지에서의 빙압력 계산에 주안점을 두었다.

## 3. 빙압력 계산 및 고찰

### 3.1 계측된 변형률을 이용한 빙압력 계산 방법

스트레인 게이지로부터 계측된 변형률은 탄성범위 내에서 두루 적용되는 Hooke의 법칙을 이용하여 응력으로 환산된다. 이러한 응력을 빙압력으로 환산하는 것은 일반적으로 영향계수법을 적용할 수 있다. 즉, 특정한 영역에 압력이 작용하면 인근 영역에 변형과 응력이 발생되는데 압력을 알고자 하는 영역을 둘러싸고 있는 부분에 압력을 작용시키고 이때 관심 영역에서 발생하는 응력을 계산하는 과정을 구조해석을 통해 반복적으로 수행하면 영향계수를 구할 수 있다(Fig. 3 참조).

이렇게 구해진 영향계수는 응력에 대한 압력의 영향계수이므로 식으로 쓰면 아래와 같이 된다.

$$\{\sigma\} = [C]\{p\} \tag{1}$$

여기서,  $\{\sigma\}$ ,  $\{p\}$ 는 각각 특정 영역에 대한 응력 및 압력 벡터이고,  $[C]$ 는 응력에 대한 압력의 영향계수 행렬이며, Fig. 3과 같이 정방형의 9개 영역으로 구분하면 9×9 행렬이 된다.

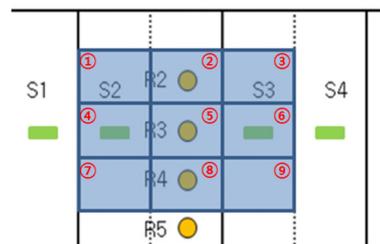


Fig. 3 Contact area around R3 in calculating ice pressure

식 (1)에서 영향계수  $[C]$ 의 역행렬  $[C]^{-1}$ 을 구하면 이것이 압력에 대한 응력의 영향계수가 된다. 이를 적용하면 계측된 변형률로부터 계산된 응력 분포를 이용하여 아래 식과 같이 특정 영역에 작용된 압력을 추정할 수 있다.

$$\{p\} = [C]^{-1}\{\sigma\} \tag{2}$$

### 3.2 영향계수 산정을 위한 구조해석

우선 빙압력 계산 영역을 설정하였는데, 영향계수법(Influence Coefficient Method, ICM)을 적용할 때 빙압력 계산 영역을 둘

러싸고 있는 인근에서의 계측 값이 모두 있는 것이 최상일 것이다. 그런데, Fig. 2에서 알 수 있듯이 2010년의 북극해 계측에서는 선수미 방향과 선체 깊이 방향의 경향을 파악하기 위해서 계측 지점을 선정하면서 R3 지점에서 교차하는 수평 1열, 수직 1열의 십자형으로 구성하였다. 이를 고려하면, R3 지점이 이를 둘러싼 인근의 계측 데이터가 가장 많은 곳이 된다. 따라서 본 연구에서는 영향계수법을 적용한 빙압력 계산 지점을 R3로 대표되는 영역으로 선택하였다(Fig. 3 참조). 이때, 계산하고자 하는 빙압력에 대응하는 면적은 인접한 스트레인 게이지와의 경계까지로 볼 수 있으므로 선체깊이(수직) 방향으로로는 500mm이며, 선수미(수평) 방향으로로는 프레임과 보강재 사이 간격이므로 400mm가 된다.

Fig. 4는 영향계수 계산을 위해 개발된 아라온호의 선수부분 구조해석 모델을 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이, 게이지 설치 위치가 선수 Thruster room 좌현 선측외판 내부이므로 구조해석 모델은 이 공간 전체를 포함하여 아라온호의 93번 프레임 위치에 설치된 횡격벽 전방 선수부이며, 1/2 모델이므로 선체 중심선에서는 대칭조건을 적용하고, 선미방향 경계인 횡격벽은 6자유도를 모두 구속시켰다.

