

船尾式 트롤船의 動搖特性에 관한 理論的인 研究

강 일 권* · 윤 점 동** · 조 효 제**

A Theoretical Study on the Characteristics of Motion Response of Stern Trawlers

Il-Kweon Kang · Jeom-Dong Yoon** · Hyo-Jae Jo***

Abstract	4.1 선박의 크기에 따른 응답특성
1. 서 론	4.2 평균파주기에 따른 응답특성
2. 운동방정식	5. 결 론
3. 계산모델 및 방법	참고문헌
4. 결과 및 고찰	

Abstract

In the field of research of seakeeping quality, much development has been made in recent years using the method of calculation based on the strip theory.

It is indispensable to grasp quantitatively the seaworthiness of a ship in order to draw correct design at initial stage and to perform proper operations at sea service.

In this paper, the responses of three fishing vessels are calculated using statistical and spectral analyzing method to get the characteristics of the motion responses.

From the theoretical result we know that the significant values of the pitching and rolling motion can be significantly affected by not only the ship's tonnage but also the mean wave period in spite of the similar sea environment.

So we can apply these expected results to the safe maneuvering and fishing operations in rough weather conditions by combining environmental circumstance with the stability condition of vessels.

* 경상대학교 해양산업연구소

** 한국해양대학교 교수

1. 서 론

파랑 중에서 항행하는 선박의 운동성능을 추정하기 위한 내항성에 관한 연구는 일찍이 규칙파 중에서 이론 및 실험적 연구로부터 시작되었다. 그리고, 외관상 복잡하고 변화무쌍하게 보였던 불규칙 파랑을 선형중첩의 원리를 적용하여 통계학적으로 해석하는데 성공함에 따라, 불규칙파중의 내항성에 대한 연구도 본격화 되었다.

규칙파중의 선박의 운동을 계산하기 위해서는 선박을 이차원 단면형상을 가진 strip의 연결체로 가정하여 해석하는 strip법이 개발되어, 여러 연구자들에게 의해 계산정도 및 계산법이 향상되어 현재 선박의 내항성능을 추정하는 유효한 수단으로 평가되고 있다^{1)~4)}. 이와 같은 strip이론은 주로 대형선박을 대상으로 이용되어 왔으나, 그 이론해석법을 어선에 적용하여 유용성을 검토하게 된 것은 70년대 들어서의 일이다. Yamakoshi⁵⁾ 등은 어선의 내항성 연구의 일환으로써 strip법의 어선에의 적용과 그 이론의 타당성을 검토하기 위하여 이론해석과 모형시험을 실시하였으며, 그 결과 양자는 비교적 잘 일치하는 것으로 보고하였다.

어선은 대형상선과 달리 해양의 기상조건에 크게 지배를 받는다. 어선의 해난사고의 대부분은 바람과 파도가 중요한 원인으로 되고 있지만, 조선자가

기 위해 과학적이고 체계적으로 연구할 필요가 있다고 생각된다.

본 논문에서는 어선의 파랑중 내항성능을 보다 체계적으로 규명하기 위하여, 크기가 다른 유사형상의 어선이 같은 해상 조건에서 조업을 할 때, 응답특성을 이론계산하고 비교 분석하였다. 그리하여 조업하고자하는 해역의 평균과주기의 변화가 어선의 응답특성에 미치는 영향을 정량적으로 파악하고자 한다. 규칙파중의 운동 응답의 이론적 계산을 위해서는 OSM(Ordinary Strip Method)법을 사용하고, 크기가 다른 3척의 선미식 트롤선을 대상 선박으로 하여 내항성능을 조사하였다.

2. 운동방정식

규칙파중의 선체운동의 이론적인 계산은 OSM을 사용하였으며, 6자유도 선체운동방정식은 다음식과 같이 되고 각 계수는 strip이론으로부터 주어지며, 본 논문에서 사용된 계수는 참고문헌 [5]를 따른다⁶⁾.

1) 상하동요와 종동요의 연성운동방정식

$$\begin{aligned} A_{11} \zeta + A_{12} \xi + A_{13} \zeta + A_{14} \dot{\theta} + A_{15} \ddot{\theta} + A_{16} \theta &= F_{\zeta} \\ A_{21} \zeta + A_{22} \xi + A_{23} \zeta + A_{24} \dot{\theta} + A_{25} \ddot{\theta} + A_{26} \theta &= M_{\theta} \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots & \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \end{aligned} \quad (1)$$

