

# 국내 운항선박 내항성능해석을 위한 우리나라 해역의 파랑특성 연구

황태성<sup>1,2</sup>, 서대원<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>한국해양교통안전공단 검사기준실, <sup>2</sup>군산대학교 조선해양공학과

## A Study on Wave Characteristics for Sea Keeping Analysis of Domestically Operated Ships

Tae-Seong Hwang<sup>1,2</sup>, Dae-Won Seo<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Survey Standard Office, Korea Maritime Transportation Safety Authority

<sup>2</sup>Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Kunsan National University

**요약** 국내 항해에 종사하는 선박의 선체구조규칙은 대부분 북대서양을 기준으로 개발된 선급 규정을 따르도록 되어있으며, 더욱이 90m 이하인 소형선박에도 이러한 가혹한 규정이 적용되고 있어 이에 대한 개정이 요구된다. 따라서 우리나라 주변만을 항행하는 선박에 대해서는 우리나라 해역을 기준으로 개발된 파랑하중을 적용할 필요가 있다. 그러나 아직까지 우리나라 해역에 대한 설계 파랑조건에 대한 분석이 이뤄지지 않아, 설계파를 산정하는데 필요한 정보가 없는 실정이다. 본 연구에서는 국내 항행선박에 적용하기 위한 설계파랑 조건을 선정하고자 하였다. 이를 위해서 파도 산포도를 바탕으로 단장기 예측을 통해 설계파를 산정하였다. 그 결과 1년과 20년에 1회 발현하는 파의 파고는 17.98 m(진폭 8.99 m), 20.68 m(진폭 10.34 m)인 것으로 산정되었다.

**Abstract** The hull structural rule is applied to domestic voyage vessels and is almost the same as the class hull rule. The class hull rule was developed based on the North Atlantic and is also applied to small vessels with length not greater than 90m. It is more reasonable to apply wave loads developed based on South Korea to domestic voyage vessels. However, there is no information to calculate a design wave for a domestically operated ship because an analysis of the design wave conditions around South Korea has not been done yet. In this study, a design wave condition for application to domestic navigation ships was selected using a short and long-term prediction method. The wave heights corresponding to 1-year and 20-year return periods were estimated to be about 17.98m(amplitude 8.99m) and 20.68m(amplitude 10.34m).

**Keywords** : East Sea, Yellow Sea, Korea Strait, Jeju Strait, Wave Characteristic, Short-term Prediction, Long-term Prediction, Design Wave

### 1. 서론

강으로 건조된 길이 90m 초과인 선박 중 국제항해에 종사하는 선박의 선체구조를 평가하기 위한 파랑 하중은

국제선급협회의 통합규칙 S11을 적용해야 한다[1]. 이러한 국제선급협회 규정인 Rec.34 Standard Wave Data에 따르면, 통합규칙 S11의 파랑하중은 가장 파도가 센 북대서양 지역을 기준으로 개발되었다[2].

본 논문은 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구과제(스마트 항만-자율운항선박 연계기술 개발)임.

\*Corresponding Author : Dae-Won Seo(Kunsan National Univ.)

email: dwseo@kunsan.ac.kr

Received June 28, 2022

Accepted August 3, 2022

Revised August 2, 2022

Published August 31, 2022

현재, 대한민국에 등록하려는 선박은 선박안전법 또는 어선법에서 정한 시설기준을 따라야 한다. 선체 시설기준은 북대서양을 기반으로 개발된 선급 기준을 적용하고 있으며, 90 m 이하의 선박 또는 국내항해에 종사하는 선박에도 동일하게 적용되고 있어 소형선박의 선체구조 경량화, 최적구조 설계 시 매우 가혹한 조건이 제한 요소로 작용된다.

즉, 국내항해에 종사하는 선박에 북대서양 지역을 기반으로 개발된 파랑하중과 동하중을 적용하는 것 보다 국내해역의 특성이 반영된 파랑하중과 동하중을 적용하는 것이 합리적이다.

특히 알루미늄 어선에 적용되는 선체 시설기준은 국제항해에 종사하는 고속경구조선기준과 동일하여 건조 시, 많은 문제점을 야기하고 있으며 국내 해양환경에 적합하도록 기준 개정 또는 개발에 대한 요구가 꾸준히 제기되었다.

