

# 쇄빙연구선 ARAON호의 빙하중 추정을 위한 6자유도 운동계측 및 스트레인 게이지 데이터의 비교 분석

민정기<sup>1</sup>·천은자<sup>2</sup>·김진명<sup>2</sup>·이상철<sup>2</sup>·최경식<sup>2,†</sup>  
한국해양대학교 해양과학기술전문대학원<sup>1</sup>  
한국해양대학교 해양공학과<sup>2</sup>

## Comparison of the 6-DOF Motion Sensor and Strain Gauge Data for Ice Load Estimation on IBRV ARAON

Jung Ki Min<sup>1</sup>·Eun-Jee Cheon<sup>2</sup>·Jin Myung Kim<sup>2</sup>·Sang Chul Lee<sup>2</sup>·Kyungsik Choi<sup>2,†</sup>  
Ocean Science and Technology School, Korea Maritime and Ocean University<sup>1</sup>  
Department of Ocean Engineering, Korea Maritime and Ocean University<sup>2</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.

This study focuses on the comparison of measured data from 6-DOF motion sensor and strain gauge installed in the IBRV ARAON during 2015 summer voyage in the Arctic. Procedures to calculate the global ice load from MotionPak II inertial measurement system and the local load from stain gauge system are discussed. The ship's speed and peak load are determined in the concept of an ice collision "event". It is found that the peak values in the global ice calculated from whole ship motion analysis fall in the range of 1.5~3 times of the local ice load based in strain gauge measurement.

**Keywords** : IBRV ARAON(쇄빙연구선 아라온호), Inertial measurement system(관성 측정 시스템), Strain gauge measurement(스트레인 게이지 계측), Local Ice load(국부 빙하중), Global Ice load(전체 빙하중)

## 1. 서론

빙해역을 운항하는 쇄빙선박의 빙하중(ice load) 산정은 매우 중요한 선박의 설계요소 중 하나로, 빙-선체 상호작용(ice-ship interaction)에 의해 선체에 작용하는 빙하중 크기는 선체의 구조 및 선형, 출력기관의 선정에 중요한 정보로 활용되기 때문이다. 국내외에서 빙하중 산정에 관한 연구는 경험적 방법을 위시하여 모형시험, 현장시험 및 수치해석 등을 통해 수행되고는 있지만 빙-선체 상호작용에 의해 선체에 작용하는 빙하중에 대한 해석이 아직 충분히 정립되어 있지 못한 현실이다. 선체에 작용하는 빙하중의 크기를 산정하는 방법으로 기술적 문제점을 비롯하여 선체 구조의 안전 그리고 비용의 측면에서 다양한 어려움이 존재하지만 실선시험을 통해 계측된 빙하중 자료는 매우 유용하다.

쇄빙연구선 ARAON호는 2009년 건조된 이후 남극해(2010년 1월, 2012년 2월)에서 2회, 북극해(2010년 8월, 2013년 8월)에서 2회, 빙하중과 빙저항, 해빙의 재료강도특성을 계측하는 실선 시험을 수행한 바 있다 (Cheon, et al., 2014). 본 연구팀은

2015년 7월 30일에서 8월 23일 사이 ARAON호의 북극 척치해 및 동시베리아해(Chukchi and East Siberian Seas) 항해에 승선하여, 빙해역 현장 실선시험을 수행하였다 (Fig. 1 참조).

2015년 북극항해 시 ARAON호는 빙해역 구간에서 25회의 계측시험을 수행하였는데 관성 측정 시스템(inertial measurement system)를 비롯하여 스트레인 게이지(strain gauge), 전자기 유도 장비(electromagnetic induction instrument) 및 비디오 장비로 구성된 실선계측 시스템을 활용하였다.

쇄빙선박의 선체에 작용하는 빙하중에는 스트레인 게이지를 이용하여 선체 외판 및 그 주변 부재에 작용하는 구조손상을 발생시키는 국부 빙하중(local ice load) 추정과 관성 측정 시스템을 이용하여 선체를 하나의 구조부재로 보고, 선박의 6자유도 운동계측을 통한 전체 빙하중(global ice load) 추정으로 구분된다. 본 연구에서는 2015년 북극항해 시 ARAON호의 관성 측정 시스템에서 계측된 데이터를 바탕으로 전체 빙하중을 추정하고, 이를 스트레인 게이지 데이터 분석을 통해 추정된 국부 빙하중과 비교하였다.

