

A Study of the Change of Ship Speed according to the Ice Load Signal during Slow Ramming

Se-Jin Ahn^{ID*} and Tak-Kee Lee^{ID**}

^{*}Department of Ocean System Eng., Graduate School, Gyeongsang National University, Tongyeong, Korea

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

저속 충격쇄빙 시 빙하중 신호에 따른 선속 변화 연구

안세진^{ID*} · 이탁기^{ID**}

^{*}국립 경상대학교 대학원, 해양시스템공학과

^{**}국립 경상대학교 조선해양공학과, 해양산업연구소

KEY WORDS: Ramming 충격쇄빙, Continuous icebreaking 연속쇄빙, Ice load signal 빙하중 신호, Time-history 시간이력, Relationship between peak signal and ship speed 피크 신호와 선속의 관계

ABSTRACT: Recently, researchers in Korea and abroad actively have conducted research activities using the ARAON, a Korean icebreaking research vessel. The ARAON regularly conduct research activities in the Arctic and Antarctic waters every year. The icebreaking mode, which can be either continuous breaking or ramming, is determined by the conditions of the ice and the ice-covered waters. When the icebreaker encounters thick sea ice or an ice ridge, ramming is used. At that time, the speed of the ship generally is slower than that of continuous icebreaking. In this study, the ice load signal at the time of repetitive ramming during ARAON's 2012 Antarctic research voyage was analyzed. The time history of the ice load signal and the change in the speed of the ship used in ramming were compared with these values during continuous icebreaking.

1. 서 론

극지방에 매장되어 있는 많은 양의 원유 및 천연가스 등 각종 천연자원과 해저자원을 이용할 경우 상업적으로 많은 이윤을 남길 수 있다는 점으로 인해 최근 전 세계에서 남극과 북극에 대한 관심이 증가하고 있다. 개발에 대한 관심이 증가하며 남극과 북극에 대한 연구 활동 역시 증가하고 있는 추세이다. 국내 최초 쇄빙연구선인 아라온호는 매년 정기적으로 남극과 북극을 운항하기 때문에 아라온호를 이용한 국내외 연구자들의 과학조사 활동이 매우 활발하다.

빙해역을 운항할 때는 해빙과의 충돌이나 접촉으로 인해 빙하중이 발생한다. 이러한 하중을 받은 구조부재의 응답 특성을 파악하기 위해서는 먼저 충격하중이 구조부재에 가해지는 동안의 하중-시간관계 곡선을 규명하는 것이 중요하다(Paik et al., 1999). 또한, 이러한 빙하중의 크기는 일반해역 운항 중 선박이 받게 되는 파랑하중이나 슬래밍과 같은 파랑 충격하중보다 커질 수 있다(Kim, 2014). 이로 인해 빙하중은 빙해역을 운항하는

선박설계 시 중요하게 다루어지는 고려사항 중 하나이다.

빙하중은 쇄빙선박 및 해양구조물 등이 해빙과의 충돌이나 접촉으로 인해 받는 힘이므로, 해빙의 강도나 밀집도 등 해빙환경조건과 선속 등 운항조건에 의해 달라지고, 비록 같은 크기의 해빙이어도 빙하중의 크기는 다르게 나타날 수 있다(Lee et al., 2014). 이와 같은 이유로 해빙의 재료강도특성을 조사하는 연구 활동이나 실선 쇄빙 성능시험이 활발히 수행되고 있다.

아라온호는 2012년 남극에 있는 우리나라의 연구과학기지인 장보고 기지와 세종대왕 기지의 소모물자를 수송하면서 과학연구활동을 위해 남극 아문젠해를 항해하였다(Fig. 1). 이 항해에서 쇄빙을 수행하는 동안 빙하중 계측을 위해 선수선측부 외판 내측에 21개의 로제트 게이지를 부착하였다(Choi et al., 2015).