2) 좌우동요, 선수동요, 횡동요의 연성운동방정식

$$\begin{aligned} a_{11} \ddot{\eta} + a_{12} \dot{\eta} + a_{13} \eta + a_{14} \ddot{\psi} + a_{15} \dot{\psi} + a_{16} \psi + a_{17} \ddot{\phi} + a_{18} \dot{\phi} + a_{19} \phi &= F_{\eta} \\ a_{21} \ddot{\eta} + a_{22} \dot{\eta} + a_{23} \eta + a_{24} \ddot{\psi} + a_{25} \dot{\psi} + a_{26} \psi + a_{27} \ddot{\phi} + a_{28} \dot{\phi} + a_{29} \phi &= M_{\psi} \\ a_{31} \ddot{\eta} + a_{32} \dot{\eta} + a_{33} \eta + a_{34} \ddot{\psi} + a_{35} \dot{\psi} + a_{36} \psi + a_{37} \ddot{\phi} + a_{38} \dot{\phi} + a_{39} \phi &= M_{\phi} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \quad (2)$$

3) 전후동요의 운동방정식

$$A_{31} \xi + A_{32} \xi + A_{33} \xi = F_{\xi} \quad \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \quad (3)$$

3. 계산모델 및 방법

본 연구에 사용된 계산모델은 실제 실습선으로 이용되고 있는 크기가 다른 3척의 선미트롤선, 즉 Pusan-404(GT160), Kaya(GT1737), Saebada (GT2275) (이하 차례로 A, B, C선이라 한다)를 대상으로 하였

다. 운동응답의 계산은 어선의 안전성과 관계가 깊은 종동요(pitch)와 횡동요(roll)를 대상으로 하여 수행하였으며, 이들 각각의 선박과 파와의 만남각을 향파(180도)로부터 45도 간격으로 추파(0도)까지 5방향을 취하여 만남각에 따른 운동응답을 계산하였다.

각 선박의 속력은 실습선의 통상 항해속력으로 하였고, 불규칙 파랑중의 응답추정을 위한 불규칙 파랑 spectrum은 실선실험⁷⁾에서 측정된 유의파고와 평균파주기를 적용한 ISSC spectrum을 사용하였다.

이론계산을 위한 운동방정식의 radiation유체력은 선박의 2차원 각 단면에 작용하는 힘을 특이점분포법(singularity distribution method)을 이용하여 구하고, 이를 선체 길이에 따라 적분함으로써 얻었으며, 파랑강제력은 Froude-Krylov힘과 diffraction힘을 고려하고, diffraction힘은 등가적인 radiation유체력으로 치환하여 구하도록 하였다.

이들 선박의 주요체원과 body plan은 참고문헌 [7]에 나타낸 것과 같다.

4. 결과 및 고찰

4.1 선박의 크기에 따른 응답특성

여기서는 선박 크기에 따른 동요응답의 변화를 정량적으로 파악하기 위하여 대상선박 중 크기가 가장 작은 A선과 가장 큰 C선을 선택하였다.

양 선박 모두 유의파고와 평균파주기를 각각 2.2m, 5.0sec로 하여 종동요와 횡동요응답을 이론계산으로 구하여 비교하도록 하였다. 각 선박의 속도는 통상의 항해속도인 11.2k't와 11.5k't로 하였다.

파의 만남각이 선수미선에 대칭적인 방향일 때 동요의 주기, 진폭 및 감쇠상황 등은 대개 비슷한 경향을 나타내므로⁸⁾ 여기서는 한쪽의 방향, 즉 선수에서부터 45도 간격으로 선미까지 5방향에 대해서만 고찰하였다.

1) 종동요의 응답특성

Fig. 1은 A선과 C선의 종동요응답스펙트럼을 이론적으로 계산하여 파와의 만남각에 따라 나타낸 것이다.

이 그림에서 나타난 바와 같이 향파에서 응답의 유의치는 A선이 약 4배 정도 큰 값을 나타냈고, peak 주기는 각각 6.2sec, 6.9sec에 나타났다. 선수사파에서 응답의 유의치는 A선이 약 4.3배 큰 값을 나타냈고, peak의 주기는 각각 6.5sec, 7.3sec에 나타났다. 횡파에서 응답의 값은 양 선박 모두 매우 낮게 나타났다. 추사파에서 응답의 유의치는 A선이 약 2.2배 크게 나타났고, peak의 주기는 각각 12.2sec, 13.2 sec에 나타났다. 추파에서 응답의 유의치는 A선이 약 2.2배 크게 나타났고, peak의 주기는 각각 14.1 sec, 15.6 sec에 나타났다.

