

대형 부유체식 바다낚시터의 파랑 응답해석에 관한 연구

박성현* · 박석주** · 이동섭*** · 임정빈*

*Division *목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수

**한국해양대학교 해양시스템공학부 교수

*** 한국해양수산연수원 교수

Study on the Wave Response Analysis of the Fishing Spot of Mega-Floating Offshore Structure Type

S. H. Park* · S. C. Park** · D. S. Lee** · J. B. Yim**

〈 目 次 〉

- | | |
|----------------------|--------------------------|
| 1. 서론 | 3.1 파장의 변화에 따른 응답해석 |
| 2. 해석이론 | 3.2 구조물의 강성과 응답과의 관계 |
| 2.1 경계요소법에 의한 유체부해석 | 3.3 수심과 거동과의 관계 |
| 2.2 유한요소법에 의한 구조부해석 | 3.4 파의 입사 방향 변화에 따른 응답해석 |
| 2.3 유체부-구조부 연성 운동방정식 | 4. 결론 |
| 3. 해석결과와 고찰 | |

1. 서론

해양관광산업은 많은 고용과 소득을 창출하는 미래형산업이며, 이러한 관광 산업은 주5일 근무제의 도입과 소득의 증가로 인하여 더욱 발전할 것으로 예상된다.

특히 눈으로 보기만 하던 전통적인 관광 추세에서 직접 체험해보는 다양한 테마를 추구하는 방향으로 전환되고 있으므로 해양 체험을 즐길 수 있는 해양 관광 테마의 개발이 필요하다. 국민들의 관광 형태도 내륙지향에서 해양지향으로 변화되고 있으며 해양레저나 관광 참가자수도 매년 증가 추세에 있다.

그러나 육상 레저나 관광산업은 활성화 단계이나 해양레저나 관광산업은 무한한 발전 가능성을 가지고 있음에도 불구하고 개발 부족, 시설부족, 안전성 미확보로 아직도 시작단계에 불과하다. 어민들의 소

득수준은 도시민의 절반에도 미치지 못하고 있으며 어촌의 노령화와 공동화가 위험한 수준까지 도달해 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 다양한 테마를 가진 해양관광 산업의 개발과 육성이 시급한 과제이다.

해양관광산업의 유형에는 해수욕장형, 바다낚시형, 해양스포츠형, 해양생태 체험형 등이 있다. 특히 해양관광 유형 중에서 바다 낚시는 해수욕 다음으로 가장 활발한 해양관광 분야이며 1997년 해양수산부 자료에 의하면 전국에 2,825척 낚시선이 있고, 이를 통해 118억원 수입을 올렸으며, 477천명이 이용, 2001년에는 척수가 3,672로 증가하였다. 호주의 경우 바다낚시로 인한 경제적 효과는 1996년 빅토리아주 경제에 12억 65백만 호주달러의 경제적 기여와

27,000명의 고용창출에 기여하였다고 한다¹⁾). 바다 낚시가 급속하게 증가하여 어업 외 소득을 올리는 주요 산업으로 자리잡고 있으나 시설 부족과 위험성으로 인하여 활성화가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 바다낚시의 형태에는 갯바위낚시, 유어선 낚시, 방파제 잔교 낚시 등으로 구분되며 대부분이 관광객의 안전에 상당히 취약한 실정이다.

본 연구의 목표는 사계절동안 안전하게 바다낚시를 즐길 수 있는 하우스형 부유체식 바다낚시터의 개발과, 하우스형 부유체식을 바다에 설치하였을 경우 파도에 의한 응답을 해석하는 시스템을 개발하는데 있다.

국토가 좁고, 대도시에 인구가 집중되어 있는 나라에서는, 해양공간의 개발이 필요하다. 해양공간의 효과적인 이용의 한가지 방법으로서, 해양 부유체 구조물의 이용을 들 수 있다. 최근, 해양 부유체 구조물은 부유체식 해상 공항, 해상 도시 등에 이용되어 질 가능성이 큰 해양구조물로써 많은 연구가 진행되고 있다^{2)~6)}.

부유체식 해양구조물의 장점으로는 시공상의 편리성, 생태계에 미치는 영향 및 지진의 영향을 적게 받는 점 등 여러 가지를 들 수 있다.

