

# 레이더 리프렉터 장착을 위한 어업용 바지선의 동적 응답해석에 관한 연구

박성현\* · 정중식\*

\*목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수

## A Study on the Dynamic Response Analysis of the Fishery Barge Type Offshore Structure for Fitting Radar Reflector

Sung-Hyeon Park\* · Jung-Sik Jeong\*

\*Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

**요 약** : 레이더 리프렉터를 소형어선, 어망 부이, 어업용 바지선 등에 장착할 경우 최적설치 위치를 결정하기 위한 최적화 시스템의 개발이 필요하다. 최적화 시스템을 개발하기 위한 기본 단계로써 소형어선, 어망 부이, 어업용 바지선 등이 파랑에 의하여 어떠한 응답 특성을 나타내는지 정확하게 파악해야 한다. 본 논문에서는 먼저 해양 부유체식 어업용 바지선 구조물을 대상으로 파랑에 의한 거동을 해석하고자 한다. 어업용 바지선 구조물의 파랑 중 응답특성을 파악하기 위하여 각종 영향인자, 즉 파의 길이, 수심, 입사하는 파의 방향 등이 바지선의 응답에 미치는 영향에 대하여 검토한다. 이러한 응답 특성을 토대로 어업용 레이더 리프렉터를 바지선이나 소형 선박에 설치하였을 경우 파랑에 의한 영향이 레이더 반사 면적에 어떠한 영향을 미치는지를 파악하는 기초자료로 사용하고자 한다.

**핵심용어** : 레이더 리프렉터, 소형선박, 레이더 반사면적, 동적응답특성, 파랑

**Abstract** : To install a radar reflector on small ships, such as a small fishing vessel, a fishery buoy, and a barge ship for fishery, it is very important to develop the optimal system which may determine a proper installation location. For this, the response characteristics how waves have an effect on the small ships should be accurately analyzed. In this paper, we analyze the dynamic behaviors of small ships, which may be caused by irregular waves. To do this, we investigate how a barge ship responds to wavelength, water depth, and directions of incoming waves. The analyzed results shall be utilized to evaluate an effect on a radar cross section when we install an radar reflector on a barge ship for fishery and a small ship.

**Key words** : Radar reflector, Small ship, Radar cross section, Characteristics of a dynamic response, Waves

### 1. 서 론

우리나라의 서·남해 해역일대에는 어장, 어망 부이, 소형어선, 소형 바지선 등 수많은 어업용 시설물들이 설치되어 있다. 이러한 어업용 시설물들은 크기가 작고, 구성물질이 레이다 전자파를 반사키는 강도가 약하므로 중·대형 선박에서 레이다 탐지가 곤란한 경우가 많다. 그로 인하여 충돌에 의한 해난 사고가 가장 큰 비율로 발생하고 있다. 국내 어선현황조사에 따르면 전국 연안어업어선, 정치성구획어업어선, 정치망어업의 관리선 등에서 FRP선이 차지하는 비중이 약 63.7%, 목선이 33.1%, 강선이 약 3.2%로 나타났다(해양수산부, 2002).

특히, FRP선과 목선은 그 크기가 작고, 구성물질이 레이다 파를 반사시키는 강도가 약하므로 중대형선박에서 소형선박을 탐지하지 못하여 사고가 발생하는 경우가 많다(Briggs, 2002). 1998년부터 2002년까지의 해양수산부 통계자료에 의하

면 선박용도별 전체 해양사고 4,311척중에서 어선사고가 3,113척으로 72.4%를 차지하고 있으며, 선박충돌과 관련한 사고 775건중 소형어선과 관련된 충돌사고가 448건으로 약 58%를 차지하고 있다(해양수산부, 2002)(해양안전심판원, 2003). 또한, 우리나라 어선들 중 10톤 이하의 어선이 총 선종의 70% 이상을 차지하고 있는 점을 감안하면 소형어선과의 충돌사고 예방 및 감소대책 수립이 절실한 실정이다.