본 논문에서는 남극 아문젠해에서 운항하던 도중 두꺼운 해빙에 갇히게 되어 반복 충격쇄빙을 수행하며 계측한 변형률 게이지 신호를 시간이력으로 나타낸 것을 바탕으로 빙하중과 선속의 변화를 정리하였다. 이러한 자료들에 근거하여 빙하중과 선속의 변화에 대한 관계를 분류하였으며, 이 결과를 이전 2010

Received 19 September 2019, revised 7 December 2019, accepted 19 December 2019

Corresponding author Tak-Kee Lee: +82-55-772-9193, tklee@gnu.ac.kr ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5944-156X

It is noted that this paper is revised edition based on proceeding of KSOE 2017 in Geoje.

© 2019, The Korean Society of Ocean Engineers

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.

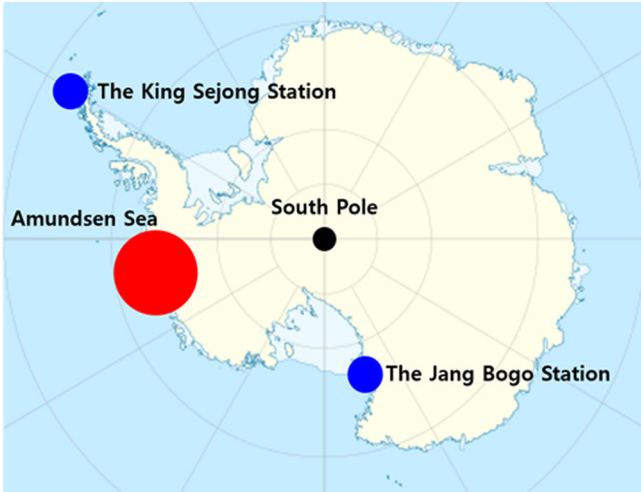


Fig. 1 Antarctic transit route of the ARAON

년 북극해에서 연속쇄빙을 통해 계속된 변형률 게이지 신호와 비교, 분석하였다.

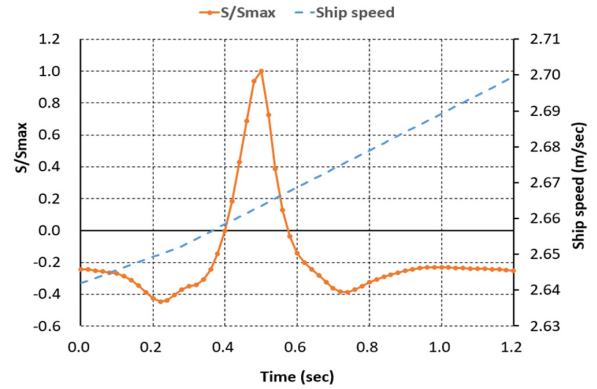
2. 충격쇄빙 시 빙하중과 선속 변화 경향 분류

본 논문에서는 2012년 2월 28일 남극 아문젠해에서 충격쇄빙을 수행하며 12,000초 동안 변형률 게이지로부터 계속된 데이터를 Hooke의 법칙을 적용하여 응력으로 변환하였다. 선수 쇄빙에 의해 부서진 얼음이 선측 외판을 타고 흐른다고 가정하였기 때문에, 변형률 게이지로부터 계속된 데이터들 중 선수미 방향의 값만을 변환하였다. 분석데이터 중 20MPa 이상인 피크응력은 총 347회 기록되었다. 피크응력 347회를 각각 시간이력을 통해 나타낸 후 피크응력, 상승시간, 1/2 감쇄시간, 충격 지속시간을 계산하였으며, 이전 논문(Kwon et al., 2014)에서 언급한 기준을 적용하여 5가지 신호유형으로 분류하였다(Ahn et al., 2017).

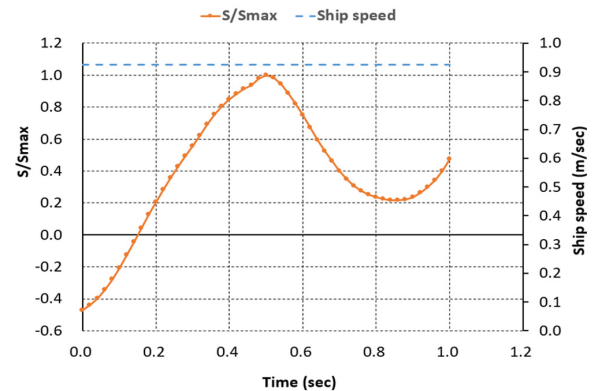
GPS(Global positioning system) 기록 데이터로부터 1초 간격으로 저장된 선속자료를 입수하였으며, 빙하중 신호의 시간이력과 일치시키기 위해 빙하중 신호 계속 시각을 기준으로 동일한 시각에 기록된 선속을 이용하였다. 이후, 기록된 선속 사이의 값은 일정한 변화율로 가정하여 선형 내삽시켰다. 선속의 변화 유형을 파악하기 위해 빙하중 신호의 시간이력과 동일한 방법으로 선속 그래프를 나타낸 후 유형별로 분류하였다.