이상에서 살펴 본 바와 같이 종동요응답의 경우 유의파고 2.2m, 평균파주기 5.0sec를 주었을 때 A선은 C선보다 향파와 선수사파에서는 약 4배, 추사파와 추파에서는 약 2배의 크기를 나타낸다. 따라서 A선과 같은 작은 선박이 악천후에서 항해 또는 조업할 경우 선수쪽으로 파를 받는 경우가 선미쪽으로 파를 받는 경우보다 큰 선박에 비하여 상대적으로 종동요응답이 매우 크게 추정됨을 알 수 있다.

2) 횡동요의 응답특성

Fig. 2는 A선과 C선의 횡동요응답스펙트럼을 이론적으로 계산하여 파와의 만남각에 따라 나타낸 것이다. 유의파고와 평균파주기는 종동요의 경우와 같다. 이론계산에서 향파와 추파에서는 횡동요응답이 zero가 되므로 여기서는 생략하였다.

선수사파에서 응답의 유의치는 A선이 3.3배 크게 나타났고, peak의 주기는 각각 7.8 sec, 8.9sec에 나타났다. 횡파에서 응답의 유의치는 A선이 4.2배 크게 나타났고, peak의 주기는 각각 6.3sec, 7.9sec에 나타났다. 추사파에서 응답의 유의치는 A선이 4.2배 크게 나타났으며, peak의 주기는 각각 12.8sec, 15.6sec에 나타났다.

횡동요응답의 경우 유의파고 2.2m, 평균파주기 5.0sec를 주었을 때 A선은 C선보다 선수사파에서 약 3배, 횡파와 추사파에서는 약 4배의 크기를 나타낸다. 따라서 횡동요응답은 횡파나 추사파를 받는 경우가 선수 쪽에서 파를 받는 경우보다 응답에 차이가 큼을 알 수 있다.