소형선박이나 어장에 설치할 수 있는 레이더 리프렉터는 레이다 반사파의 강도를 증대시킴으로써 해양사고를 방지하고 어업자원을 보호할 수 있는 중요한 역할을 수행한다. 이러한 레이더 리프렉터를 소형어선, 어망 부이, 어업용 바지선 등에 장착할 경우 최적 설치위치를 결정하기 위해서는 최적화 시스템의 개발이 필요하다(정, 2002b; 정, 2003; Briggs, 2002).

본 연구는 소형어선, 어망 부이, 어업용 바지선 등에 있어서 레이더 리프렉터의 최적 장착위치를 결정하는 시스템을 구축

\* 대표저자 : 박성현(중신회원), shpark@mmu.ac.kr 061)240-7127

\* 중신회원 jsjeong@mmu.ac.kr 061)240-7238

하기 위한 기본데이터를 제공하는데 목적이 있다. 이를 위하여 소형선박들이 파랑에 의하여 어떠한 동적응답 특성을 나타내는지 정확하게 해석하여 레이더 리프랙터의 반사성능에 미치는 영향을 분석하고 평가하고자 한다. 본 논문에서는 먼저 어장을 감시하거나, 어장에 필요한 장비들을 보관하고, 해상에서 어민들의 쉼 공간으로 활용되고 있는 해양 부유체 바지선 구조물의 거동을 해석하고자 한다. 이러한 부유체식 바지선들은 대부분이 목재로 만들어져 있기 때문에 선박의 레이더에 탐색이 잘 되지 않고 있어서 해양사고의 위험성을 가지고 있다.

이러한 부유체식 해양구조물의 응답특성을 파악하기 위해서는 유탄성 해석이론의 도입이 필요하다. 해양 부유체 바지선 구조물의 파랑에 대한 동적 응답해석에 있어서 구조부는 유한요소법(Finite Element Method; FEM)을 이용하여 해석하고, 주위의 유체 부분에 대해서는 경계요소법(Boundary Element Method; BEM)을 이용하여 해석한다.(박, 2001 ; 永田修一, 1997 ; Park, 2001)

그 결과로 나타난 동적응답 특성을 토대로 어업용 레이더 리프랙터를 바지선이나 소형 선박에 설치하였을 경우 파랑에 의한 영향이 레이더 반사 정도에 어떠한 영향을 미치는지를 파악하는 기초자료로 사용하고자 한다.

## 2. 해석이론

해상에 설치되어 있는 부유체식 어업용 바지선에 규칙파가 입사하는 경우의 파랑에 의한 응답특성은 유체부와 구조부를 각각 나누어서 해석한 후, 두 개의 이론식을 연성한 방정식으로 구할 수 있다. 구조부분의 해석은 유한요소법(FEM)을 이용하고, 유체부의 해석에는 경계요소법(BEM)(Garridson, 1978)을 사용한다.

### 2.1 BEM 해석 이론

본 연구의 해석 모델에 있어서 유체력의 성분은, 입사파에 의한 포텐셜, 반사파에 의한 포텐셜(Diffraction 문제), 방사파에 의한 포텐셜(Radiation 문제) 등 3개의 포텐셜 성분의 합으로 유체력을 나타낸다.

유체장의 전 포텐셜은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi(x, y, z, t) = \text{Re}[\Phi(x, y, z) e^{-j\omega t}] \quad (1)$$

여기서,  $\omega$  = 조화운동의 원진동수,

$\Phi = \Phi_i + \Phi_d + \Phi_r$  로서 속도 포텐셜

$\Phi_i$  = 입사파에 의한 포텐셜,

$\Phi_d$  = 반사파에 의한 포텐셜

$\Phi_r$  = 방사파에 의한 포텐셜.