Fig. 2에서 각 유형의 전형적인 예를 제시하였으며, 그림에서 원형 기호를 가진 황색 실선은 빙하중 신호이고, 기호가 없는 청색 점선은 선속을 나타낸다. 유형별 분류 기준은 아래와 같이 설명할 수 있다. (a) Type I은 초기선속보다 최종선속이 더 빠른 경우이다. (b) Type II는 최종선속이 초기선속과 동일하게 유지되는 경우이다. (c) Type III은 초기선속이 최종선속보다 더 빠른 경우이다. (d) Type IV는 그 외 모든 유형이다.

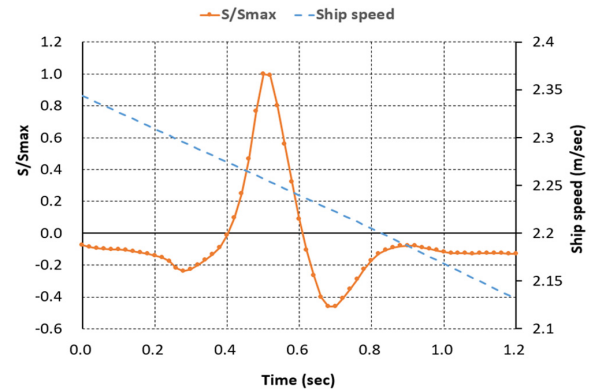
각 유형별로 피크응력, 충격 지속시간, 선속의 최댓값, 최솟값 그리고 평균으로 정리하여 각각 Table 1에 정리하였다. 이때, 선속은 SOG(Speed over ground)를 표시하고 있다. 피크응력의 최댓값은 159.6MPa, 평균 충격 지속시간은 1.173s, 평균 선속은 1.09m/s였다.



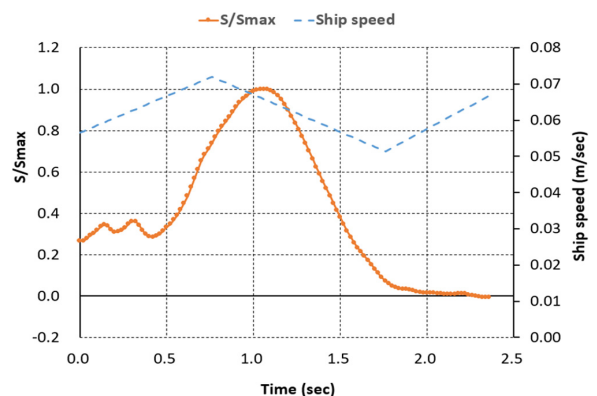
(a) Type I : Increase profile



(b) Type II : Maintenance profile



(c) Type III: Decrease profile



(d) Type IV: All other profiles

Fig. 2 Four typical profiles of the ice load and ship speed

Table 1 Summary on peak data in ramming

SOG Type	No. of Peak over 20 MPa		S_{max}^* [MPa]	T_d^{**} [s]	SOG [m/s]
I	101	Max.	96.0	4.952	3.45
		Min.	20.1	0.128	0.01
		Avg.	34.9	0.741	1.22
II	1	Max.	48.1	0.686	0.93
		Min.	48.1	0.686	0.93
		Avg.	48.1	0.686	0.93
III	221	Max.	159.6	9.952	3.30
		Min.	20.1	0.135	0.04
		Avg.	37.5	0.772	1.11
IV	24	Max.	111.3	14.077	0.93
		Min.	20.2	1.233	0.02
		Avg.	40.0	6.700	0.27
Total	347	Max.	159.6	14.077	3.45
		Min.	20.1	0.128	0.01
		Avg.	37.0	1.173	1.09