Fig. 3과 Fig. 4는 각각 Fig. 1과 Fig. 2의 파와의

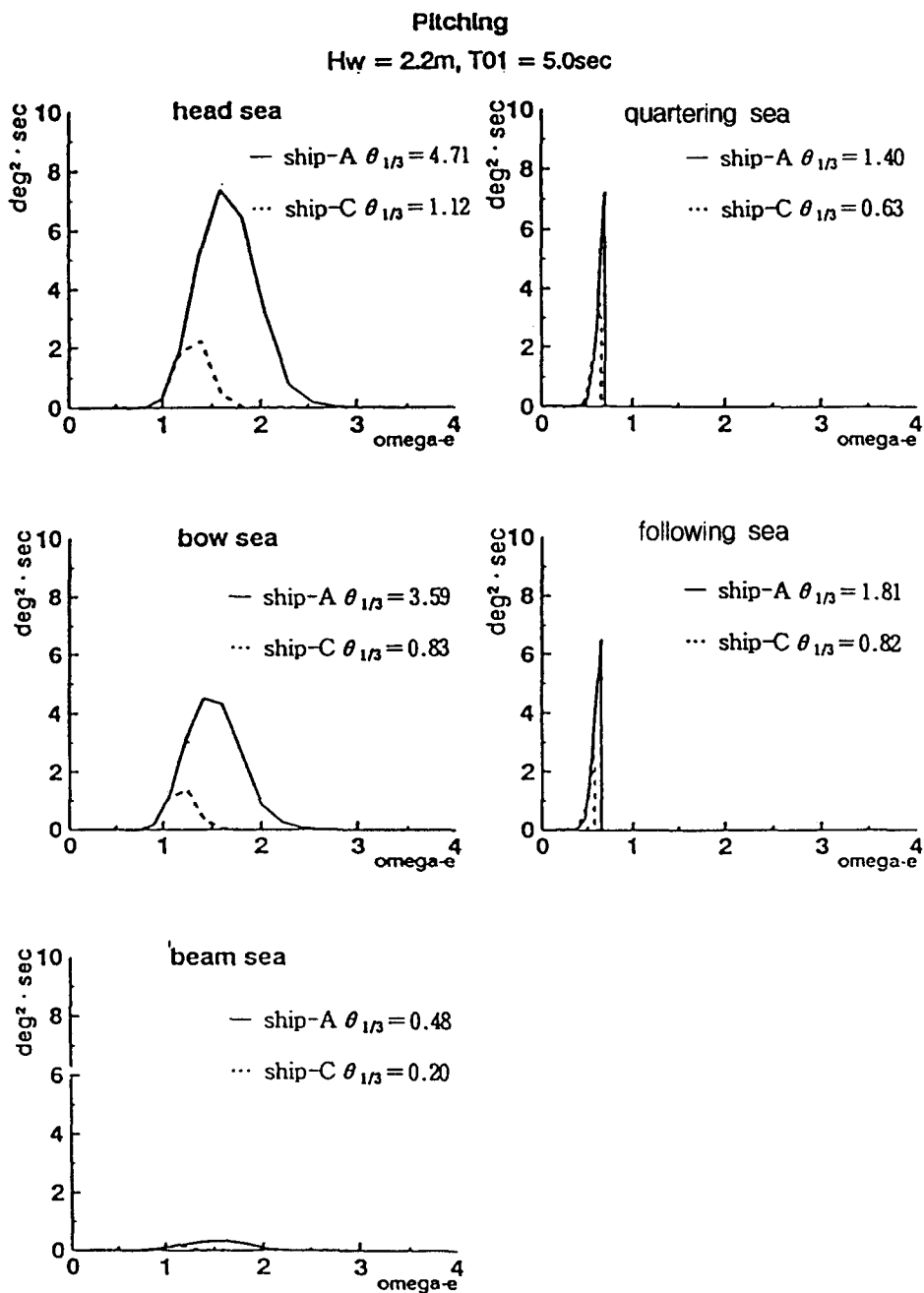


Fig. 1 The comparison of response spectra of pitching by calculation between ship-A and ship-C

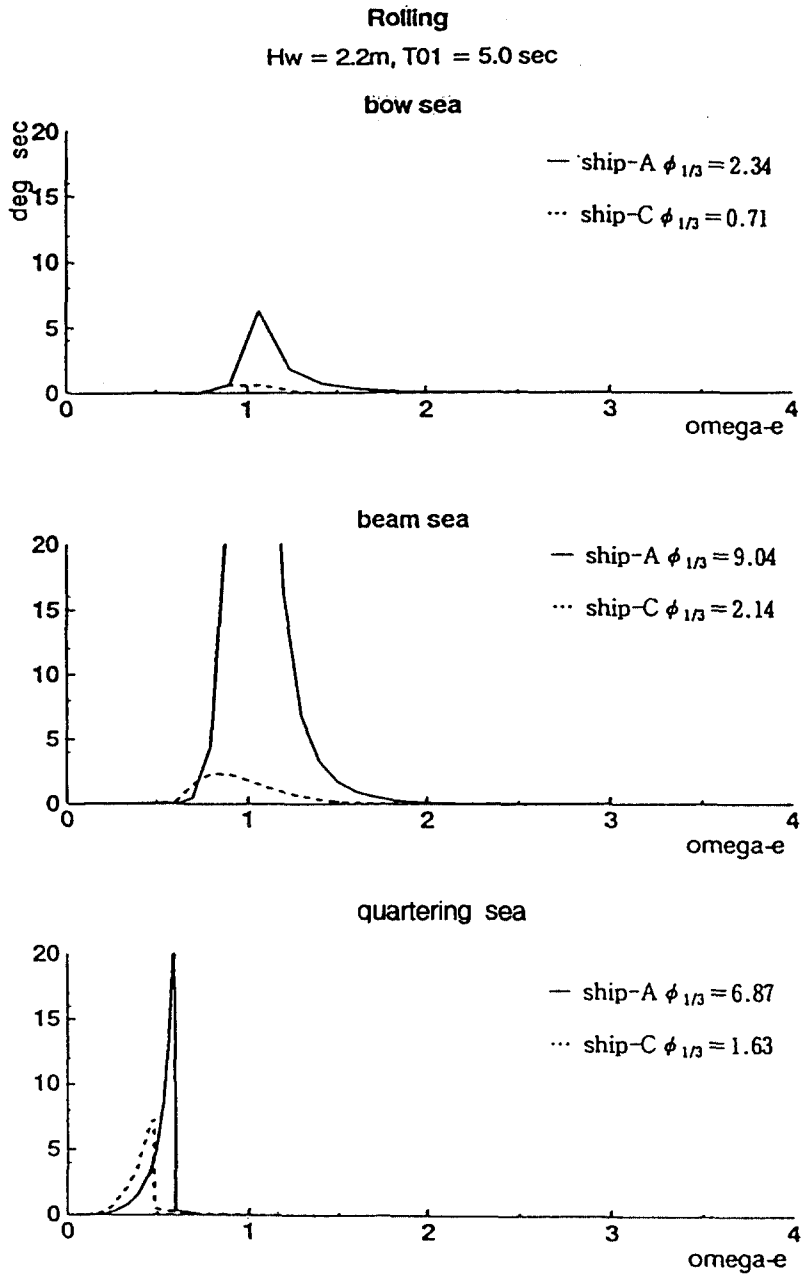


Fig. 2 The comparison of response spectra of rolling by calculation between ship-A and ship-C