부유체가 운동도 하지 않고 변형도 없을 경우, 반사파에 의한 속도 포텐셜  $\Phi_d$  (Diffraction 문제해석)와 부유체를 탄성체로 간주하고, 부유체의 운동 및 변형에 의해서 발생하는 방

사파의 속도 포텐셜  $\Phi_r$  (Radiation 문제 해석)은 Garridson이 제한한 이론식을 이용하여 해석한다.

### 2.2 적분 방정식의 유도

위의 유체력 해석을 위하여  $\phi_d$ 와  $\phi_r$  를 Green 함수를 이용하여 BEM해석법으로 정식화하면 다음과 같다.

$$\int_{\Omega} (G\Delta^2\phi_d - \phi_d\Delta^2G) d\Omega = \int_{\Gamma} (G\frac{\partial\phi_d}{\partial n} - \phi_d\frac{\partial G}{\partial n}) d\Gamma \quad (2)$$

위 식 (2)에서 경계조건을 만족하는 경계적분 방정식은 다음과 같이 유도된다.

$$2\pi\phi(y) = \sum_{j=1}^M \int_{\Gamma_j} \left\{ G(x, y) \frac{\partial\phi}{\partial n}(x) - \phi(x) \frac{\partial G}{\partial n}(x, y) \right\} d\Gamma_j(x) \quad (3)$$

여기에서  $G(x, y)$ 는 Green 함수,  $M$ 은 전체 경계요소 수이다. 요소내 절점과 전체 절점의 대응관계를 고려하여 정리하면, 다음과 같은 매트릭스 방정식이 얻어진다.

$$[H]\phi = [G] \frac{\partial\phi}{\partial n}, [H] = 2\pi [I] + [G] \quad (4)$$

각각의 포텐셜을 대입하면 유체부에 대한 최종 운동방정식은 다음과 같이 얻어진다.

$$[H]\phi_d = [G] \frac{\partial\phi_d}{\partial n}, [H]\phi_r = [G] \frac{\partial\phi_r}{\partial n} \quad (5)$$

### 2.3 FEM 해석이론

부유체식 바지선의 구조부는 다음과 같은 유한요소해석법으로 해석한다. 요소 절점 변위 벡터  $\{v\}_e$ 를 이용하여, 부유체 구조물의 휨 변위를 나타내면 다음과 같다.

$$V = N_w\{v\}_e \quad N_w = \text{형상함수} \quad (6)$$

유한요소해석법을 이용한 구조부의 운동 방정식은 다음과 같이 얻어진다(Petyt, 1990),

$$[K]v + [M]\ddot{v} = \{f\} \quad (7)$$

여기서,  $[K]$ 는 부유체 구조물의 강성 매트릭스,  $[M]$ 은 부유체 구조물의 질량 매트릭스,  $v$ 는 변위벡터,  $\{f\}$ 는 외력 벡터를 나타낸다.

외력 벡터  $\{f\}$ 는 유체로부터의 변동압력  $\Delta P$ 에 의한 것이므로, 다음 식으로 나타내어진다.

$$\{f\} = \int (N_w)^T (\Delta P) d\Gamma \quad (8)$$

### 2.4 연성 운동방정식

유체부의 방정식과 구조부의 방정식을 연성시켜서 최종적

인 연성 운동방정식을 유도한다. 유체의 영향은 유체 압력으로 취급하므로 유체로부터 받는 변동압력  $\Delta P$ 는 Bernoulli 정리로부터 구할 수 있다.

$$\Delta P = -i\rho_f \omega (\Phi_i + \Phi_d + \Phi_r) - \rho_f g w \quad (9)$$

여기서,  $\rho_f$ 는 유체의 밀도를 나타낸다.

위 식으로부터 외력항은 다음과 같이 얻어진다.

$$f = i\rho_f \omega \int_s (N_w)^T (\Phi_i + \Phi_d + \Phi_r) ds - \rho_f g \int_s (N_w)^T w ds \quad (10)$$

위의 (10)식의 제1항은 외력, 부가질량, 부가감쇠에 관계되고, 제2항은 부가강성을 나타낸다.