* S_{max} : Maximum stress

** T_d : Time duration

Table 1을 보면 Type I 이 101개로 분류되었다. 또한, Type II가 가장 적은 1회, Type III가 모든 Type 중 가장 많은 221회, Type IV가 24회로 분류되었다. 가장 많은 경우를 차지하는 Type III에서 선속은 해빙과의 충돌이 발생하면서 선속이 감소되는 경향을 띄고 있다는 것을 알 수 있는데, 이는 빙해역 운항 선박에서 빙과의 충돌/접촉을 고려할 때 매우 일반적인 메커니즘이다 (Choi, 2015). 하지만, 초기 선속보다 충돌 후 선속이 증가하는 경우(Type I)도 상당히 많았는데, 이는 충격쇄빙을 수행하기 위하여 엔진출력을 인위적으로 일정 수준으로 유지하거나 때로는 증가시킨 때문으로 추정된다.

3. 충격쇄빙 시 선속에 따른 빙하중과 충격지속시간

2012년 2월 28일 충격쇄빙을 시행하며 아라온호에서 계측된 최대 피크응력 347회를 대상으로 선속에 따른 빙하중과 충격지속시간의 변화를 분석하였다.

Fig. 3은 선속변화 경향에 따른 4가지 유형별로 분류된 아라온호의 선속 계측 데이터를 이용하여 선속과 피크응력 사이의 관계를 보여주는 그래프이다. 여기서 선속은 빙하중이 피크인 지점에서의 선속을 취하였다. 이 그래프에 의하면, 충격쇄빙 시 50MPa 보다 낮은 피크응력에서는 계측된 선속 영역 전체에 걸쳐 Type I 과 III가 섞여 있다. 이를 보아, 낮은 피크응력이 발생하였을 때 피크응력과 선속 변화 경향은 특별한 관계가 없는 것으로 분석된다. 또한, 피크응력이 60MPa 이상일 때는 모든 Type이 선속 2.06m/s 이하일 때만 발생하였으며, 피크응력이 120MPa 이상일 때는 Type III만 발생하고 있다. 이는 일반적인 해빙에 비해 비교적 두꺼운 빙판을 저속으로 쇄빙한 당시 운항

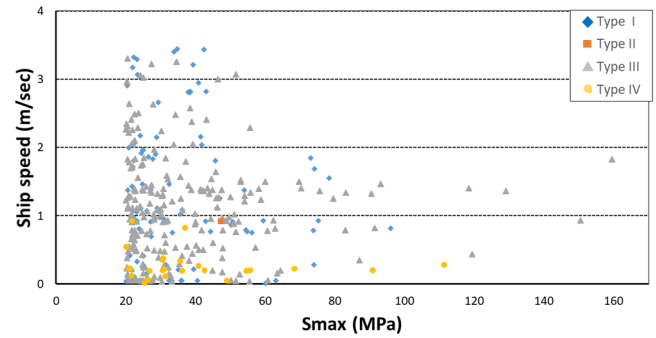


Fig. 3 Relationship between ship speed and peak stresses

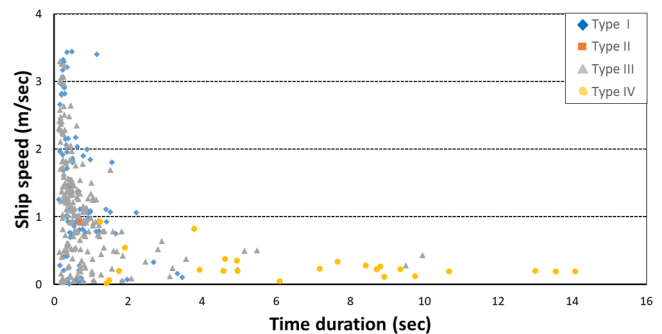


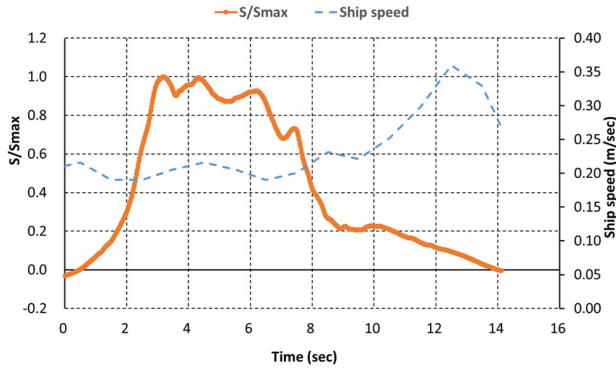
Fig. 4 Relationship between ship speed and time duration