국내 해양환경에 대한 연구는 제주도 서쪽에 위치한 차귀도 해역의 해상 상태 분석, 속초 해역의 해상 상태 분석, 카페리 여객선의 고박 장치 하중 산정을 위해 국내 연안 여객선의 주요 항로 중 하나인 '인천-제주'에 대한 해상 상태 분석 등 특정 지역을 기반으로 한 연구와 한국해역의 파랑에너지밀도 분석 등 우리나라의 동해, 서해, 남해를 모두 고려한 한 연구가 수행되었으나 선체 시설기준을 개발하기 위한 설계파에 대한 정보는 포함하지 않고 있다[3-6].

본 연구에서는 국내 항해에 종사하는 선박의 내항성능 평가를 위해 필요한 운항해역에 대한 파의 특성을 분석하였다.

## 2. 우리나라 파랑 분석

### 2.1 우리나라 해역의 파랑 통계자료

우리나라 해역에 대한 파랑 분석을 위해서 노르웨이 선급협회 규정의 선체운동해석 지침을 따라 파랑자료를 분석하였다[7-9]. 우리나라 근처 해역 번호는 Fig. 1과 같이 동해, 서해, 남해는 영국해양기술그룹(BMT: British Maritime Technology, 이하 BMT)의 국제 파랑 통계기준에 따라 18, 28, 29 영역에 해당한다. 본 연구에서는 일반적으로 선급협회가 활용하는 BMT의 파랑 데이터를 구매하여 이용하였다.

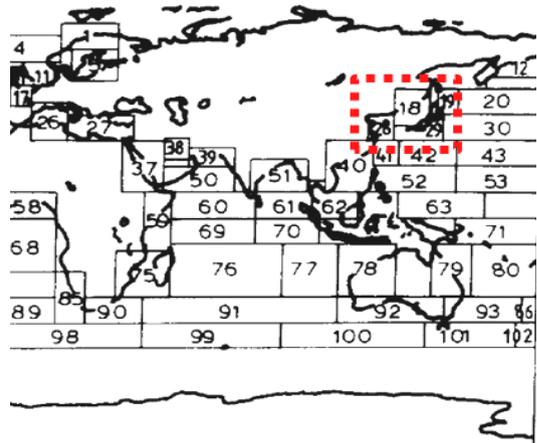


Fig. 1. Definition of the extent of South Korea (IACS, 2001)

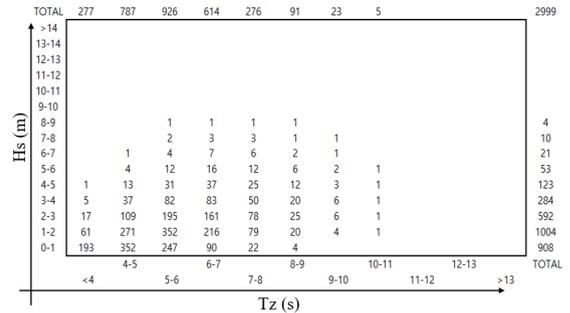


Fig. 2. Wave scatter distribution for 18, 28, 29 sector in South Korea

국내항해를 하는 선박은 우리나라의 동해, 서해, 남해 어느 곳이든 갈 수 있으므로 세 해역을 모두 포함하는 파 통계 산포도를 활용하여 단기 및 장기예측을 하는 것이 합리적이다. 동해, 서해, 남해의 세 해역을 모두 포함하는 파 산포도는 Fig. 2에 나타내었다. 여기서, X축은 영점주기( $T_z$ )이며, Y축은 유의파고( $H_s$ )로 일정한 시점 동안 관측한 파고 자료 가운데 높은 파고로부터 전체의 1/3 이내에 있는 파도에 대해 구한 평균 파고와 주기를 가진 개념상의 규칙파를 의미한다. X축과 Y축이 교차하는 칸의 값은 해당 해상 상태에 대한 파의 개수를 의미한다. 세 해역 중 가장 빈도수가 많은 파는 4.5초(0.5 m)파도와 5.5초(1.5 m)파도 인 것으로 나타났으며, 장주기 파로는 10.5초 근처의 파도도 간혹 발생하는 것으로 나타났다.