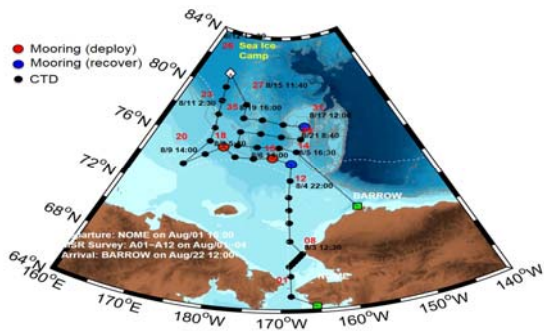


Fig. 1 2015 ARAON cruise map(Arctic Ocean)

## 2. ARAON호의 북극해 실선계측 시스템

쇄빙연구선 ARAON호는 2015년 8월 북극 척차해/동시베리아 해에서 실선시험을 수행하였다. 실선시험은 빙해수조에서 수행한 빙-선체의 상호작용 해석 및 특성을 검증하기 위해 빙해역에서 실제 선박으로 수행되며, 선체와 얼음의 접촉 시 빙-선체 상호작용 및 빙해선박의 쇄빙성능을 추정하기 위해 여러 가지 계측시스템을 활용하여 수행된다.

2015년 북극항해 시 ARAON호의 실선계측 시스템은 빙하중 추정을 위해 1) 빙하중이 영향을 미치는 부위의 선체 내부에 Fig. 2 와 같이 스트레인 게이지를 부착하여 선체의 변형을 통해 센서가 부착된 부위의 국부 빙압력을 추정하고, 2) 선체를 강체로 가정하고 관성 측정 장치를 이용하여 선체운동을 측정하여 선체에 작용한 전체 빙하중을 추정하는 시스템으로 구성하였다.

본 연구에서는 2015년 북극항해 시 쇄빙연구선 ARAON호의 실선시험 시 계측된 관성 측정 시스템의 데이터를 분석하여 전체 빙하중을 추정하였으며, GPS 속도 데이터와 연동 및 스트레인 게이지를 통해 추정된 국부 빙하중과 비교 및 분석하였다.

스트레인 게이지를 빙-선체 상호작용 시 쇄빙이 주로 일어나는 선체의 부위에 부착하여, 계측된 선체의 변형률을 분석하여 국부 빙하중을 추정하였다. 스트레인 게이지는 Fig. 2와 같이 좌현 102번 프레임(frame)에서 110번 프레임 사이에 24개, 우현 106번 프레임에서 110번 프레임 사이에 12개의 1축 게이지를 부착하였다.

스트레인 게이지를 활용하여 전체 빙하중을 추정하는 것은 설치작업이 매우 번거로워, 일반적으로 선체를 강체(rigid body)로 가정하고 선박의 6-자유도 운동을 계측하는 관성 측정 시스템을 통해 전체 빙하중을 추정하는 방법이 사용되고 있다 (Johnston, et al., 2003). 관성 측정 장치는 설치가 간단하고, 다른 선박에 적용할 경우에도 측정 장비를 손쉽게 이식하여 재사용 할 수 있어 매우 편리하고 경제적인 방법이라 할 수 있다. 2015년 ARAON호의 북극해 실선시험 시 관성 측정 시스템 “MotionPak II” 를 Fig. 3과 같이 선박의 무게중심에 설치하여 ARAON호의 선체운동을 측정하고, 측정된 데이터를 분석하여 선체에 가해지는 전체 빙하중을 추정하였다. MotionPak II는 3개의 가속도계와 3개의 각속도계로 구성되어 있으며, 각 센서에 의해 X,Y,Z 축 방향의 가속도(acceleration)와 각속도(angular rate)가 측정된다.

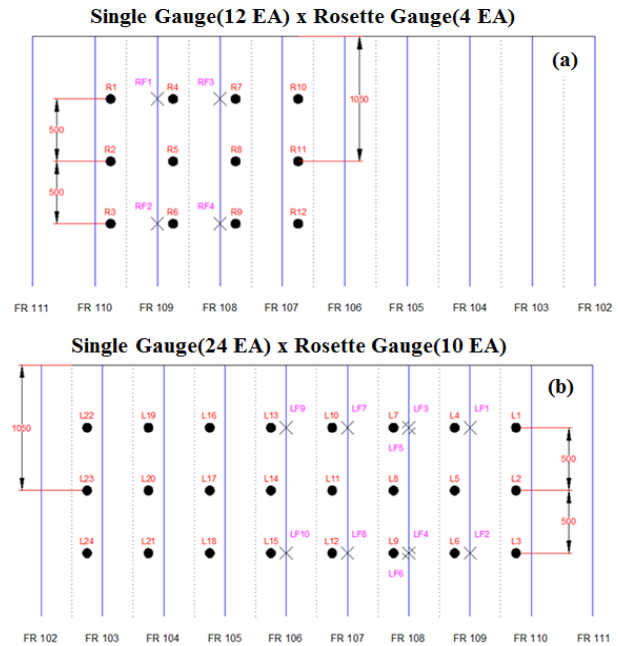


Fig. 2 Location of strain gauge installation ((a): port side, (b):starboard)