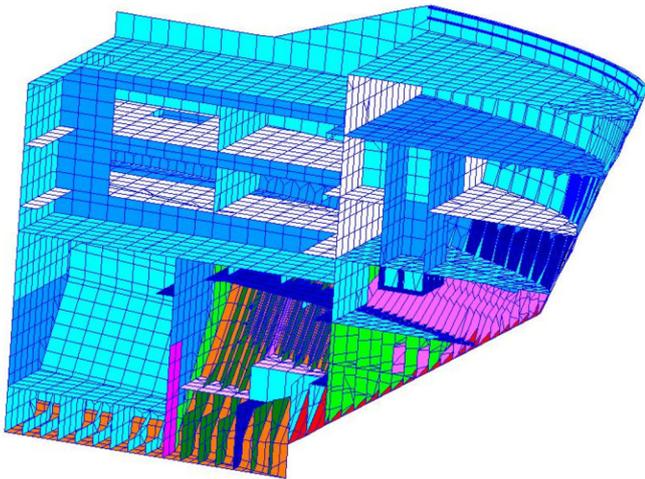


Fig. 4 Structural analysis model of port side of Araon

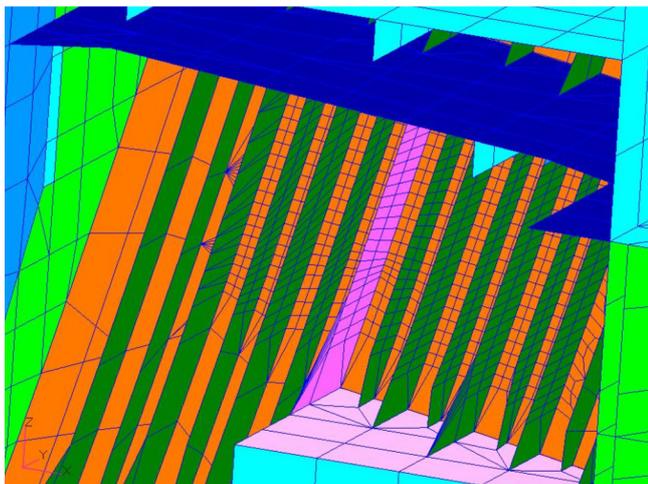


Fig. 5 FE model of bow thruster room with fine mesh

또한, 해석결과에 대한 신뢰성을 확보할 목적으로 요소분할의 크기를 R3로 대표되는 400×500 영역을 1, 4, 9, 16개의 요소로 나누어 네 가지 경우로 해석을 수행하고 그 결과를 비교해 보기로 하였다. Fig. 5에는 해당 영역을 16개로 쪼개어 요소 분할한 구조해석 모델을 보여주고 있다.

3.3 빙압력 계산

북극해 계측에서 주된 시험은 네 차례에 걸쳐 수행된 쇄빙 성능 시험이다. 본 연구에서는 네 차례 시험 중 예비시험 성격이라고 보고된 1차 시험을 제외하고 2~4차 시험 시에 계측된 변형률을 이용하여 빙압력을 계산하였다. 이때, 빙압력 계산 기준점인 R3에서 계측된 변형률을 분석하여 최대값으로부터 10개씩의 피크 데이터가 작용한 지점을 기준으로 R3을 포함하여 이를 둘러싼 인접 계측 지점에서 기록된 총 5개의 변형률 자료를 이용하였다.

한편 Fig. 2에서 알 수 있듯이 계측 시 R3 게이지의 상하는 모두 로제트 게이지를 부착하였으나 선수미 방향의 앞뒤는 S3, S2로 단축 게이지이다. 이는 쇄빙 운항 시 해빙과의 접촉에 의해 선수선측부에 나타나는 응력은 주응력 방향이 선수미 방향일 것이라는 가정에서 출발한 것인데, 로제트 게이지로부터 계측된 변형률을 분석할 결과 거의 일치하는 것으로 나타났다(Korea Maritime & Ocean Univ., 2012).

이로부터 빙압력 계산에는 선수미 방향으로 계측된 값만을 이용하기로 하였다. 즉, 3개의 로제트 게이지로부터 계측된 값을 이용하여 계산 가능한 등가응력 (보통, von-Mises 응력)이나 최대 주응력을 이용하지 않고 로제트 게이지의 선수미 방향(R3-1 채널)으로의 변형률 계측 성분만을 이용하였다. 2~4차 쇄빙 시험 시 R3-1 채널로부터 계측된 상위 10개의 피크 변형률을 정리하면 Table 1과 같다.

또한, 구조해석으로부터 구한 응력의 압력에 대한 영향계수 [C]는 기준영역인 R3 영역을 기준으로 선미 및 상부 방향 위치부터 선수쪽, 하부 방향 쪽으로 순차적으로 구성하면 9×9의 행렬이 되는데(Fig. 3 참조), 대상 영역을 1개 및 16개로 요소 분할하였을 때 각각 식 (3), (4)와 같이 구해졌다.