단면적에 비해 홀수가 얇은 해양 부유체 구조물의 설계에는, 탄성적인 응답특성이 나타나는 것에 주의할 필요가 있다. 또한, 구조물의 변형과 유체력의 상호 간섭작용, 자연 환경으로부터의 여러 가지 영향, 파랑 외력의 영향, 부유체 구조물의 강성의 영향 등에 대한 정확한 검토할 필요가 있다^{7)~9)}.

본 연구는 바다낚시터용 해양 부유체 구조물을 대상 구조물로 하여, 구조물이 규칙 파를 받을 경우의 동적 응답의 해석, 응답특성의 파악, 응답에 영향을 주는 각종 인자에 대하여 검토한다.

부유체식 바다낚시터 구조물의 파랑에 대한 동적 응답해석에 있어서, 구조 부분은 폭과 길이에 비하여 깊이가 작기 때문에, 횡변형이 일어나는 평판 요소로 정식화한 유한요소법(Finite Element Method; FEM)을 이용하여 해석하고, 주위의 유체 부분에 대해서는 비압축성의 완전유체로 간주하여 경계요소법(Boundary Element Method; BEM)을 이용하여 해석한다. 구조부와 유체부 사이의 운동학적, 동력학적 조건을 연성시켜서 연성운동방정식을 세우고 이 연성운동방정식을 수치 해석하여 동적 응답을 구한다.

해상에 설치하는 부유체식 바다낚시터의 파랑 중

응답특성을 파악하기 위하여 각종 영향인자, 즉 파의 길이, 바지선 구조물의 강성, 수심, 입사하는 파의 방향 등이 바지선의 응답에 미치는 영향에 대하여 검토한다.

2. 해석이론

본 연구에서는, Fig. 1에 나타낸 것과 같이 일정수심이 무한하게 퍼져있는 해상에 설치되어 있는 탄성 부유체에 규칙파가 입사하는 경우의 응답특성에 대하여 해석한다. 유체부와 구조부를 각각 정식화한 후, 두 개를 연성시켜 연성방정식을 유도한다. 해석에 있어서는 다음과 같은 가정들을 도입한다.

(1) 유체는 비점성, 비압축성의 완전유체이고, 유체입자의 운동은 비회전이며, 속도 포텐셜이 정의되어진다.

(2) 부유체의 홀수는 얇아서 무시한다.

(3) 해저는 평평하고, 해수영역은 무한하게 퍼져있다.

(4) 유체의 운동은 선형 진동이론에 지배되고, 변형은 횡만을 고려한다.

(5) 해석 대상이 저주파이므로, 유체의 감쇠영향과 비교하여 부유체 자체의 감쇠영향은 매우 작으므로, 이것을 무시한다.

이상의 가정으로부터 해석 모델을 정수압에 의해 탄성 지지된 평판에, 유체에 의한 변동압력이 작용하고 있는 문제로 치환하여 해석한다.

부유체식 바다낚시터 주위의 유체부를 경계요소법을 이용하여 정식화한다¹⁰⁾. 유체영역 내부에는, 완전유체, 비회전 흐름을 가정하고, 유체의 운동을 속도 포텐셜을 이용하여 표현한다.

본 연구의 해석 모델에 있어서 유체력의 성분은, 입사파에 의한 포텐셜, 반사파에 의한 포텐셜(Diffraction 문제), 운동하는 물체에 의해서 발생하는 방사파에 의한 포텐셜(Radiation 문제) 등 3개의 포텐셜에 의한 것으로 간주한다. 여기에서, 입사파에 의한 포텐셜은 입력이 되고, 기지함수으로써 임의로 주어진다. 나머지 두 개의 포텐셜에 대해서는 경계치 문제를 풀어서 구하고, 위 세 개의 포텐셜 성분의 합으로 유체력을 나타낸다.

유체장의 전 포텐셜은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서, ω =조화운동의 원진동수,

$\phi = \phi_i + \phi_d + \phi_r$ 로서 속도 포텐셜

ϕ_i = 입사파에 의한 포텐셜,

ϕ_d = 반사파에 의한 포텐셜

ϕ_r = 방사파에 의한 포텐셜.