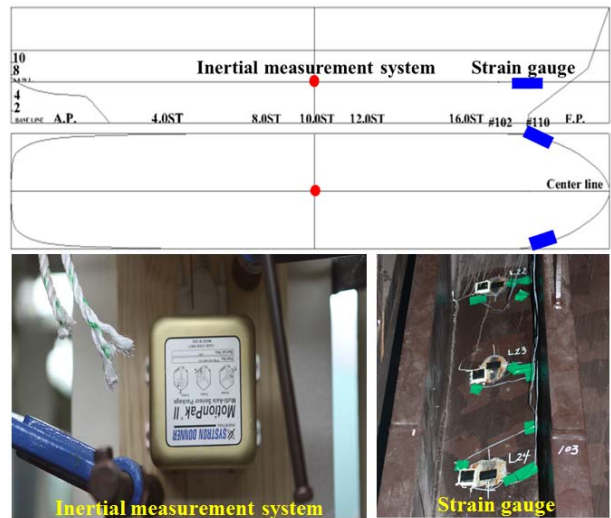


Fig. 3 Location of strain gauge and inertial measurement system, MotionPak II and installation of each measurement systems

## 3. 실선계측 데이터의 해석방법

### 3.1 실선계측 관성 측정 데이터

관성 측정 시스템에 의해 측정된 원본 데이터(raw data)를 이용하여 선체에 작용하는 전체 빙하중을 추정하기 위해서는 적절한 데이터의 교정(calibration) 및 필터링(filtering)과 같은 전처리(pre-processing) 작업이 필요하다. 우선 빙하중이 가해지기 전 무빙해역에서의 가속도 및 각속도를 기준 값으로 하여 측정된 데

이터들을 교정하고, 얼음과의 상호작용은 주로 5 Hz 이하의 저주파 형태로 일어나므로, 그 이상의 주파수 영역에 계측되는 데이터에 대해서는 노이즈로 간주하고 저역통과필터(low pass filter)를 적용하여 5 Hz 이상의 고주파 신호를 제거해 준다. 특히 4 Hz 부근에서의 선체의 운동과 관계없이 나타나는 2차원적인 선체의 진동까지 제거하기 위해서는 2 Hz 이하의 저역통과필터를 이용하여 필터링을 할 필요가 있다 (Johnston, et al., 2004).

전처리된 데이터에서 각속도 성분을 이용하여 수치미분(numerical differentiation)으로 각가속도 성분을 계산하고, 나머지 성분은 수치적분(numerical integration)을 통해 계산한다. 6-자유도의 가속도, 속도 및 변위를 구한 후 식 (1)과 같이 운동방정식(equation of motion)에 대입하여 X,Y,Z 방향에 대한 힘과 모멘트를 계산하고 식 (2)에 의해 선박에 작용하는 전체 빙하중을 추정할 수 있다.

$$\{F\} = [M + A]\{\ddot{\eta}\} + [B]\{\dot{\eta}\} + [C]\{\eta\} \quad (1)$$

여기서 M은 선박의 질량행렬을 나타내며, A는 유체특성을 고려한 부가질량을 나타내고 B와 C는 감쇄 및 복원력 행렬을 나타내며, 이를 통해 계산된 외력 F가 X,Y,Z 방향에 대한 하중을 나타낸다. 계산과정에서 필요한 ARAON호의 질량 및 부가질량, 감쇄력과 복원력 행렬은 유체역학적 특성을 고려해 사전에 계산된 값을 사용하였으며 그 값은 Table 1과 같다.

Table 1 Mass, added mass and restoring coefficients used in the analysis

M(ton, ton-m, ton-m2)					
7579	0	0	0	0	0
0	7579	0	0	0	0
0	0	7579	0	0	0
0	0	0	246246	0	0
0	0	0	0	4275070	0
0	0	0	0	0	4275070
A(ton, ton-m, ton-m2)					
377.2	0	324	0	53785.9	0
0	5433.6	-10715.4	0	0	13193.8
324	0	23810	0	143613	0
0	-10715.4	0	59534.1	0	85280
53785.9	0	143613	0	9742730	0
0	13193.8	0	85280	0	4275070
C(kN/m, kNm/m)					
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	17278.4	0	90322	0
0	0	0	218991	0	0
0	0	90322	0	13391600	0
0	0	0	0	0	0

북극항해 기간 동안 유빙과의 충돌은 주로 정면 충돌보다는 측면 충돌에 의한 현상이 지배적이므로 정확한 빙하중 산정을 위해서는 선체 길이방향의 힘( $F_x$ )과 함께 수직인 방향의 힘( $F_z$ )과 측면방향의 힘( $F_y$ ) 성분들도 함께 고려되어야 한다.

$$F = \sqrt{((F_x)^2 + (F_y)^2 + (F_z)^2)} \quad (2)$$

여기서  $F_x, F_y, F_z$ 는 각 방향으로 작용하는 충격 빙하중을 의미한다 (Fig. 4 참조).