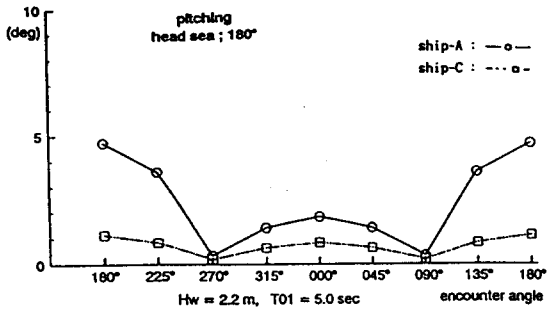


Fig. 3 The comparison of significant values of pitching by calculation between ship-A and ship-C

만남각에 따른 종동요응답의 유의치와 횡동요응답의 유의치를 그려 놓은 것이다. 이들 그림에서 보는 바와 같이 파와의 만남각이 종동요응답에서는 선수 쪽, 횡동요응답에서는 정횡에 가까워질수록 선박의 크기에 따른 응답의 유의치가 크게 벌어지는 정도를 쉽게 알 수 있다.

이상과 같이 선박 크기에 따른 종동요와 횡동요의 응답특성을 고찰한 결과 조업해역의 유의파고 및 평균파 주기에 따라 어선의 크기에 따른 응답의 유의치가 크게 달라질 수 있으므로 조업에 임하기 전에 조선자는 자신의 안전이나 내항성능의 관점에서 응답특성을 사전에 추정하여야 할 필요가 있을 것으로 생각된다.

4.2 평균파주기에 따른 응답 특성

1) 종동요의 응답특성

어선이 조업하고자 하는 해역의 평균파 주기가 바깥에 따라 종동요응답이 변화하는 경향을 조사하기 위하여, Fig. 5는 평균파주기를 2.5에서 8.5sec의 범위로 하여 각각의 주기에 대한 종동요응답의 유의치를 각 선박에 대하여 만남각별로 나타내었다.

Fig. 5의 (A)는 A선의 종동요응답의 유의치 변화를 나타낸 것으로서 향파, 선수사파에서는 전체적

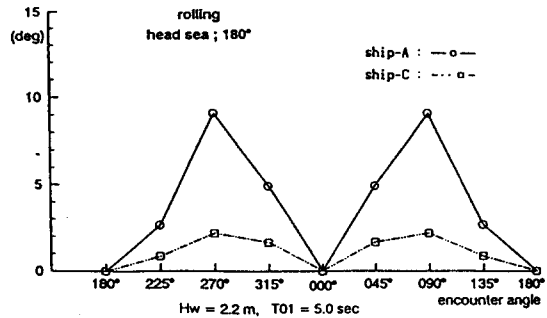


Fig. 4 The comparison of significant values of rolling by calculation between ship-A and ship-C

으로 유의치가 높게 나타나고, peak주기는 대체로 4.5sec와 6.5sec 사이에 있다. 추파의 경우에는 유의치가 단주기역에서 매우 낮게 나타나지만, 장주기역에서는 높아지는 경향이 있다. 추사파의 경우에는 5.0sec 근방에서 분명한 peak가 나타나고 있으며, 횡파의 경우에는 전주기에 걸쳐서 peak치 없이 매우 낮게 나타났다.

Fig. 5의 (B)는 B선의 종동요응답의 유의치 변화를 나타낸 것으로서 향파에서는 전체적으로 유의치가 높게 나타나고 있으나, 4.5sec보다 짧은 단주기역에서는 선수사파보다 낮고, 4.2sec 이하에서는 추사파와 추파보다 낮다. 선수사파의 경우에도 향파와 비슷하며 전체적으로는 높게 나타나고 있으나, 4.0sec 이하의 단주기역에서는 추사파와 추파보다 낮다. 추사파와 추파는 응답의 모양이 비슷하게 나타나고 있으며, 횡파의 경우에는 매우 낮게 나타났다.

Fig. 5의 (C)는 C선의 종동요응답의 유의치 변화를 나타낸 것으로서 향파와 선수사파에서는 전체적으로 응답의 유의치가 높으나 4.5sec 이하의 단주기역에서는 추사파보다 낮게 나타났다. 추사파의 경우에는 단주기역에서 상대적으로 높고, 장주기역에서 낮다. 추파의 경우에는 단주기역에서 낮고, 장주기역에서 높다. 횡파에서는 A선과 B선의 경우와