부유체가 운동도 하지 않고 변형도 없을 경우, 반사파에 의한 속도 포텐셜 ϕ_d 를 구한다. 위의 문제에 서는, 부유체가 강체로써 운동과 변형이 없다고 가정하므로 순수한 유체영역만의 경계치 문제가 된다. 경계치 문제는 다음과 같이 주어진다.

$$\nabla^2 \phi_d = 0 \quad \text{in} \quad \Omega \quad (2)$$

$$\frac{\partial \phi_d}{\partial z} = 0 \quad \text{on} \quad \Gamma_B (z = -h) \quad (3)$$

$$\frac{\partial \phi_d}{\partial n} + \frac{\partial \phi_i}{\partial n} = 0 \quad \text{on} \quad \Gamma_H \quad (4)$$

$$\frac{\partial \phi_d}{\partial n} - \nu \phi_d = 0 \quad \text{on} \quad \Gamma_F (z = 0) \quad (5)$$

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left(\frac{\partial \phi_d}{\partial n} - i\nu \phi_d \right) = 0 \quad \text{on} \quad \Gamma_\infty \quad (6)$$

여기서 n =유체영역에 대한 외향법선,

$\nu = \frac{\omega^2}{g} k \tanh(kh)$, g =중력가속도, k =파수 h =수심

위의 위의 (2)식의 라플라스 방정식은 유체영역내의 지배방정식이고, (3)식은 일정수심에서의 경계조건, (4)식은 부유체 하면에서의 물체 표면 경계조건, (5)식은 선형화된 자유표면 조건, (6)식은 무한 원방에서의 거동을 나타내는 방사조건이다.

$$\nabla^2 \phi_r = 0 \quad \text{in} \quad \Omega \quad (7)$$

$$\frac{\partial \phi_r}{\partial z} = 0 \quad \text{on} \quad \Gamma_B (z = -h) \quad (8)$$

$$\frac{\partial \phi_r}{\partial n} = V_n \text{ (물체의 } n \text{방향 속도)} \quad \text{on} \quad \Gamma_H \quad (9)$$

$$\frac{\partial \phi_r}{\partial n} - \nu \phi_r = 0 \quad \text{on} \quad \Gamma_F (z = 0) \quad (10)$$

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left(\frac{\partial \phi_r}{\partial n} - i\nu \phi_r \right) = 0 \quad \text{on} \quad \Gamma_\infty \quad (11)$$

위의 경계치 문제를 풀어서 반사파에 의한 포텐셜 ϕ_d 를 구한다.

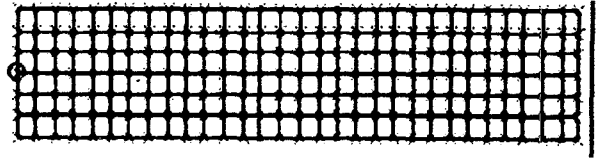


Fig. 1 : FEM model of floating type fishing Spot for analysis

부유체를 탄성체로 간주하고, 부유체의 운동 및 변형에 의해서 발생되는 방사파의 속도 포텐셜 ϕ_r 을 구한다. 이 문제의 경우, 경계치 문제는 다음과 같다.

(10)식의 부유체 저면의 경계조건을 제외하고는 Diffraction 문제와 동일하다.

이 경계치 문제를 경계요소법을 이용하여 적분 방정식으로 치환한 후 방사파에 의한 속도 포텐셜 ϕ_r 을 구한다.

부유체식 바다낚시터의 구조부는 유한요소법을 이용하여 정식화하고, 가상일의 원리로부터 운동방정식을 유도한다(11). 구조부의 각 유한요소는 횡변형이 일어나는 장방형 평판요소로 간주한다.

요소 절점 변위 벡터 $\{\nu\}e$ 를 이용하여, 부유체 구조물의 횡 변위를 나타내면

$$V = N_\omega \{\nu\}e, \quad N_\omega = \text{형상함수} \quad (12)$$

$$\{\nu\}e = [\alpha_1 \theta_{x1} \theta_{y1} \dots \alpha_n \theta_{x1} \theta_{y1}]^T$$

일반적인 평판의 횡진동에 이용하는 유한요소법이므로 상세한 정리는 생략한다.5)

유한요소법을 횡 진동을 일으키는 평판에 적용하고, 가상일의 원리로부터 운동방정식을 유도하면, 최종적으로 다음과 같은 방정식이 얻어진다.

$$[K]\nu + [M]\nu = \{f\} \quad (12)$$

여기서, $[K]$ 는 부유체 구조물의 강성 매트릭스, $[M]$ 은 부유체 구조물의 질량 매트릭스, ν 는 변위벡터, $\{f\}$ 는 외력 벡터