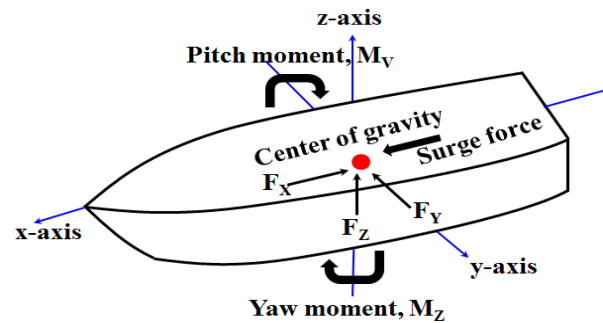


Fig. 4 Force and moment components at center of gravity

### 3.2 실선계측 스트레인 게이지 데이터

구조부재의 변형이 탄성이라고 가정하여 빙해역에서 쇄빙선박이 얼음을 깨고 운항하는 동안 스트레인 게이지로부터 계측된 변형을 데이터를 선체에 발생하는 응력으로 변환할 수 있다. 이렇게 계산된 선체 응력을 영향계수행렬을 이용하여 선체에 작용하는 국부 빙압력으로 환산할 수 있다 (Lee, et al., 2013). 영향계수행렬은 유한요소법을 이용한 구조해석 과정에서 얻어진다. 스트레인 게이지에서 계측된 변형률을 하중으로 역추정하는 계산 과정은 Fig. 5와 같다.

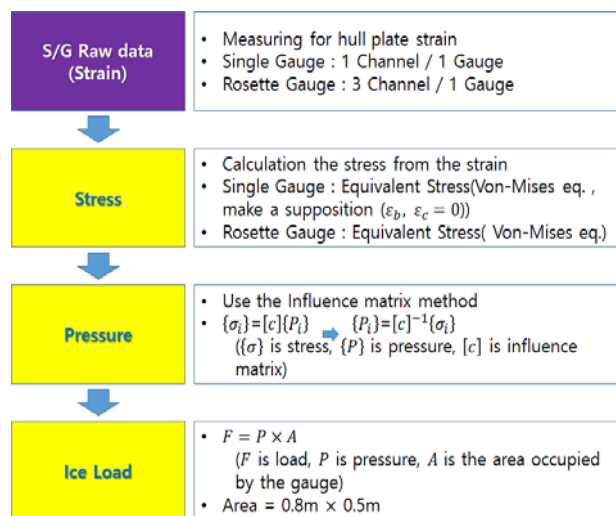


Fig. 5 Process of stain gauge data analysis

스트레인 게이지에서 계측된 선체의 변형률을 이용해 국부 빙하중을 추정하기 위해서는 출항 전 선박이 정지된 상태에서 데이터의 초기값을 0으로 보정한다. 2015년 북극항해 시 ARAON호의 선체 선측부 외판에 부착한 36개의 1축 게이지로부터 계측된 변형률은 Fig. 6과 같으며, 후크의 법칙을 사용하여 선체 외판에 작용하는 응력을 계산한다. 계산된 각 게이지에서의 응력을 영향 계수행렬에 의해 선체 외판이 받는 압력으로 계산되며, 스트레인 게이지가 설치된 영역의 면적을 곱하여 국부 빙하중을 산정한다 (Fig. 5 참조). 북극해 실선계측 스트레인 게이지 데이터 해석방법에 대하여는 다음 논문으로 발표된 바 있다 (Choi, et al., 2011; Lee, et al., 2013).

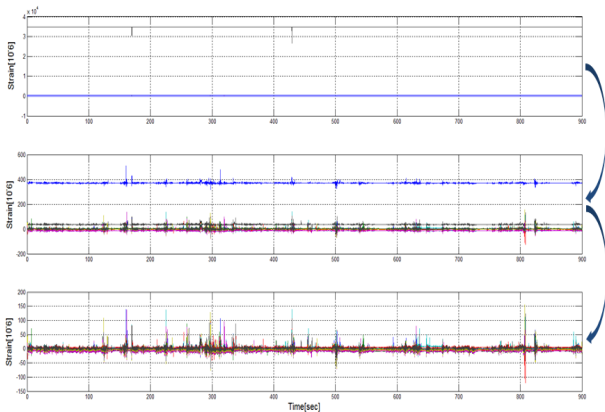


Fig. 6 Time history of calibrated strain gauge data

## 4. ARAON호의 실측계측 데이터 분석

### 4.1 관성 측정 데이터 분석

2015년 북극항해 시 관성 측정 시스템에 의해 계측된 X,Y,Z 방향 가속도와 각속도 정보는 Fig. 7, 8과 같이 나타난다. 여기서 전후동요(surge) 방향의 가속도와 함께 계산된 전체 빙하중 결과를 분석하면 충격이 발생한 시간대를 파악할 수 있다. 일반적으로 선박이 쇄빙하는 과정에서는 주로 종동요가 크게 나타나게 되는데, 이번 북극항해의 경우 대부분 빙판이 작은 규모의 유빙으로 구성되어 있기 때문에 쇄빙선박의 선수부가 빙판을 올리면서 쇄빙과정에 나타나는 종동요 운동보다는 주로 빙판을 밀고 나가는 과정에서 나타나는 선수동요와 횡동요(roll)가 상당부분 계측되었다.