식 (3), (4)의 값을 비교해 보면, 주대각 행렬의 값이 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 즉, 식(4)의 값이 식(3)의 값보다 상

Table 1 Top 10 strains of R3-1 measured at three tests

(unit: micro-strain)

Rank	#2 test	#3 test	#4 test
1	117.20	115.00	276.90
2	72.92	92.41	259.90
3	42.76	87.19	118.70
4	42.25	67.56	106.40
5	42.14	46.83	105.30
6	36.81	40.97	100.90
7	31.76	36.87	99.29
8	28.86	28.77	96.66
9	18.65	23.54	84.89
10	17.26	20.30	84.51

3.141	1.105	2.587	2.983	0.746	2.868	3.982	1.319	2.991
1.020	2.570	1.252	0.584	2.579	1.320	1.620	3.552	1.117
0.824	2.224	3.012	1.727	2.019	3.171	1.880	1.290	3.899
3.191	1.267	3.342	6.756	1.299	5.205	8.603	2.483	5.686
1.840	2.972	1.497	2.049	5.326	2.355	3.026	7.012	1.990
0.757	1.395	3.873	2.429	2.968	6.205	3.154	2.726	7.434
2.893	1.190	3.548	7.519	1.384	6.098	12.109	2.816	7.850
2.070	2.901	1.440	3.228	5.795	2.592	4.358	9.368	2.763
0.631	0.568	3.765	2.230	2.122	6.710	3.777	3.019	9.773
45.565	4.218	0.835	9.037	1.096	1.612	6.623	0.125	1.852
5.993	41.413	5.377	3.086	4.934	2.072	4.720	3.808	1.357
2.484	12.361	50.057	0.761	4.922	11.440	1.198	0.149	7.356
14.196	3.562	2.012	52.006	5.668	2.986	13.801	1.940	3.771
3.014	10.334	5.209	2.810	44.807	6.937	5.236	8.100	3.669
0.370	4.219	17.621	1.123	13.469	54.117	0.944	3.528	13.943
7.649	0.702	2.962	19.533	4.645	4.015	56.092	6.401	4.987
4.928	3.964	1.757	5.291	12.998	5.964	1.068	47.847	7.990
0.541	0.578	9.400	0.996	4.385	20.354	0.416	10.998	55.270

(3)

(4)

당히 크게 구해져 있는데, 이는 요소분할을 많이 할수록 동일한 하중 작용에 대해 큰 응력이 얻어진다는 일반적인 사실을 잘 반영한 결과로 보인다. 정도 높은 구조해석을 위해서는 그 값이 어느 정도의 요소분할에서 수렴하는지를 파악하고 이를 채용하여야 한다. 이를 확인하기 위해서 주대각행렬의 값 9개를 요소분할 수에 따라 그래프로 나타내 보면 Fig. 6과 같다. 그림에서 알 수 있듯이, 주요 관심 영역의 요소 분할에서 요소수 9개까지는 영향계수가 증가하고 있으나 9개에서 16개 사이에서 수렴하는 모습을 보이고 있다. 따라서 본 연구에서는 16개 요소 모델을 이용한 결과로부터 영향계수를 구성하고 이를 빙압력 계산에 이용하였다.

3.4 빙압력 계산결과에 대한 고찰

Table 2에는 3.3절에서 기술한 영향계수법으로 구해진 빙압력을 제시하고 있다. 그리고 영향계수법으로 구한 값과 더불어 해당 영역에 대한 압력-응력 계수만을 고려하여 직접법으로 계산된 값도 같이 제시하였다. 이 결과를 살펴보면, 우선 최대 압력은 직접법을 적용하여 계산된 1.236MPa(영향계수법으로는 1.232MPa)로 4차 시험 시 나타났다. 이 값은 아라온호 설계 당시 저자들이 추정한 국부 압력이 보강재(또는 프레임) 사이에서 최대 10.3MPa이고 작용 면적이 클 경우인 격벽 사이에서 최대 1.9MPa이었음을 상기하면 상당히 낮은 것이다(Rim and Lee, 2007).

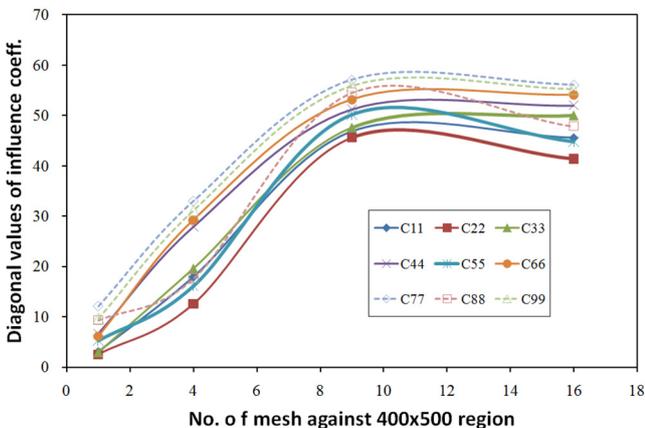


Fig. 6 Variation of diagonal values of influence coefficient according to number of mesh in 400x500 region