위의 식들로부터 유체부와 구조부 간의 연성운동 방정식은 다음과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} (K+K_w) - \omega^2 M & -i\rho_f \omega C_P \\ i\omega GA & H \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} v \\ \phi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i\rho_f \omega C_P (\Phi_i + \Phi_d) \\ 0 \end{pmatrix} \quad (11)$$

### 3. 레이더 리프렉터의 경사 특성 실험

선박 경사에 따른 레이더 리프렉터의 응답특성을 분석하기 위하여 Fig. 1과 같이 반사능에 대한 전파암실 실험을 수행하였다.

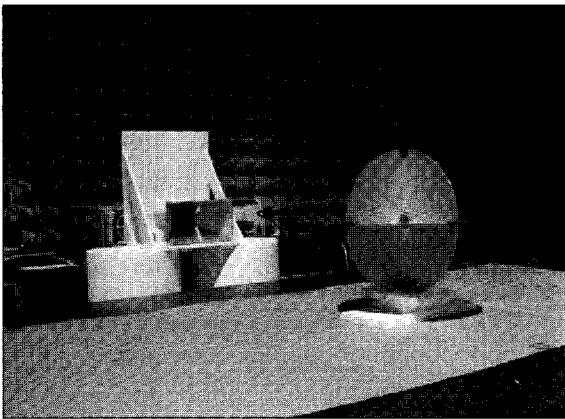


Fig. 1 Equipment of experiment

레이더 반사기의 성능평가 파라미터로서 RCS(Radar Cross Section)를 측정하기 위해서는 실내의 좁은 공간에서 원거리 전자파(Far Field)의 조건을 만족하는 균일한 평면파(Uniform plane wave)를 발생시키는 실험설비를 가진 단축거리 전계측정 무반향실(Compact Range)을 갖추고 있어야 한다. 본 연구에서는 이러한 시설이 갖추고 있는 전파암실을 이용하였다.

그러나 실제적으로 RCS측정을 위한 설비와 RCS 예측을 위한 소프트웨어를 준비하는 것이 불가능한 상황이므로 마이크로파 전송이론에 따라, 산란행렬의 송신단 투과계수에 해당하는 파라미터  $S_{21}$ 을 측정하여 평가하였다. 사용된 장비는 Agilent사의 8722ES (50MHz~40GHz) 벡터 네트워크 분석기(Vector Network Analyzer)를 이용하여  $S_{21}$ 값을 측정하였다. Fig. 2는 전파암실내에서 수동형 반사기의 레이더 반사능 측정을 위한 장비 구성도를 보여준다. 네트워크 측정된 데이터는 GPIB 인터페이스 버스를 통하여 PC에 저장된다.

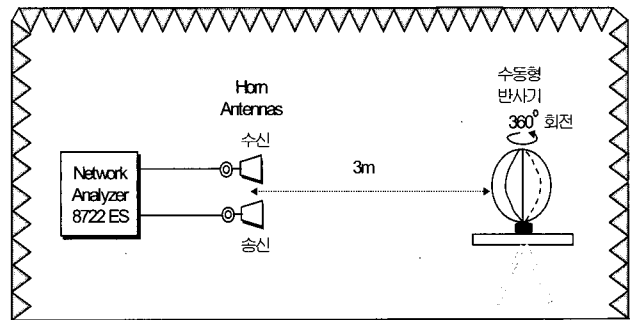


Fig. 2 Radar reflection measurement of passive radar reflector

송신 및 수신안테나는 X밴드용(8.2GHz~12.5GHz)의 혼 안테나를 보여준다. 송신안테나는 하단에 위치하고 있으며 수신안테나는 상단에 위치하고 있다. 송수신 혼 안테나는 동축케이블을 통하여 벡터 네트워크 분석기에 연결되어 있다. 송수신 안테나간의 상호결합의 영향을 배제하기 위하여 송수신 안테나 사이에 격리벽을 두고 있으며 피측정 물체(레이더 반사기)의 중심과 송수신 안테나의 중심이 일치하도록 설치하였다.