상황에 따른 것이라 생각된다. Type I 과 III는 선속에 거의 상관없이 전 영역에서 발생하는 것으로 보아 해빙의 재료강도 특성에 보다 많은 영향을 받는 것으로 보인다. 즉, 동일한 선속에서 빙하중이 발생하더라도 빙이 단단하면 선속이 감소할 것이며, 빙이 쉽게 깨지면 선속은 유지되거나 증가할 수 있을 것이다.

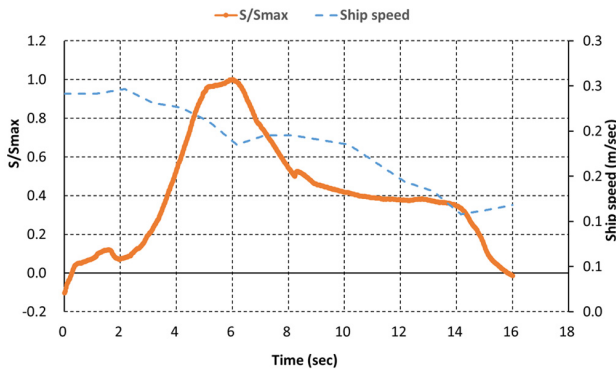
Fig. 4는 선속과 충격 지속시간의 관계를 보여주는 그래프이다. 그래프를 분석해 보면, Type I, II 그리고 III는 대부분 충격 지속시간 1초 이하일 때 기록되었다. 하지만 Type IV는 모든 경우가 충격 지속시간이 1초 이상일 때 기록되었으며, 10초 이상일 때는 Type IV만 나타났다. 이를 보아, 쇄빙을 수행하기 어려운 경우 엔진출력을 유지하거나 증가시키는 작업을 2회 이상 시행하였을 것으로 생각되며, 이러한 과정을 통하여 선수부에서 해빙을 밀어내며 끊임없이 접촉하기 때문에 이전 논문(Kwon et al., 2014)에서 언급한 Type V의 빙하중 신호 유형이 나타나며 충격 지속시간 또한 길게 나타난 것으로 추정된다.

참고로 Kwon et al.(2014)은 아라온호에서 계측된 빙하중 신호에 대한 시간 이력 특성을 분석하면서 중간 피크의 발생 유무로 빙하중 신호에 대한 분류를 시도한 바 있다. 이에 의하면, 빙하중 신호는 최대 피크 이전이나 이후에 중간 피크가 전혀 없는 경우(Type I), 빙하중 상승 시 중간 피크가 있는 경우(Type II), 빙하중 하강 시 중간 피크가 있는 경우(Type III) 및 빙하중 상승과 하강 시 모두 중간 피크가 있는 경우(Type IV) 그리고 위의 4가지 경우에 해당하지 않는 특별한 경우(Type V)로 구분할 수 있다.

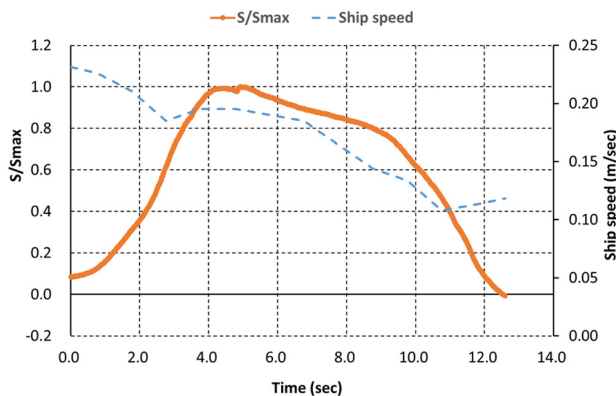
Fig. 5는 충격 지속시간이 12초 이상인 3개의 경우를 보여주고 있다. 선속의 변화가 잘 관측되고 있는데, 그림에서 (a)의 경우는 빙충격 이후 속도가 일부 증가하고 있고 나머지 두 경우