빙하중 계측 데이터의 분석은 매순간 각각 위치에서 변하는 피크값(peak value)보다는, 선체와 얼음의 충돌을 하나의 이벤트(event)개념으로 접근할 필요가 있다. 선체가 얼음에 부딪힌 후 깨진 빙판이 선체의 표면을 따라 이동하다 사라지는 사이클을 하나의 이벤트로 정의하고 각 이벤트 안에서 하중의 피크값을 찾았다. 하나의 이벤트 안에서 피크 하중에 대응하는 속도는 얼음에 충돌하기 직전의 선속에 해당하며, 선체의 얼음이 접촉한 후에는 선속이 감소하지만 하중은 오히려 증가한다. 충격에 의하여

얼음이 깨어지지 못한 경우에는 선속은 0이 되지만 이때 빙하중은 최대가 될 수도 있다 (Cheon, et al., 2014). 이러한 방법으로 쇄빙운향이 이루어지는 상황을 검토하여 이벤트를 구분하고 각 이벤트에서의 빙하중의 피크값과 대응속도를 결정하였다.

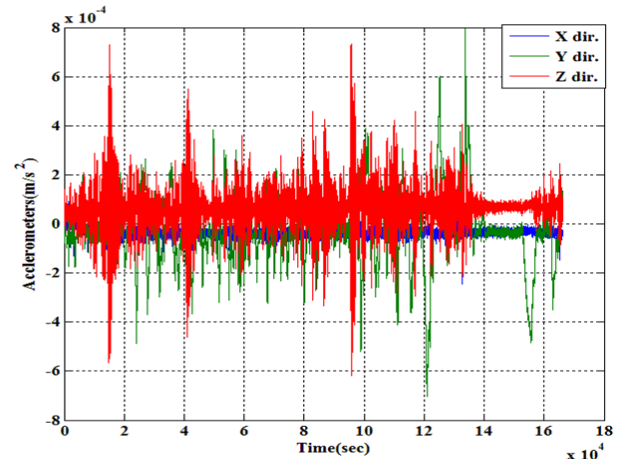


Fig. 7 Acceleration in three directions

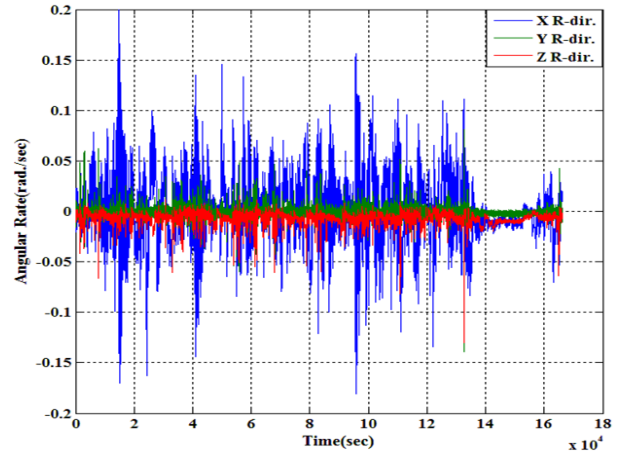


Fig. 8 Angular rate in three directions

2015년 북극항해 시 관성 측정 시스템의 해석 데이터를 예를 들어 쇄빙 이벤트를 설명할 수 있는데, Fig. 9(A)는 데이터의 일부로 Fig. 7, 8의 각 성분을 식 (1), (2)을 이용해 계산한 것으로 시간에 따른 전체 빙하중의 변화를 나타내고 있다. 그 중 @부분을 보면 선체가 얼음과의 접촉에 의해 선체에 작용하는 빙하중이 점차 증가하게 되고, 하중이 얼음의 파괴강도에 다다르면 빙판이 파괴하면서 하중이 줄어든다. 쇄빙주기는 일반적으로 2~5초 이내에 발생함을 확인할 수 있으며, 편의상 1MN 이상을 기준으로 각 쇄빙이벤트에 대해 빙하중의 피크값을 찾아 Fig. 9(B)와 같이 나타냈다. Fig. 9(C) 그래프는 해당 데이터의 동일한 시간에 GPS를 통해 계측된 선박의 속도로서 쇄빙이 이루어지는 상황을 검토하여 이벤트의 피크값에 해당하는 대응속도를 찾았다. 스트레인 게이지 데이터 분석 또한 동일한 방법으로 구성하였다 (Cheon, et al., 2014).