송신점과 레이더 반사기 사이의 거리는 원방계 조건이 만족되도록 사용되는 레이더 전파의 파장(X밴드 약 3.2cm)에 비하여 충분히 큰 3미터의 거리를 두었다. 벡터 네트워크 분석기의 송신출력은 -10dBm으로 고정하였다. 송신주파수는 X밴드에 대하여 9.41GHz에서  $S_{21}$ 값을 측정하였다.

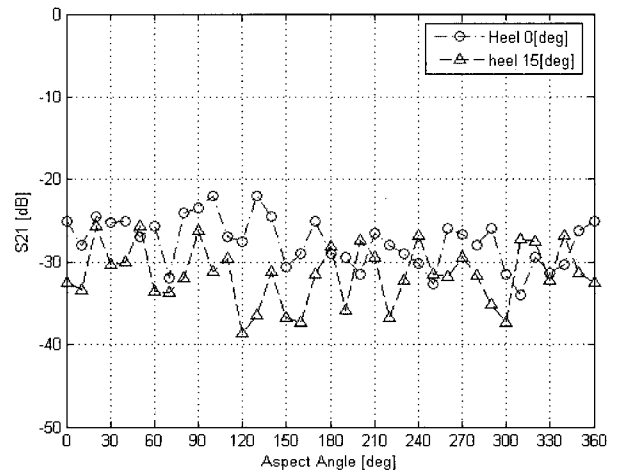


Fig. 3 An effect of heeling in  $S_{21}$

Fig. 3은 경사각 측정실험 결과를 보여준다. 경사각이 15도 일 경우에는  $S_{21}$ 값의 변화가 심한 것으로 나타났다. 경사각이 있을 경우에는 경사각 0도에 비하여 전체적으로 반사성능이 저하된 것을 볼 수 있다.

그러므로 레이더 리프렉터를 선박에 장착할 때에는 파랑에 의한 경사각이 가장 적은 위치를 선정하여 장착할 필요가 있다.

#### 4. 어업용 바지선의 파랑 특성 해석결과

Table 1에 나타낸 길이 5m, 폭3m의 해상 부유체식 바지선을 대상으로 파랑중의 동적 응답특성을 파악하고, 각종 영향 인자, 즉 파장, 수심, 입사하는 파의 방향 등이 응답에 미치는 영향에 대하여 검토하였다. 해석모델은 사각형 유한요소로 분할하여 계산을 하였다. 부유체식 바지선의 파랑 응답해석을 위하여 사각형의 유한요소로 분할하여 유한요소법과 경계요소법을 적용하였다. 각 절점에 수산특정 연구개발 사업을 통하여 개발한 레이더 리프렉터를 Fig. 4와 같이 설치하여 해석을 하였다(김, 2003). 해석을 위하여 장착한 레이더 리프렉터는 Fig. 5와 같이 알루미늄 박막에 스티로폼으로 외곽을 둘러싼 형태를 가진 리프렉터이다.

Table 1 Dimensions of the barge structure model for analysis

Dimension	Model
Length (L)	5.0 (m)
Breadth (B)	3.0 (m)
Flexural Rigidity (EI)	2.0500E+05 ( $N/m^2$ )
Density of Sea Water( $\rho_f$ )	1.025E+03 ( $kg/m^3$ )
Gravity Acceleration (g)	9.81 ( $m/s^2$ )
Poisson's Ratio ( $\nu$ )	0.300
Thickness of Plate (t)	1.00 (m)
Density of Plate ( $\rho_b$ )	7.8600 ( $kg/m^3$ )