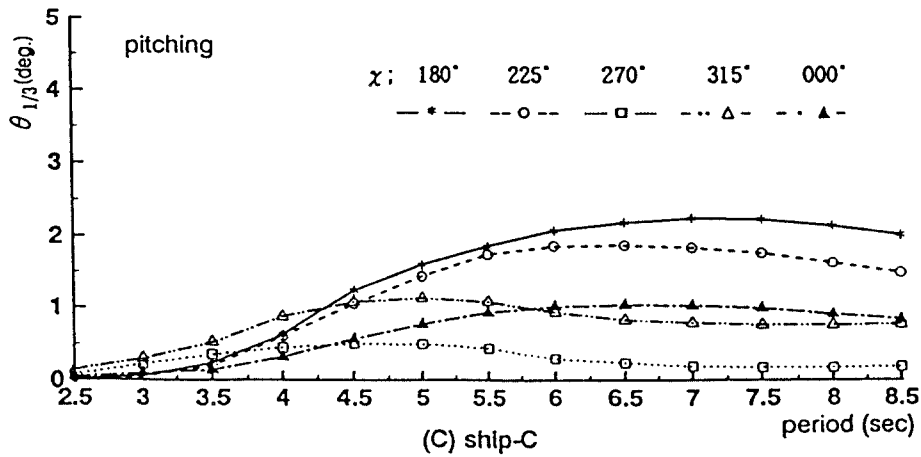
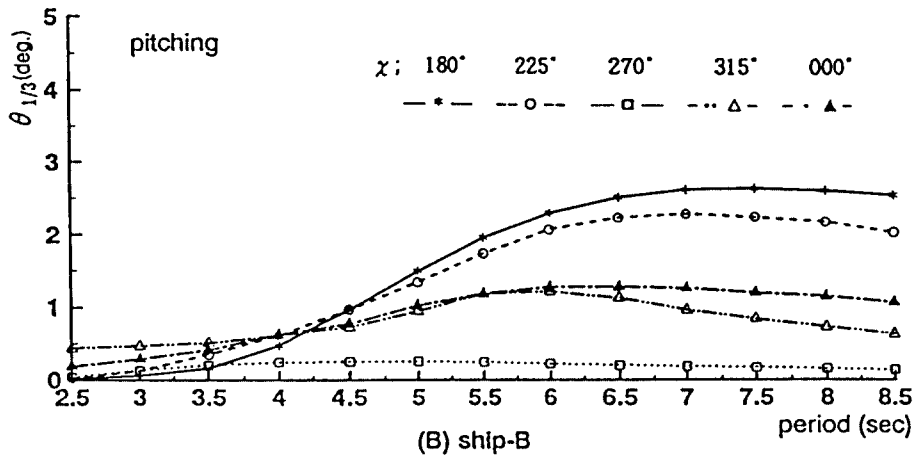
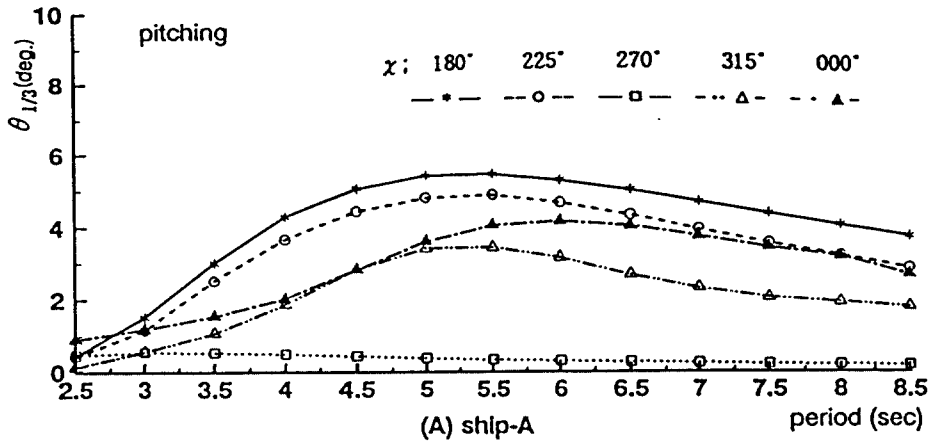


Fig. 5 The comparison of significant values of pitching response by calculation according to the wave period for each vessel

마찬가지로 전체적으로 매우 낮으나 단주기역에서는 약간 높게 나타나는 경향을 보인다.

이상에서 살펴 본 바와 같이 종동요응답에서 모든 파의 만남각에 있어서 A선이 B선과 C선보다 큰 유의치를 나타낸다. 그러나 횡파와 선수사파의 경우에는 단주기역에서는 A선이 B선과 C선보다 큰 유의치를 가지게 되나 장주기역으로 감에 따라 B선이 A선에 비하여 상대적으로 큰 유의치를 가지게 될 것으로 예상된다. 그리고 C선은 B선과 거의 유사한 유의치를 가지나 전반적으로 작은 값을 나타내는 것으로 볼 수 있다. 따라서 종동요의 응답은 파도의 평균파주기에 상당히 영향을 받는 것으로 생각된다.