### 2.2 단기예측 결과

단기예측은 각 해상 상태에 대해 분석하는 것으로, 우

리나라의 동해, 남해, 서해 파도 분포표인 Fig. 2를 기준으로 하였으며, 단기예측 방법으로는 Fig. 3과 같은 절차로 수행하였다.

Fig. 3과 같이 단기예측 위해서 먼저 수행하고자 하는 해상 상태를 선택하고 해당  $H_s$ 와  $T_z$ 를 찾는다. 파 산포도는  $H_s$ 와  $T_z$ 를 구간의 형태로 표현하고 있으며 이것을 두 값의 평균값으로 변환하였다. 예를 들어, 파 산포도의  $T_z$  4-5초 구간을 4.5초로 변환하였다.

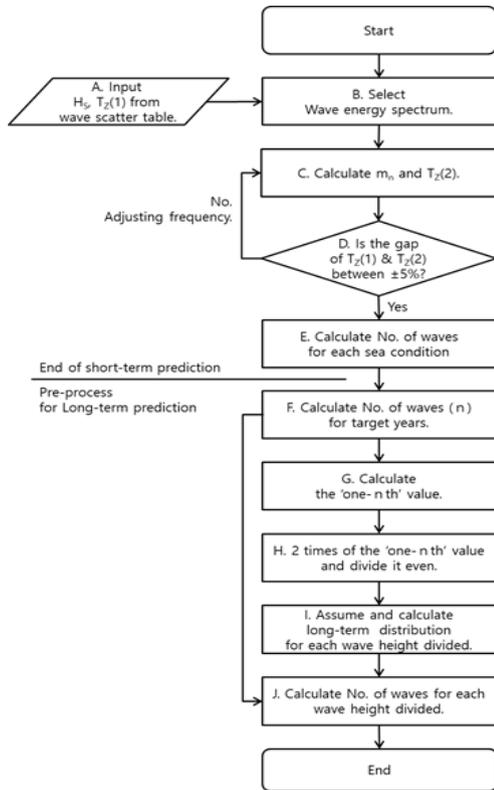


Fig. 3. Flowchart for short-term calculation

두 번째로 해양파 특성에 적합한 스펙트럼을 선택해야 하며, 본 연구에서는 Pierson-Moskowitz 스펙트럼을 선택하였고, Pierson-Moskowitz 스펙트럼에  $H_s$ 와  $T_z(1)$ 를 대입하였다.

다음으로 Pierson-Moskowitz 스펙트럼을 주파수 별로 세분화하여 그 값을 계산하였고, Eq. (1)을 활용하여 0차 모멘트( $m_0$ )와 2차 모멘트( $m_2$ )를 계산하였다. 또한 Eq. (2)를 활용하여  $T_z(2)$ 를 계산하였다.

$$m_n = \int_0^{\infty} w^n S_{\zeta}(w) dw \quad (1)$$

$$T_z = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} = 0.710 T_m \quad (2)$$

Where,  $m_n$  denotes n-order moment,  $w$  denotes frequency,  $S(w)$  denotes spectrum,  $T_m$  denotes modal period,  $T_z$  denotes zero-crossing period

Fig. 2와 같이 파 산포도는 이산형 자료이나 Pierson-Moskowitz 스펙트럼은 연속형 자료이다. 그러나 두 자료의 특성은 유사해야 한다. 두 자료가 유사함을 판단하기 위해 산포도에서 구한 이산형  $T_z(1)$ 과 Pierson-Moskowitz에서 구한 연속형  $T_z(2)$ 를 비교하였고, 그 값의 차이가  $\pm 5\%$ 가 되도록 주파수 범위를 설정하였다.

파 산포도에서 1개의 파는 3시간 지속되는 것으로 가정하였으며, 3시간은 10,800초이다. 이것을  $T_z(2)$ 로 나누게 되면 해당 해상 상태에서 파의 개수를 계산할 수 있으며 이 값을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Number of waves for each sea condition

$T_z(2)$	No. of waves	$T_z(2)$	No. of waves
3.643	2964.682	7.567	1427.279
4.611	2342.086	8.559	1261.831
5.591	1931.642	9.553	1130.560
6.577	1642.058	10.548	1023.914

Fig. 2에서 총 파의 개수는 2,999개 이며 8,997시간 동안 관측된 결과이다. 총 파의 개수와 각 해상 상태의 파의 개수는 해당 년 수에 맞게 조정되어야 한다. 1년은 365일이며 8,760시간이므로 1년간 관측되는 파는 2,920개이며 동일한 비율로 각 해상 상태의 파의 개수를 조정하였다. 1년에 해당하는 파 산포도를 Fig. 4에 나타내었다.