Table 2 Calculated local ice pressures of R3 region

(unit: MPa)								
#2 test			#3 test			#4 test		
ICM	Direct	ICM/D	ICM	Direct	ICM/D	ICM	Direct	ICM/D
0.488	0.523	0.933	0.521	0.513	1.016	1.232	1.236	0.997
0.358	0.325	1.102	0.440	0.412	1.068	1.075	1.160	0.927
0.210	0.191	1.099	0.420	0.389	1.080	0.558	0.530	1.053
0.204	0.189	1.079	0.325	0.302	1.076	0.520	0.474	1.097
0.185	0.188	0.984	0.235	0.209	1.124	0.485	0.470	1.032
0.116	0.164	0.707	0.189	0.183	1.033	0.492	0.450	1.093
0.134	0.141	0.950	0.184	0.165	1.115	0.482	0.443	1.088
0.103	0.129	0.798	0.144	0.128	1.125	0.406	0.431	0.942
0.086	0.083	1.036	0.111	0.105	1.057	0.456	0.379	1.203
0.046	0.077	0.597	0.103	0.091	1.132	0.419	0.377	1.111

Note) ICM/D is the difference between ice pressures by ICM and Direct method.

그리고 영향계수법을 적용하면서 R3 지점에서 계측된 값의 순위를 거스르는 경우가 2차 시험에서 1회, 4차 시험에서 2회 정도 나타났으나, 나머지 27개의 피크 값에서는 영향계수를 적용하더라도 값의 크기 순위는 변하지 않았다.

두 가지 방법으로 구한 이들 결과를 비교해 보면, 영향계수법에 의한 결과가 최대 20.3%, 최소 40.3%로 상당히 큰 차이를 보이지만 평균적으로는 약 2.2%(최대 및 최소 차이 값을 빼면 약 5.2% 큰 수준이며, 압력이 0.3MPa 수준 이상인 경우만을 고려하면 약 5.1% 큰 수준임)정도 큰 수준에 머물렀다. 이 정도의 오차는 실용적으로 허용 가능한 범위 안에 있는 것으로 파악할 수 있다. 즉, 다소 복잡한 영향계수법을 적용하지 않더라도 실용적인 범위에서의 빙압력 계산이 가능하다는 것이다. 이것은 아라온호의 선수선측 구조가 상당히 큰 프레임과 보강재를 촘촘히 배치한 횡식 구조이기 때문인 것으로 판단된다.

한편, 위와 같이 계산된 빙압력을 지금까지 실측 결과를 바탕으로 작성된 국부 빙압력 - 면적 곡선(Sanderson, 1995) 위에 표시하면 Fig. 7과 같다. 이때, 동일한 접촉 면적에 대하여 계산된 압력 중에서 Table 2 전체에서 최대값과 최소값 그리고 대체적으로 큰 압력이 계측된 4차 시험에서의 평균값(그림에서 중간에 있는 점)을 표시하였다.

그림에서 알 수 있듯이 2010년 여름 북극해에서 계측된 자료를 바탕으로 계산된 압력은 1년생 및 다년생 해빙에 대한 쇄빙 시 데이터에 비하여도 상당히 낮은 범주에 속해 있음을 알 수 있다. 이는 Choi 등 (Choi, et al., 2011)이 지적한 바와 같이, 본 계측이 수행된 8월초에 예상보다 높은 기온으로 인하여 해빙의 강도가 대체로 낮았다는 점을 감안하면 합리적인 범위의 결과라고 생각된다.

4. 결 론

본 연구는 2010년 8월 북극해에서 수행된 쇄빙 성능 시험 시에 선수선측부에서 스트레인 게이지를 이용하여 계측된 빙하중에 대하여 국부 빙압력을 계산한 것이다.