### 4.2 ARAON호의 빙하중 추정 결과 분석

빙해역 운항 시 쇄빙선박에 작용하는 빙하중은 크게 정상운항 상태(normal operating conditions)에서 계속되는 빙하중과 극한 빙상환경(extreme condition)에서 발생하는 극한 빙하중으로 구분할 수 있다. 실제 빙해역 선급규정에서 사용되는 설계 빙하중은 선박이 심한 손상을 받는 극한 빙상상태에서의 운항보다는 정상 운항상태에서 선박에 요구되는 강도를 요구하고 있다 (Cheon, et al., 2014). 2015년 북극항해 시 실선계측 시스템에 의해 계속된 데이터는 빙상환경에서 계속되는 극한 빙하중이기 보다는 정상 운항상태에 가깝기 때문에 본 연구에서는 선행연구에서 제시된 정상운항 상태의 추정식과 비교하였으며, 제시된 빙하중과 선속과의 관계식은 식 (3)과 같다 (Choi, et al., 2009).

$$F = 0.824 \Delta^{0.4} (\sigma_f h^2 V \cos \alpha)^{0.283} \quad [\text{MN}] \quad (3)$$

여기서  $V$  (m/s)는 선박의 속도,  $\Delta$  (103 ton)는 선박의 배수량,  $\sigma_f$ 는 해빙의 굽힘강도,  $\alpha$ 는 선수각을 나타내며 해빙의 빙두께는 1 m, 굽힘강도는 2015년 북극항해 시 해빙의 재료특성을 파악하기 위해 현장계측을 수행하였는데 해빙의 온도 및 밀도 정보를 바탕으로 경험식 (Timco & O'Brien, 1994)을 이용하여 추정된 315 kPa를 이용하여 계산하였다 (Table 2 참조). Fig. 10에 보듯이 관성 측정 시스템 및 스트레인 게이지에 의해 추정되는 쇄빙연구선 ARAON호의 전체 빙하중과 국부 빙하중은 정상 운항 상태의 빙하중 추정식(점선)보다 모두 아래쪽에 위치한 것을 알 수 있다. 이로부터 전체 빙하중과 국부 빙하중의 추정치가 정상 운항 상태의 빙하중 추정식의 범주 안에 들어가고 있음을 확인할 수 있다. 한 가지 주목할 점은 정상상태의 빙하중 추정식에 비해 빙하중 계측 시스템에 의해 계산된 빙하중 추정치가 상당히 작다는 것을 알 수 있는데, 이는 정상상태의 빙하중 추정식의 경우 일정한 두께와 강도를 가지는 평탄빙(level ice)의 연속쇄빙에 대응하는 빙하중 추정치로 2015년 북극항해 시 대부분의 빙판이 작은 규모의 유빙으로 구성되어 있고, 보다 정확한 분석이 필요하겠지만 비디오 촬영자료를 확인한 결과 빙두께가 경험식에 이용된 1 m에 비해서 작은 값으로 추정된다. 또한 Fig. 11와 같이 평탄빙 상태이기 보다는 팩아이스(pack ice)에 가까운 빙상환경이 있었음을 알 수 있다.

2015년 북극항해 시 실선계측 시스템에 의해 측정된 데이터를 이용하여 추산된 전체 빙하중과 국부 빙하중을 비교하였다. 관성 측정 시스템에 의해 추정된 전체 빙하중은 선속은 3~6 m/s에서 약 1.0~5.2 MN으로, 최대값은 선속 4 m/s에서 5.2 MN 정도이다. 스트레인 게이지에 의해 추정된 국부 빙하중은 선속은 3~6 m/s에서 약 1.0~2.5 MN으로, 최대값은 선속 2.5 m/s에서 2.5 MN 정도이다. 각 데이터에서 이벤트에 따른 전체 빙하중 및 국부 빙하중을 비교하면 대략 1.5~3배정도 차이가 남을 확인할 수 있다.