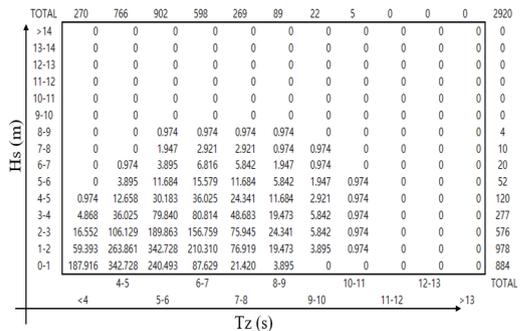


Fig. 4. Sum of wave scatter table for 1 year (sector of 18, 28, 29)

1년 동안 발현 가능한 파 빈도표를 기준으로 Eq. (3)을 통해 최대파고( $2 \times \zeta_A$ )를 결정하였으며, 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

$$\zeta_A^* = \zeta_A \ 1/n = \sqrt{2m_0 \ln(n)} \quad (3)$$

Where,  $\zeta_A$  denotes amplitude,  $\zeta_A \ 1/n$  denotes the average 1/n th value

Table 2와 같이 1년 동안 발현 가능한 최대 유의파고는 8.5 m이며, 주기는 약 5.6초로 나타났다.

Table 2. The highest 1/n value for 1 year

Year	Hs(m)	Tz(sec)	The 1/n value
1	8.5	5.591	16.496

### 2.3 장기예측 결과

장기예측은 파 산포도의 전체 해상 상태를 예측하는 것으로 각 해상 상태에 대한 단기예측 결과의 합이다.

본 연구에서는 장기예측의 파도 용기 피크값은 Eq. (4)와 같은 레일리 분포를 따른다고 가정하였다. 각 파고에 해당하는 레일리 분포값을 계산 해당 파고에 대한 파수를 계산하여 장기예측을 수행하였다.

$$f(\zeta_A) = \frac{\zeta_A}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{\zeta_A^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

Where,  $\sigma$  denotes variation

Table 3에서 보듯이 1년 동안 0.1 m의 파는 343959.349개가 발생하며 33.8 m의 파는 2.073E-11개가 발생함을 의미한다. 누적 열은 각 파고별 발현 파의 총 개수를 높은 순에서 낮은 순으로 누적하여 합한 것이다.

장기해석의 결과에서 1/n 최고파를 구할 수 있으며, 이 값은 누적 칼럼에서 1이 되는 파고의 값이 되고 1년에 1회 발현하는 파의 파고를 의미한다. Table 3에서 1년에 1회 발현하는 파의 파고는 17.9 m와 18.0 m 사이에 존재하며, 선형내적으로 계산한 파고는 17.980 m이다. 이 값은 파고이며 설계 등에 활용하기 위해서는 진폭으로 변경해야 하며 그 값은 파고의 절반이 된다.

Table 3. Long-term prediction for 1 year

Tz(s)	3.643	~	10.548	Sum	Accumulation
Hs(m) H(m)	4.5	~	1.5		
0.1	5.727	~	17.594	343959.349	5843155.328
0.2	11.420	~	34.262	557368.444	5499195.979
0.3	17.046	~	49.158	597062.619	4941827.535
0.4	22.570	~	61.590	515689.054	4344764.917
0.5	27.962	~	71.068	399891.889	3829075.863
~	~	~	~	~	~
17.9	0	~	0	0.108	1.086
18.0	0	~	0	0.097	0.979
~	~	~	~	~	~
33.6	0	~	0	2.994E-11	1.072E-10
33.7	0	~	0	2.492E-11	7.722E-11
33.8	0	~	0	2.073E-11	5.230E-11

### 2.4 대한민국 해역의 파랑 특성

위와 같은 동일한 방법으로 1년, 5년, 10년, 15년, 20년, 25년에 1회 발현하는 파의 파고, 진폭 및 평균 파주기를 계산하여 Table 4에 나타내었다. 그 결과 일반적으로 선박에 주로 사용되는 1년 및 20년에 1회 발현하는 파의 파고는 17.98 m, 20.68 m인 것으로 나타났다. 이를 근거로 향후 국내 운항선박에 대한 내항성능 평가 및 선체 구조평가를 위한 동하중 계산 시 이를 활용하면 될 것으로 판단된다.