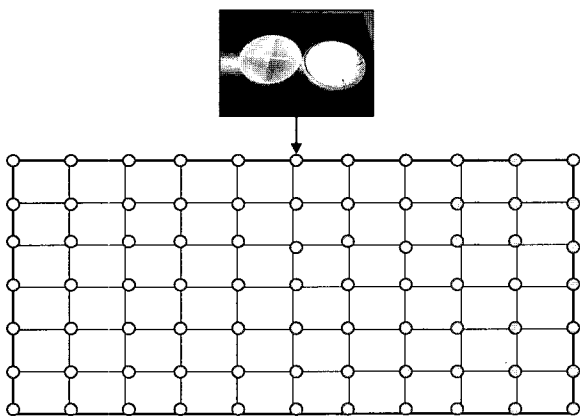


Fig. 4 FEM model of barge type offshore structure and radar reflectors for analysis.

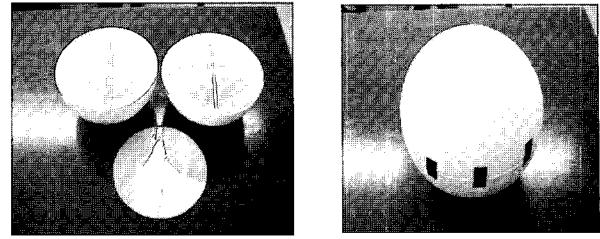
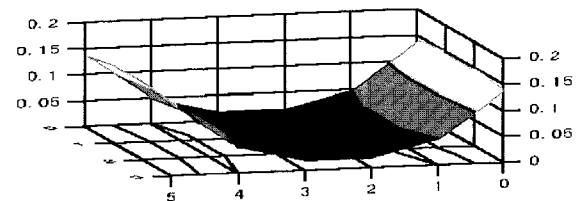


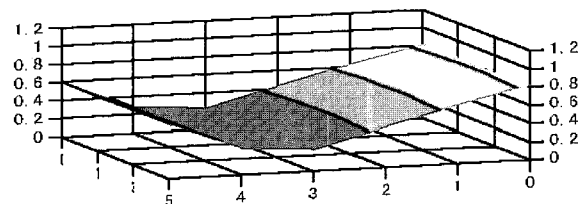
Fig. 5 Radar reflectors

#### 4.1 파장에 따른 응답특성 해석

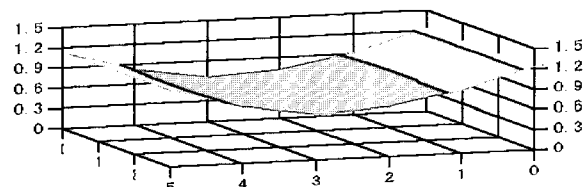
어업용 바지선에 입사하는 파의 길이가 응답 특성에 미치는 영향을 파악하기 위해 부유체 길이( $L$ )와 파장의 비( $\lambda$ )를  $L/\lambda = 2.5, 1.0, 2.0$ 으로 바꾸어가며 계산을 하였다. 해석 결과를 보면  $L/\lambda = 1.0$ 을 경계로 응답의 상태가 변화한다. 해석 결과를 보면  $L/\lambda = 1.0$ 을 경계로 응답의 상태가 변화함으로 1.0 이하의 파장을 받는 해역에 있는 바지선에 설치된 레이더 리프렉터의 성능이 크게 나타날 것으로 사료된다. 또한, 부유체식 바지선이 설치된 해역의 파장을 파악하여 응답의 진폭이 가장 작은 부분에 레이더 리프렉터를 설치하는 것이 효과가 클 것으로 사료된다. 해석 결과는 Fig.6에 나타낸다.