3. 해석결과와 고찰

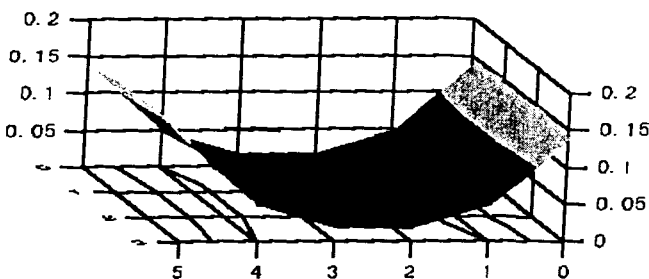
Table1에 나타낸 모델을 대상으로 파랑중의 동적 응답을 해석하여, 본 해석방법의 유효성을 검토한다. 또한, 부유체식 바다낚시터 구조물의 파랑에 대한 응답특성을 파악하기 위하여, 각종 영향인자, 즉 파장, 수심, 입사하는 파의 방향 등이 응답에 미치는 영향에 대하여 검토한다. 해석모델을 Fig.1과 같이 사각형 유한요소로 분할하여 계산을 하였다.

Table 1 : Dimensions of the barge structure model for analysis

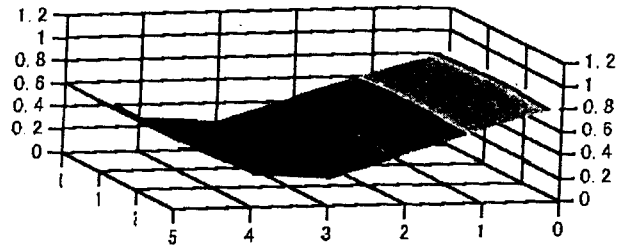
Dimension	Model
Length (L)	500 (m)
Breadth (B)	150 (m)
Flexural Rigidity (EI)	2.0500E+05 (N/m ²)
Density of Sea Water (ρ_f)	1.025E+03 kg/m ³)
Gravity Acceleration (g)	9.81 (m/s ²)
Poisson's Ratio (ν)	0.300
Thickness of Plate (t)	1.00(m)
Density of Plate (ρ_b)	7.8600(kg/m ³)

3.1 파장과 응답과의 관계

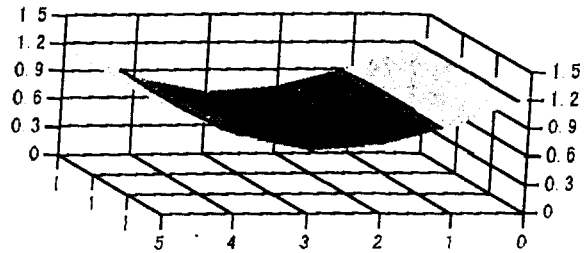
입사하는 파의 길이가 응답에 미치는 영향을 파악하기 위해 부유체 길이와 파장의 비($L/\lambda = 2.5, 1.0, 2.0$ (m)로 바꾸어가며 계산을 하였다. 해석 결과를 보면 $L/\lambda = 1.0$ 을 경계로 응답의 상태가 변화한다. 그 경계보다 좌측, 즉 입사파의 파장이 긴 경우에는 파와 같은 응답이 나타나고, 파의 투과측에서도 응답진폭이 크게 나타난다. 역으로 우측에서는 투과측의 응답은 작게 나타난다. 해석 결과는 Fig. 2에 나타낸다.



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



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



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

Fig. 2 : Change of response by wave length

3.2 수심과 응답과의 관계

수심이 응답에 미치는 영향을 조사하기 위하여 수심/파장의 비 $h/\lambda = 0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0$ 으로 변화시켜서 계산을 하였다. 해석 결과 수심의 변화에 따른 응답의 차이는 작다고 할 수 있다.

3.3 입사하는 파의 방향과 응답과의 관계

입사하는 파의 방향이 변하면 부유체식 바다낚시터의 응답특성이 어떻게 변화하는가를 파악하기 위하여 $h/\lambda = 2.5$ 의 파를 0, 30, 60, 90도의 각도로부터 입사시켜, 파의 방향에 따른 응답의 특성을 비교 검토한다.

입사하는 파의 방향 변화에 따른 응답의 특성을 Fig. 3에 나타낸다. 입사하는 파의 방향이 변하면 부유체에 비틀림이 발생하고, 응답상태는 파 방향에 따라 다양하게 변한다.