Table 4. The wave characteristic around South Korea

Year	Wave Height(m)	Amplitude(m)	Average Period(s)
1	17.980	8.990	5.397
5	19.423	9.736	
10	20.088	10.044	
15	20.441	10.221	
20	20.688	10.344	
25	20.878	10.439	

## 3. 결론

우리나라의 동해, 서해, 남해는 BMT의 국제 파랑 통계 기준으로 18, 28, 29 영역에 해당되며, 본 해역에 대한 단-장기예측을 통한 우리나라 해역의 파랑 특성을 분

석하였다. 그 결과 우리나라 해역만을 운항하는 선박을 설계할 경우, 1년 및 20년에 해당되는 설계파는 각각 17.98 m, 20.68 m로 산정되었다.

다만, Pierson-Moskowitz 방법은 완전히 발달된 해상 상태를 가정하고 있으므로, 일본과 중국에 인접된 지리적 요건 등이 파의 완전한 발달을 막을 수 있어 적합한 스펙트럼 개발연구를 수행하고, 산정된 설계파를 기준으로 선박의 운동해석을 수행하여 기존 설계파 대비 선박의 내항성능을 비교·검토할 예정이다.

## References

- [1] IACS(International Association Of Classification Societies), Requirements concerning Strength Of Ships, IACS, pp.94-106.
- [2] IACS(International Association Of Classification Societies), Rec 34 Standard Wave Data, IACS, pp.1-4.
- [3] D. Y. Kim, "On Individual wave height distribution of ocean wave", Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol.21, No.2, pp.6-11, 2007.
- [4] H. Y. Cho, W. M. Jeong, W. D. Baek, S. I. Kim, "Statistical characteristic analysis of the wave climate data", Proceeding of the Korean Society for Marine Environment & Energy, pp.1837-1840, 2012.
- [5] K. H. Lee, External Force Estimation Acting on Cargo Securing Equipments based on Hydrodynamic Analysis of a Carferry, Master's thesis, Inha university, pp.1-52.
- [6] M. S. Song, D. Y. Kim, M. Kim, K. H. Hong, K. C. Jeon, "Analysis of wave energy density for Korean coastal sea area based on long-term simulated wave data", Journal of The Korean Society for Marine Environment & Energy, Vol.7, No.3, pp.152-157, 2004.
- [7] ABS(American Bureau of Shipping), Guidance Notes on Selecting Design Wave by Long Term Stochastic Method, ABS, pp.2-7.
- [8] DNV(Det Norske Veritas), Environmental Conditions and Environmental Loads (DNV-RP-C205), DNV, pp.24-43.
- [9] J. H. Park, "The Characteristics of Wave Statistical Data and Quality Assurance", Journal of The Korean Society for Power System Engineering, Vol.13, No.2, pp.63-70, 2009.

황 태 성(Tae-Seong Hwang)

[정회원]



- 2006년 2월 : 인하대학교 조선해양공학과 (공학사)
- 2016년 8월 : 부산대학교 조선해양공학과 (공학석사)
- 2006년 12월 ~ 2014년 1월 : 삼성중공업 구조설계팀 (대리)
- 2014년 6월 ~ 2016년 12월 : 노르웨이선급 도면승인팀 (검사원)
- 2017년 2월 ~ 2018년 4월 : 한국선급 선박해양연구소 (연구원)
- 2018년 5월 ~ 현재 : 한국해양교통안전공단 검사기준실 (검사원)

<관심분야>

선박유체역학, 선박구조역학, 선박의장

서 대 원(Dae-Won Seo)

[정회원]



- 2007년 2월 : 인하대학교 조선해양공학과 (공학석사)
- 2011년 2월 : 인하대학교 조선해양공학과 (공학박사)
- 2013년 3월 ~ 2020년 2월 : 한국선급 선박해양연구소 (책임연구원)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 군산대학교 조선해양공학과 교수

<관심분야>

선박유체역학, 저항추진, 선박운동