(a) :  $L/\lambda = 2.5$



(b) :  $L/\lambda = 1.0$



(c) :  $L/\lambda = 2.0$

Fig. 6 Change of response by wave length

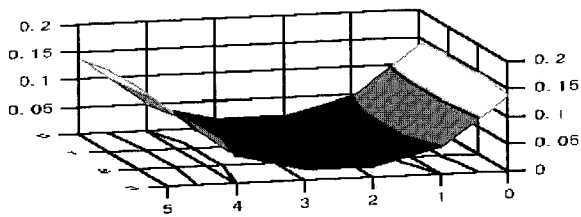
4.2 수심에 따른 응답특성 해석

수심( $h$ )과 파장( $\lambda$ )의 비를 변화시켜서 수심의 변화에 따른 응답 특성을 계산 하였다. 해석 결과 수심의 변화에 따른 응답의 차이는 거의 없는 결과가 얻어졌다. 레이더 리프랙터의 장착 위치는 설치 해역의 수심에는 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있었다.

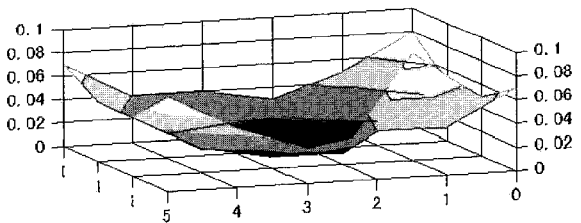
4.3 입사하는 파의 방향에 따른 응답특성 해석

부유체의 길이와 파장의 비  $L/\lambda = 2.5$ 의 파를 0, 30, 60, 90도의 각도로부터 입사시켜, 파의 방향에 따른 응답의 특성을 비교 검토하였다.

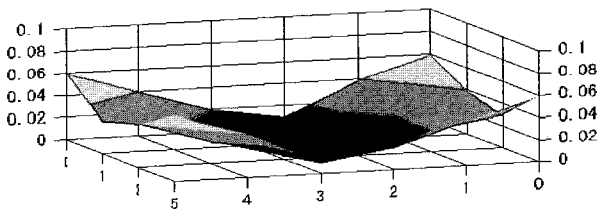
입사하는 파의 방향 변화에 따른 응답의 특성을 Fig. 4에 나타낸다. 입사하는 파의 방향이 30도, 60도인 경우 부유체에 비틀림 변형이 많이 발생하고, 90도인 경우에는 휨 변형이 많이 발생함을 알 수 있다.



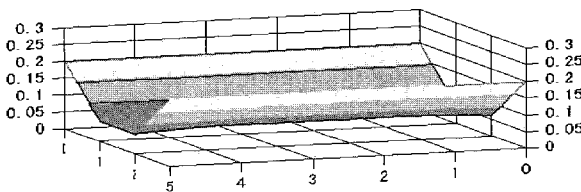
(a) : Wave Direction 0°



(b) : Wave Direction 30°



(c) : Wave Direction 60°



(d) : Wave Direction 90

Fig. 7 Change of response by wave directions

응답진폭이 최대로 되는 장소가 파의 방향에 따라 변함으로 설치해역의 파랑 방향과 응답 특성을 비교하여 변형이 가장 작은 부분에 레이더 리프랙터를 설치하는 것이 가장 효과가 클 것으로 사료된다.