2) 횡동요의 응답특성

Fig. 6은 종동요와 마찬가지로 평균파주기를 2.5에서 8.5sec의 범위로 하여 각각의 주기에 대한 횡동요응답의 유의치를 각 선박에 대하여 만남각별로 나타내었다.

Fig. 6의 (A)는 A선의 횡동요응답의 유의치 변화를 나타낸 것으로써 횡파에서는 전체적으로 유의치가 높고, 그 다음으로 추사파에서 높다. peak주기는 모두 5.0sec 주위에 있다. 선수사파의 경우에는 단주기역에서는 매우 낮고 장주기역에서는 상대적으로 높은 편이며, peak 주기는 뚜렷하지 않다.

Fig. 6의 (B)는 B선의 횡동요응답의 유의치 변화를 나타낸 것으로써 횡파에서 전체적으로 유의치가 높으나, 4.5sec 이하에서는 추사파보다 낮은 경향을 보인다. peak 주기는 장주기역에 있으나 뚜렷하지 않다. 추사파의 경우에는 단주기역에서는 높으나 장주기역에서는 낮고, 7sec이상의 장주기역에서는 선수사파보다 낮은 경향을 보인다. 또한 peak주기도 완만하여 뚜렷하게 나타나지 않는다. 선수사파의 경우에는 단주기역에서는 매우 낮고 장주기역으로 갈수록 높은 경향을 보인다. 또한 peak 주기는 뚜렷하지 않다.

Fig. 6의 (C)는 C선의 횡동요응답의 유의치 변화를 나타낸 것으로써 횡파에서 전체적으로 유의치가

높으나 5.2sec 이하에서는 추사파보다 낮은 경향을 보인다. 그러나 전체적인 경향은 B선과 거의 비슷하다.

위와 같이 횡동요응답에 있어서 A선과 같은 작은 선박에서는 횡파, 추사파, 선수사파의 순서로 유의치가 크고, peak 주기는 단주기역에 있다. 그러나 B선과 C선과 같은 상대적으로 큰 선박에서는 주기와 파와의 만남각에 따라서 응답의 크기도 달라지며, peak 주기는 장주기역에 있으나 분명하지 않은 것을 알 수 있다. 특히 횡동요응답의 경우에 횡파와 선수사파에 있어서는 장주기역으로 감에 따라 선형이 큰 B선과 C선이 A선에 비하여 월등하게 큰 유의치를 가지게 될 것으로 추정된다.

이상에서 살펴 본 바와 같이 평균파주기 변화에 따른 종동요응답과 횡동요응답의 특성을 고찰해 본 결과 각 응답의 유의치는 평균파주기에 큰 영향을 받는 것으로 사료된다. 따라서 기상이 악화되는 경우에 조업을 행할 때는 안전을 위해 자선의 감항성에 영향을 주는 파고와 파주기를 미리 파악해 둘 필요가 있다.

5. 결 론

선미식 트롤선의 응답운동의 특성을 얻기 위하여 3척의 선박을 대상으로 이론적인 방법을 이용하여 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 조업해역의 해상환경이 비슷해도 어선의 크기에 따라 종동요 및 횡동요응답의 유의치가 크게 달라질 수 있으므로 조업에 임하기 전에 조선자는 자선의 동요의 응답특성을 미리 추정하여야 할 필요가 있을 것으로 생각된다.
- 2) 종동요 및 횡동요응답의 유의치는 평균파주기에 큰 영향을 받는다. 따라서 조업해역의 평균파주기가 어떠한 값을 가지는가에 따라 응답의 유의치가 크게 달라지므로 기상이 악화되는 경우에 조업을 행할 때는 안전을 위해 자선의 감항성에 영향을 주는 파고와 파주기를 미리 파악해 둘 필요가 있다.