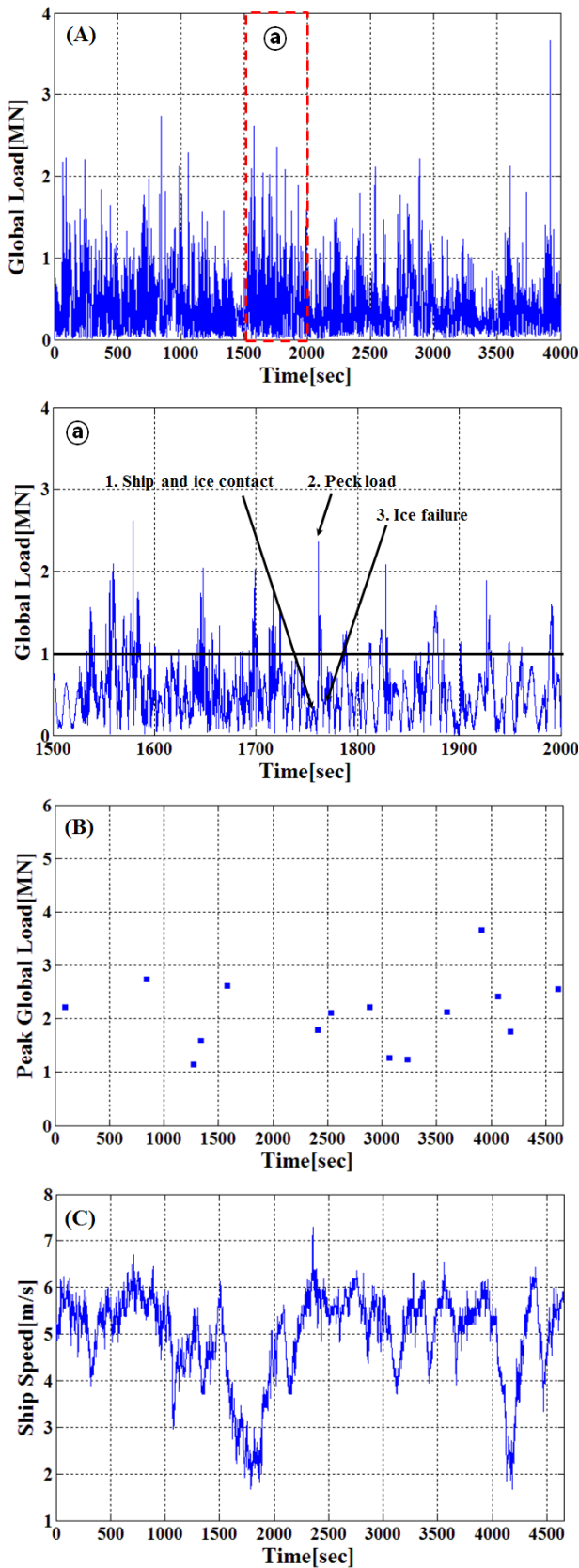


Fig. 9 (A) Characteristics of ice load Part① Denotes the sample event and icebreaking cycle (B) Peak ice load measured during each event (C) Time history of ship speed



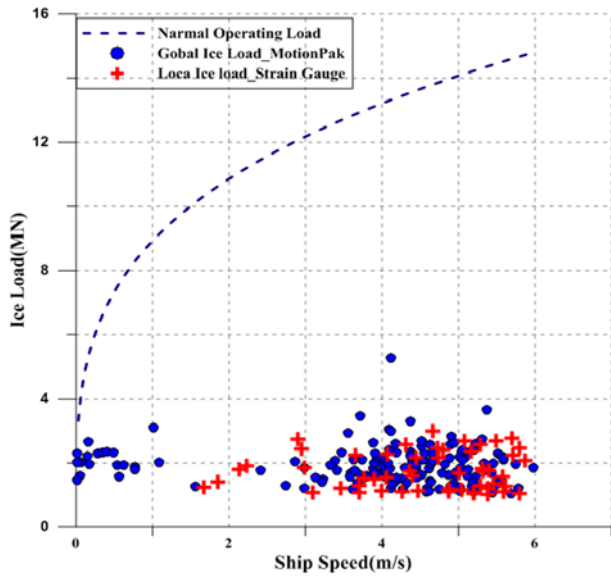


Fig. 10 Global ice load and normal operating condition ice load

Table 2 Measured sea ice properties in the Arctic, 2015

Sample	Compressive strength of sea ice (MPa)	Flexural strength of sea ice (kPa)
Point A	5.68	418
Point B	3.50	235
Point C	3.07	203
Average of 15 samples	4.44	315

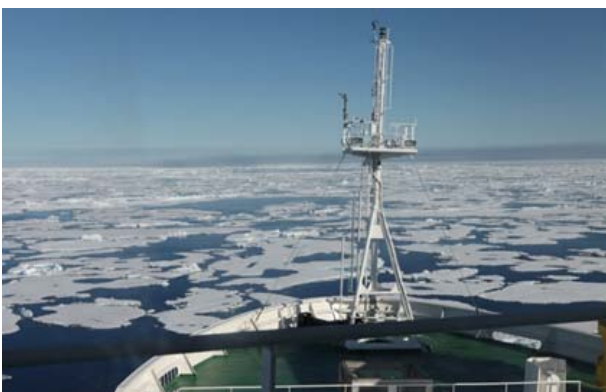


Fig. 11 Sea ice condition for the IBRV ARAON during the general ice transit in the Arctic, 2015