즉 파랑이 주로 정면에서 오는 경우에는 선수미로부터 1/4 지점, 30도, 60도 방향에서 오는 경우에는 선수로부터 2/3지점, 횡방향에서 오는 경우에는 중앙부 근처에 레이더 리프랙터를 설치하는 것이 효과가 클 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 레이더 리프랙터를 소형어선, 어망 부이, 어업용 바지선 등에 장착할 경우 어느 위치에 설치하는 것이 가장 최적이며, 설치된 레이더 리프랙터의 반사정도가 파랑에 따라 어떠한 영향을 받는가를 파악하기 위한 최적화 시스템 개발에 필요한 어업용 바지선의 거동특성을 해석하였다. 어업용 해양 부유체 바지선 구조물에 레이더 리프랙터를 설치하여, 구조물이 규칙 파를 받을 경우의 동적 응답의 해석, 응답 특성의 파악, 응답에 영향을 주는 각종 인자들에 대하여 검토 하고, 어느 위치에 레이더 리프랙터를 장착하는 것이 파랑의 영향을 적게 받을 것인가를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 구조부분 해석을 위한 유한요소법(FEM) 프로그램과 유체 부분 해석을 위한 경계요소법(BEM) 프로그램을 통합한 시스템으로 바지선의 파랑에 대한 동적 응답 특성의 해석이 가능하였다.
- (2) 부유체의 길이/파장의 비 ( $L/\lambda$ )를 변화시켜서 계산한 결과,  $L/\lambda$ 가 작은 경우에는 파와 같은 응답이 나타나며, 두 파측에서도 응답진폭이 크게 나타는 결과를 얻었다.  $L/\lambda = 1.0$ 을 경계로 응답의 상태가 변화함으로 1.0 이하의 파랑을 받는 해역에 있는 바지선에 설치된 레이더 리프랙터의 성능이 크게 나타날 것으로 사료된다. 또한, 부유체식 바지선이 설치된 해역의 파장을 파악하여 응답의 진폭이 가장 작은 부분에 레이더 리프랙터를 설치하는 것이 효과가 클 것으로 사료된다.
- (3) 수심과 파장의 비 ( $h/\lambda$ )를 변화시켜서 응답특성을 비교 검토해본 결과 수심의 변화에 따른 응답의 변화는 적다는 것을 알 수 있었다. 그러므로 레이더 리프랙터의 장착 위치는 설치 해역의 수심에는 크게 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다.
- (4) 입사하는 파의 방향 변화에 따른 응답의 특성을 해석해본 결과 파의 방향이 30도, 60도인 경우 부유체에 비틀림 변형이 많이 발생하고, 90도인 경우에는 휨 변형이 많이 발생함을 알 수 있다. 응답진폭이 최대로 되는 장소가 파의 방향에 따라 변함으로 설치해역의 파랑 방향과 응답 특성을 비교하여 변형이 가장 작은 부분에 레이더 리프랙터를 설치하는 것이 가장 효과가 클 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김우숙, 안영섭, 임정빈, 김인현, 박성현(2003), "어업용 레이더 리프렉터 개발," 해양수산부 수산특정연구개발사업 최종보고서, pp90~100.
- [2] 박성현, 박석주(2001), "Mega-Float의 동적 특성해석," 한국항해학회 2001년 춘계학술대회 논문집, pp66~70.
- [3] 정중식, 김우숙, 안영섭, 박성현(2002b), "형상을 통한 수동형 레이더 리프렉터의 RCS 증대방법 연구," 한국항해학회 2002년도 춘계학술대회 논문집 pp.161-176.
- [4] 정중식, 김우숙, 안영섭, 임정빈, 박성현(2003a), "Development of passive-type radar reflector for fisheries," 해양환경안전학회 2003년도 추계학술대회 논문집 pp.135-139.
- [5] 해양수산부(2002), 해양수산통계연보.
- [6] 해양안전심판원(2003), 제18차 해양사고방지세미나 자료집.
- [7] 永田修一, 吉田尙史, 一色浩, 大川豊(1997), 超大型彈性平板浮体の波浪中舉動解析, 日本造船學會論文集, 第182号, pp285~294.
- [8] Briggs J. N.(2002), "Specifications for Reflectors and Radar Target Enhancers to Aid Detection of Small Marine Radar Targets," The Journal of Nav., vol 55, pp.22-38.
- [9] Garrison, C. J. (1978), "Hydrodynamic Loading of Large Offshore Structures : Three-Dimensional Source Distribution Methods," Numerical Methods in Offshore Engineering, Chapter 3, pp87~111.
- [10] Park, S. H., & Park, S. C.(2001), "Wave Response Analysis and Future Direction of Mega-Float," KIN-CIN Joint Symposium 2001, pp153~168.
- [11] Petyt, Maurice(1990), "Introduction to Finite Element Vibration Analysis", Cambridge University Press, pp141~293.

---

원고접수일 : 2004년 8월 20일

원고채택일 : 2005년 6월 20일