(a) Time duration = 12.992 s



(b) Time duration = 13.543 s



(c) Time duration = 14.077 s

Fig. 5 Three profiles with long time duration

는 전반적으로 감소하는 모습이다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 두꺼운 해빙을 충격과 함께 밀어내는 작업을 수행하는 과정에서 계측된 것이다(Ahn et al., 2017).

4. 충격쇄빙과 연속쇄빙의 선속 변화 경향 비교

본 논문에서 연구한 2012년 2월 28일 남극 아문젠해 충격쇄빙 데이터와 비교를 위해 2010년 북극해에서 계측한 데이터들 중 7월 31일 데이터를 이용하였다(Lee et al., 2014). 20MPa 이상인 최대 피크응력 총 26회의 데이터의 선속유형을 파악하기 위해 충격쇄빙과 동일한 방식으로 분류하고 Table 2와 같이 정리하였다. 피크응력의 최댓값은 80.1MPa, 평균 충격 지속시간은

Table 2 Summary on peak data in continuous icebreaking

SOG Type	No. of Peak over 20 MPa		S_{max} [MPa]	T_d [s]	SOG [m/s]
I	10	Max.	61.0	0.407	5.10
		Min.	20.1	0.034	2.96
		Avg.	36.6	0.181	4.06
II	6	Max.	60.8	0.271	4.73
		Min.	26.2	0.170	3.83
		Avg.	34.5	0.225	4.41
III	10	Max.	80.1	0.509	5.32
		Min.	20.7	0.097	3.42
		Avg.	43.9	0.239	4.35
IV	0	Max.	-	-	-
		Min.	-	-	-
		Avg.	-	-	-
Total	26	Max.	80.1	0.509	5.32
		Min.	20.1	0.034	2.96
		Avg.	38.9	0.213	4.25

0.213s, 평균 선속은 4.25m/s였다. 충격쇄빙에서는 평균 선속이 1.09m/s인 것에 반해 연속쇄빙을 수행할 때의 평균 선속은 4.25m/s로 약 4배 더 빠르다.

충격쇄빙과는 달리 Type I, III이 비슷하게 나타나고 있으며, 충격쇄빙에서 전체 약 0.3% 발생한 Type II가 연속쇄빙에서는 전체 약 23.1%로 나타나고 있다. 충격쇄빙과 연속쇄빙에 대한 피크 발생시 선속 변화 비교에서 다른 큰 차이는 Type IV의 존재유무이다. 충격쇄빙에서는 전체 약 7%에 해당하는 경우가 있었지만, 연속쇄빙에서는 전혀 발견되지 않았다. 이와 같은 결과로 보아, 연속쇄빙을 수행할 시 선속은 초기 변화와 동일하게 지속되는 경향을 보이고 있다. 또한, 충격쇄빙과는 달리 쇄빙을 위해 해빙과 지속적으로 접촉하고 있지 않아 평균 선속 4.25m/s의 빠른 선속으로 쇄빙작업을 수행해 나가기 때문에 충격 지속 시간은 0.5초 이하 영역에 분포하고 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 2012년 쇄빙연구선 아라온호를 이용하여 남극 아문젠해에서 충격쇄빙을 수행하며 계측된 데이터를 바탕으로 빙하중과 충격지속시간을 선속 변화 경향 관점에서 분석하였다. 충격쇄빙이 수행될 당시의 선속은 GPS 데이터로부터 기록된 값을 이용하였고, 쇄빙을 진행하는 동안 빙하중 발생 시 선속의 변화 경향을 4가지 유형으로 분류하였다. 이를 바탕으로 빙하중과 선속 변화와의 관계에 대한 분석을 시도하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 저속 충격쇄빙 도중 피크 발생 시 선속변화 경향을 분류한 결과, 선속이 감소하는 경향인 Type III이 가장 많이 계측되었고, 전체 약 63.7%를 차지했다. 그 외 선속이 상승하는 경향

인 Type I 이 약 29.1%, 선속이 유지되는 Type II 약 0.3%를 차지했으며, 그 외 모든 유형인 Type IV는 약 6.9%가 나타났다.