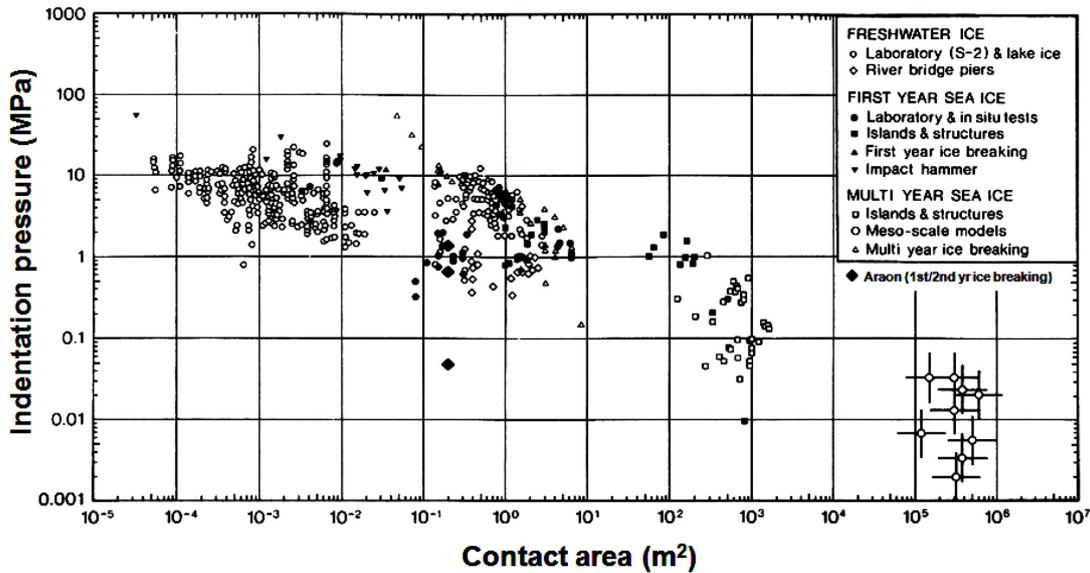


Fig. 7 Ice pressure - contact area curve including local ice pressure calculated from Araon

북극해에서 수행된 네 차례의 쇄빙 시험 중에 2-4차 시험 자료를 대상으로 R3(106번 FR 근처) 계측 지점에서의 피크 값이 발생한 지점을 기준으로 빙압력 계산을 수행하였다. 이때, 인근 영역에 작용한 압력에 의한 영향을 함께 고려하는 영향계수법을 적용하였으며, 영향계수를 구하기 위해 아라온호의 선수부를 대상으로 한 구조해석도 수행하였다. 또한, 빙압력 계산 지점에서의 작용압력과 상관계수만 구하면 간단히 계산 가능한 직접법으로도 빙압력을 계산해 보고 두 방법으로 구해진 값을 비교하였다. 비교 결과, 직접법에 의한 빙압력 계산 방법이 실용적으로 사용 가능한 범위 안에 있음을 파악할 수 있었다.

계산 결과, 최대 빙압력은 4차 시험에서 구해진 1.236MPa 수준이었다. 이 결과는 이전에 아라온호 선수부를 대상으로 추정된 국부 빙압력보다 상당히 작았고, 1년생 및 다년생 해빙에 대한 쇄빙 자료에 의한 값보다도 다소 작은 범주에 속하고 있다. 이러한 결과는 당시 해빙의 강도가 대체로 낮다는 해빙 특성 시험 결과를 감안하면 합리적인 범위의 계산값이라 판단된다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부 지원 산업원천기술과제(Grant No. 10033640)의 연구비 지원으로 수행된 연구결과이며, 지원에 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

Kim, D.H., Park, Y.J., Choi, K.S. 2012. Material Properties of Arctic Sea Ice during 2010 Arctic Voyage of Icebreaking Research Vessel ARAON: Part 2-Compressive Strength, Flexural Strength and Crystal Structures. Journal of Ocean Engineering and Technology, 26(1), 1-8.  
 Kim, H.S., Lee, C.J., Choi, K.S. and 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, 208-215.  
 Kim, H.S., Lee, C.J., Jeong, S.Y. and 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), 421-425.  
 Korea Maritime and Ocean University. 2012. Safety Assessment Techniques for Hull Structure of Icebreaking Vessels. Report of Phase I, Ministry of Knowledge and Economy.  
 Park, Y.J., Kim, D.H., Choi, K.S. 2011. Material Properties of Arctic Sea Ice during 2010 Arctic Voyage of Icebreaking Research Vessel ARAON: Part 1-Sea Ice Thickness, Temperature, Salinity and Density. Journal of Ocean Engineering and Technology, 25(2), 55-61.  
 Rim, C.W. and Lee, T.K. 2007. Estimation of Ice Load on Bow of a Icebreaking Research Vessel. Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 44(5), 509-516.  
 Sanderson, T.J.O., 1995. Ice Mechanics: Risks to Offshore Structures. (Choi, K.S. Trans.), Seoul: Cheong Moon Gak Publishers (Original work published 1988).  
 St. John, J.W., Daley, C., Blount, H., 1990. Ice Loads and Ship Response to Ice -Summer 1982/Winter 1983 Test Program-, Ship Structure Committee (SSC), Report No. 329.