

# 추사파 중에서 항행하는 선박이 만나는 파도의 특성에 관한 고찰

손경호† · 배준영\* · 이동섭\*\*

† 한국해양대학교 조선해양시스템공학부, \* 동주대학교 조선정보과, \*\*한국해양수산연수원 운항교육팀

## A Study on Characteristics of Encountered Waves by Ship Sailing in Following and Quartering Seas

Kyoung-Ho Sohn† · Jun-Young Bae\* · Dong-Sup Lee\*\*

† Korea Maritime University, \* Dongju College University, \*\* Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology

**요 약** : 추사파 중에서 항행하는 선박은 여러 유형의 전복 사고 위험에 노출되어 있다. 추사파 중에서의 선체 거동을 규명하기 위해서는 먼저 추사파 중에서 항행하는 선박이 만나는 파도 즉, 만남파의 특성 규명이 필요하다. 이 만남파는 선박의 속도와 관련이 있으며, 본 연구에서는 해양파의 에너지 스펙트럼을 이용하여 만남파의 특성을 검토, 고찰하였다. 그 결과, 추사파 중에서 항행하는 선박이 만나는 파도는 실제 해양파보다 비교적 규칙적인 대파고가 된다는 것을 수치 계산 예를 통해서 규명하였다.

**핵심용어** : 추사파, 파에너지 스펙트럼, 만남스펙트럼, 만남주파수

**KEY WORDS** : Following and quartering seas, Wave energy spectrum, Encountered wave spectrum, encountered circular frequency

### 1. 서 언

파랑 중에서의 선박 전복사고와 관련된 최근의 연구 결과에 의하면, 횡파 중에서보다 추사파 중에서 항행하는 선박의 전복 위험이 상대적으로 높다는 것으로 알려지고 있다. 그 결과, 최근 국제해사기구(IMO: International Maritime Organization)에서도 기존의 횡풍·횡파 중에서의 복원성 기준(Resolution A.562, IMO(1985): weather criterion)이 마련되어 있음에도 불구하고, 추사파 중에서의 복원성 기준 제정을 위한 협의가 매년 논의되고 있다. 그러나 추사파 중에서는 선박의 거동이 매우 복잡하기 때문에 지금까지의 연구 결과만으로는 간결한 형태의 복원성 기준을 도출하기에는 무리가 있다는 것을 인식하게 되었다. 그래서 우선 당분간 선박운항자에게 추사파 중에서의 전복 위험을 이해시키고 안전 운항을 유도하기 위해서 운항지침(operating guidance) 형태의 회람 문서를 채택하게 되었다(MSC Circular 707, IMO(1995), MSC Circular 1228, IMO(2007): Guidance to the Master for Avoiding Dangerous Situations in Following and Quartering Seas). 추사파 중에서

항행하는 선박은 파도와 의 만남주파수(encountered circular frequency)가 비교적 낮기 때문에 횡동요, 종동요 및 선수동요가 복합적으로 나타날 뿐 아니라, 이들 운동의 진폭이 극한적으로 커지는 특성을 보인다. 그리고 이러한 상황에서 유발되는 선체 불안정 거동의 몇 가지 유형으로서는 서프라이딩(surf-riding), 브로칭(broaching-to), 복원력 상실(pure loss of stability), 동조 횡동요(synchronous rolling), 저주파수 공진 횡동요(low cycle resonance rolling) 등의 현상을 들 수 있다. 추사파 중에서 이러한 위험 현상들이 쉽게 발생하는 근본 요인으로는 추사파 중에서 항행하는 선박이 만나는 파도 즉, 만남파(encountered wave)가 실제 해상에 존재하는 파도에 비해 크게 변화된다는 것을 지적할 수 있다.

이러한 배경 하에 본 연구에서는 추사파 중에서의 선체 거동을 규명하기 전에 먼저 추사파 중에서 항행하는 선박이 만나는 파도의 특성을 수치 계산을 통해 규명하고자 한다. 아울러 본 연구에서는 해양파를 심수역(deep waters)에서의 장파경 불규칙파(long crested irregular wave)라 가정하여 1차원 스펙트럼

† 교신저자 : 손경호(정회원), [sohnkh@hhu.ac.kr](mailto:sohnkh@hhu.ac.kr) 051)410-4303

을 검토의 대상으로 한다.