스트레인 게이지가 부착된 외판부 면적은 전체 외판면적의 일부에 지나지 않기 때문에 이러한 차이가 나는 것도 당연한 것이지만 그 비율은 좀 더 검토할 필요가 있다. Jeong, et al. (2015)의 연구에 따르면 빙하중 모형시험 시 빙하중 계측을 위해 빙하

중이 크게 작용하는 선수 정면, 선수 어깨부, 선측의 수선면에 촉각센서를 부착하여 빙하중을 계측하였다. 국부 빙압력이 계측된 스트레인 게이지의 위치는 선수 Thrust room 내의 좌현측 외판의 내부로 선수 정면에 위치한 센서와 근접하여 있다. 비록 전체 빙하중을 계측하기에는 촉각센서가 배치된 면적이 충분하지 않지만, 촉각센서에 의해 추정된 빙하중과 선수 정면에 위치한 센서의 빙하중과 비교하면 대략 2~4배정도 차이를 확인할 수 있다. 하지만 모형선-실선간의 스트레인 게이지와 촉각센서와의 위치 및 면적에 차이가 있으므로 직접적인 비교는 어려울 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 빙-선체 상호작용에 따른 선박의 빙하중 추정을 위해 쇄빙연구선 ARAON호의 2015년 북극항해 시 계측한 관성 측정 데이터 및 스트레인 게이지 데이터 분석을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 관성 측정 데이터 및 스트레인 게이지 데이터를 통해 쇄빙 이벤트를 구분하여 각 이벤트 내에서 피크값 및 대응속도를 도출하여 전체 빙하중 및 국부 빙하중을 추정한 결과, 계측된 빙하중 모두 정상 운항 빙하중 경험식의 범주 안에 있으며, 빙하중 추정치가 상당히 작음을 확인할 수 있다. 이는 2015년 북극항해 시 대부분의 빙판이 작은 규모의 유빙으로 구성되어 있고, 팩아이스에 가까운 빙상환경의 영향으로 판단된다.
- 2) 2015년 북극항해 시 전체 빙하중 및 국부 빙하중을 비교했을 때 각 데이터에서 이벤트에 따른 전체 빙하중은 국부 빙하중에 비교해 대략 1.5~3배 정도 사이에 있었다. 모형시험 통해 촉각센서에 의해 추정된 빙하중과 스트레인 게이지가 위치한 부위와 근접한 선수 정면의 촉각센서의 빙하중과 비교하면 대략 2~4배 차이가 남을 확인할 수 있다. 향후 쇄빙연구선 ARAON호에 부착된 스트레인 게이지 위치를 분석하여 모형시험과 동일한 위치에 촉각센서를 부착하고 실선 운항 조건과 동일한 모형시험을 수행한다면 좀 더 명확한 모형선-실선 상관관계를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

## 후기

본 연구는 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 주 요사업인 “쇄빙연구선 아라온호의 실시간 빙충격 하중 계측 통합 시스템 개발 (PES2120)” 과제 및 2016년 산업통상자원부 지원 산업핵심기술과제 “ARC7 극지환경용 해양플랜트 내빙구조 설계 기술 개발” 과제의 지원으로 수행된 결과임.

## References

Cheon, E.J. Choi, K. Kim, H.Y. & Lee, T.K., 2014.

Analysis of Strain Gauge Data Onboard the IBRV ARAON During Icebreaking Voyage in the Antarctic Sea Ice. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 51(6), pp.489–494.

Choi, K. Jeong, S.Y. & Nam, J.H., 2009. Prediction of Design Ice Load on Icebreaking Vessels under Normal Operating Conditions. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 46(6), pp.604–611.

Choi, K. 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.

Lee, T.K. Kim, T.W. Rim, C.W. & Kim, S.C., 2013. A Study on Calculation of Local Ice Pressures for ARAON based on data Measured at Arctic Sea. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 27(5), pp.88–92.

Jeong, S.Y. Choi, K., and Cheon, E.J., 2015. An Analysis of Characteristic of Ice Load Distribution on Model Ship due to Ship and Ice Interaction. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 52(6), pp.478–484.

Johnston, M. Frederking, R. Tim, G.W. & Miles, M., 2003. Motion; A novel approach for determining ice-induced global loads on ships. *2003 Canada's National Marine Exhibition & Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Montreal, Canada, 28–30 May 2003.

Johnston, M. Frederking, R. Tim, G. W. & Miles, M., 2004. Using MOTAN to measure global accelerations of the CCGS Terry Fox during bergy bit trials. *23rd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Vancouver, Canada, 20–25 June 2004.

Timco, G.W. & O'Brien, S., 1994. Flexural Strength Equation for Sea Ice. *Cold Regions Science and Technology*, 22, pp.285–298.