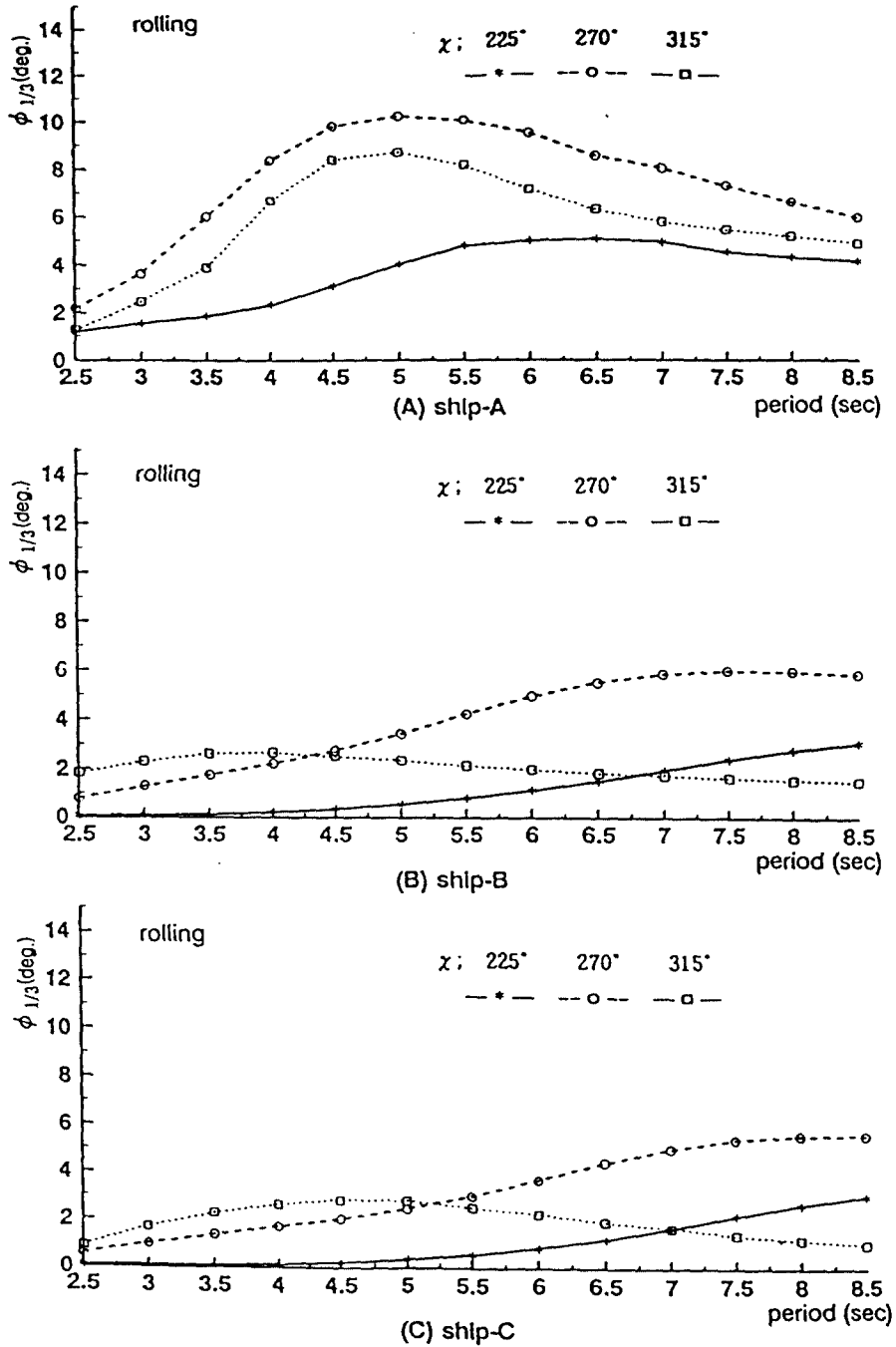


Fig. 6 The comparison of significant values of rolling response by calculation according to the wave period for each vessel

참고문헌

- [1] 田才福造, 高木又男: “規則波中の應答理論および計算法 ‘耐航性に関するシンポジウム(第1回)”, 日本造船學會, 1969.
- [2] 高石敬史, 黒井昌明: “波浪中船體運動の實用計算法 ‘耐航性に関するシンポジウム(第2回)”, 日本造船學會, 109-133, 1977.
- [3] 田才福造, 高木又男, 雁野昌明, 荒川廣行, 栗原眞人: “2軸高速コンテナ-船の縦波中の耐航性能に関する研究”, 西部造船會會報, 41號, 1971.
- [4] 日本造船研究協會 SR108 研究部會; “高速貨物船の波浪中において諸性能に関する研究報告書” 研究資料 No. 110, 125, 143, 157, 昭和45, 46, 47年 3月.
- [5] 山越 康行 外: 漁船の波浪中の耐航性 について (第一報). (漁船の規則波中船體縱運動解析おけるストリップ法の有効性について), 漁船研究技報, 63, pp.1-46, 1975.
- [6] 福田淳一ほか: 波浪中の船體運動と船體表面に働らく變動水壓及び横強度に関する理論計算, 船論 129, 1971.
- [7] 姜日權·尹点東·趙孝濟: 漁船의 크기변화에 따른 實船 應答特性에 관한 考察, 韓國航海學會誌, 第20號, pp.31-42, 1996.
- [8] 西ノ首英之: 實船實驗による小型漁船の耐航性について(豫報), 實習船“鶴水”の海洋波中の動搖特性, 長崎大學水産學部研究報告, 33, 85-92, 1972.