(2) 충격쇄빙에서 피크응력이 60MPa 이상일 때는 모든 Type의 선속이 2.05m/s 이하였으며, Type IV는 선속이 1.03m/s 이하에서만 계측되었다. 또한, Type IV는 대부분 피크응력이 100MPa 이하일 때 나타났지만 예외적으로 110MPa일 때 나타난 경우가 있었는데, 이는 비교적 두꺼운 빙판을 저속으로 엔진출력을 조정하며 쇄빙했기 때문으로 추정된다. Type I 은 피크응력이 100MPa 이하일 때만 나타나는 경향을 보였다. 또한, 피크응력이 110MPa 이상일 때는 대부분 가장 많이 계측된 Type III가 분포하고 있었다.

(3) 충격쇄빙에서 Type I, II 그리고 III은 대부분 충격 지속시간이 1초 이하일 때 계측되는 경향을 보였다. 하지만 Type IV는 충격 지속시간이 1초 이상일 때만 계측되었으며, 10초 이상일 때는 Type IV만 나타나는 경향을 보였다. 이는, 해빙을 선수 부에서 끊임없이 밀어내기 때문에 충격 지속시간이 길게 나타났으며, 엔진출력을 조정하면서 쇄빙하기 때문에 선속변화가 2회 이상 나타난 것으로 추정된다.

(4) 선속 변화 경향을 충격쇄빙과 연속쇄빙 시 데이터로 비교한 결과, 연속쇄빙 시에는 Type I 과 III이 전체 약 38.5%, Type II가 약 23.1% 차지하였으며, Type IV는 계측되지 않았다. 연속쇄빙은 충격쇄빙과 다르게 Type II가 다수 계측되었으며, 이는 쇄빙 수행 시 엔진출력의 인위적인 조정으로 인한 선속변화 없이 초기 선속변화와 동일하게 지속되는 경향인 것으로 분석된다. 또한, 충격쇄빙과 달리 연속쇄빙은 평균 선속 4.25m/s의 빠른 선속으로 쇄빙작업을 수행한다는 특성으로 인해 충격 지속시간이 0.5초 이하 영역에 대부분 분포하고 있다.

후 기

본 연구는 한국연구재단의 BK21 플러스 프로그램의 후원으로 수행된 연구결과이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Ahn, S.J., An, W.S., Lee, T.K., Choi, K., 2017. An Analysis on Strain Gauge Signal Measured from Repetitive Ramming in Heavy Ice Condition. Proceedings of The Twenty-seventeen International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, Busan Korea.
- Choi, K., 2015. Ice Loads on Icebreaking Vessels. Munundang.
- Choi, K., Cheon, E.J., Kim, H.Y., Nam, J.H., Lee, T.K., 2015. Comparison of Peak Ice Pressures on the IBRV ARAON during the Planned and the Unusual Ice Transits. Proceedings of The Twenty-third International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, Trondheim Norway.
- Kim, H.Y., 2014. Analysis of Strain Gauge Data and Estimation of Ice Load on the IBRV ARAON in the Antarctic Sea. Master's Thesis, Korea Maritime & Ocean University, Department of Ocean Engineering.
- Kwon, Y.H., Jeon, Y.J., Rim, C.W., Lee, T.K., 2014. Characteristics Analysis of Local Ice Load Signals in Ice-covered Waters. The 28th Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM 2014), Istanbul Turkey.
- Lee, T.K., Kim, T.W., Rim, C.W., Kim, H.S., 2014. A Study on Analysis of Ice Load Measured during the Voyage in the Arctic Sea. Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 51(2), 107-113. <https://doi.org/10.3744/SNAK.2014.51.2.107>
- Paik, J.K., Chung, J.Y., Paik, Y.M., 1999. A Study on the Collapse Strength Characteristics of Ship Bottom Plating Subject to Slamming Induced Impact Lateral Pressure Loads. Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 36(2), 77-93.