## 2. 해석 기법

### 2.1 해양파의 에너지 스펙트럼

본 연구에서는 국제수조협회의(ITTC: International Towing Tank Conference)에서 1978년에 제안된 다음의 표준스펙트럼을 이용한다[1], [2].

$$S_{\zeta}(\omega) = A\omega^{-5} \exp(-B/\omega^4) \quad (1)$$

$$\text{단, } A = 172.75 \overline{H_{1/3}}^2 / \overline{T}^4, \quad B = 691 / \overline{T}^4$$

### 2.2 추사파 중에서 항행하는 선박의 만남파 스펙트럼

만남파 스펙트럼은 식(1)을 이용하여 다음과 같이 구해진다.

$$S_{\zeta}(\omega_e) = \frac{S_{\zeta}(\omega)}{|1 - (2\omega V/g) \cos \chi|} \quad (2)$$

### 2.3 추사파 중에서의 임계선속

불규칙 추사파 중에서 항행하는 선박의  $\omega = \omega_0$  (단,  $\omega_0$  는 피크 원주파수)에서의 선속 즉, 임계선속(critical ship velocity)  $V_c$  는 다음과 같이 구해진다.

$$V_c \cos \chi = \frac{1}{2} \frac{g}{\omega_0} = \frac{1}{2} c^* \quad (3)$$

## 3. 수치 계산 예 및 고찰

해양파의 에너지 스펙트럼  $S_{\zeta}(\omega)$ 는 식(1)에 의해서 추정될 수 있다. 본 연구에서는 해상상태를 Beaufort 등급 5로 상정한다.

Beaufort 등급 5인 해상상태에서 피크 원주파수  $\omega_0$ 의 값은 0.89로 계산된다. 만남각  $\chi = 0^\circ$  일 때 식(3)을 이용하여 임계선속  $V_c$ 를 계산하면  $V_c = 5.5$  m/sec 이다.

2.2절에서 언급한 해석 기법을 이용하여 Beaufort 등급 5인 추사파 중에서 선속 5.5 m/sec (10.7 knot)로 항행하는 선박의 만남파 스펙트럼  $S_{\zeta}(\omega_e)$ 를 계산하고,  $S_{\zeta}(\omega)$  곡선과  $S_{\zeta}(\omega_e)$  곡선 각각의 스펙트럼에 대응하는 불규칙파의 파형은 다음 식으로 구해진다. 단, 해상 불규칙파는 공간좌표계의, 임의의 한 점에서, 그리고 이에 대응하는 만남파는 선체고정좌표계의, 선체중앙 위치에서 관측되는 것으로 간주한다.

$$\zeta_1 = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2S_{\zeta}(\omega_n) \delta\omega} \cos(\omega_n t + \epsilon_n) \quad (10)$$

$$\zeta_2 = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2S_{\zeta}(\omega_{en}) \delta\omega_e} \cos(\omega_{en} t + \epsilon_{en}) \quad (11)$$

여기서  $\zeta_1$ 은 불규칙 해양파의 높낮이의 시계열(time history)을,  $\zeta_2$ 는 만남파의 높낮이의 시계열을 나타낸다.  $\zeta_1, \zeta_2$ 의 수치 계산 예를 각각 Fig. 1과 Fig. 2에 나타낸다.



Fig. 1 Estimated time history of wave elevation at fixed position of seas ; Beaufort scale 5

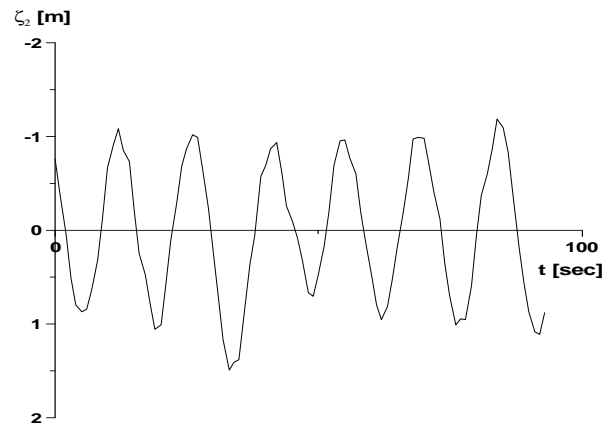


Fig. 2 Estimated time history of encountered wave elevation at midship of sailing ship ; Beaufort scale 5, ship velocity 10.7 knot

## 4. 결론

본 연구를 통하여, 추사파 중에서 항행하는 선박이 만나는 파도 즉, 만남파의 특성을 검토 고찰하였다. 그 결과, 추사파 중에서 항행하는 선박이 만나는 파도는 실제 해양파보다 비교적 규칙적인 대파고가 된다는 것을 수치 계산 예를 통해서 규명하였다.

## 후 기

본 연구는 한국해양대학교의 2012년도 대외 경쟁력 강화를 위한 연구강화 지원사업의 연구 결과입니다.

## 참고 문헌

- [1] 대한조선학회(1979), 1978 ITTC Sea Spectrum, 대한조선학회지, 제16권, 제1호. P. 32
- [2] 일본조선학회(1984), 파랑중 추진성능과 파랑하중, 운동성능 연구위원회, 제1회 심포지움 텍스트, P. 30