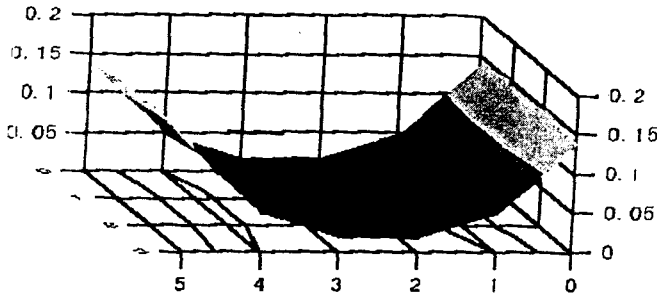
또한, 응답진폭이 최대가 되는 장소가 파의 방향에 따라 변함을 알 수 있다. 입사파의 방향이 부유체의 길이 방향과 다른 경우, 최대 응답이 반드시 입사측

에만 나타나는 것이 아니다.

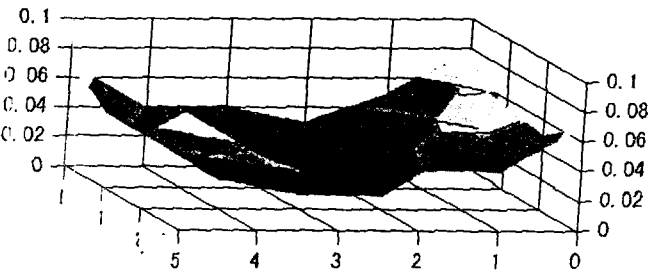
4. 결론

본 연구에서는 해양관광 산업의 활성화에 기여하고 어민들의 소득증대에 필요한 부유체식 바다낚시터의 개발을 목표로 하여 해상에 설치된 부유체식 바다낚시터가 규칙 파를 받을 경우의 동적 응답의 해석, 응답특성의 파악, 응답에 영향을 주는 각종 인자에 대하여 검토하였다. 또한 입사파의 길이, 낚시터 구조물의 강성, 수심, 입사하는 파의 방향 등 응답 특성에 영향을 주는 각종 인자들에 대하여 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

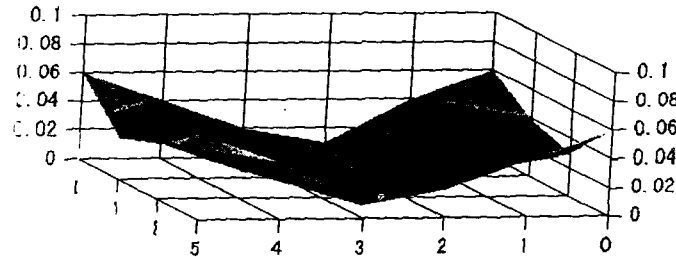
- (1) 유한요소법(FEM) 프로그램을 개발하여 부유체식 바다낚시터 구조물의 구조 부분의 해석이 가능하였다.
- (2) 부유체식 바다낚시터 주위의 유체 부분을 해석하기 위하여 경계요소법 프로그램을 개발하였다.
- (3) 구조부분 해석을 위한 유한요소법 프로그램과 유체 부분 해석을 위한 경계요소법 프로그램을 통합한 시스템으로 파랑에 대한 동적 응답 특성의 해석이 가능하였다.
- (4) 파장이 응답에 미치는 영향을 조사하기 위하여 부유체의 길이/파장의 비 (L/λ)를 변화시켜서 계산한 결과, L/λ 가 작은 경우에는 파와 같은 응답이 나타나며, 투과측에서도 응답진폭이 크게 나타난다. 또한 L/λ 가 크게 되면 탄성적인 영향이 지배적으로 나타남을 알 수 있었다.
- (5) 수심에 의하여 응답특성이 어떻게 변화하는가를 파악하기 위하여, 수심과 파장의 비(h/λ)를 변화시켜서 계산한 결과, 수심의 변화에 따른 응답의 변화는 적다는 것을 알 수 있었다.
- (6) 부유체에 대하여 파의 입사방향이 변하면 부유체에는 비틀림이 발생하고, 응답특성은 입사하는 파의 방향에 따라 다양하게 변한다. 또한 응답진폭의 최대점이 입사파의 방향에 따라 변함을 알 수 있었다.



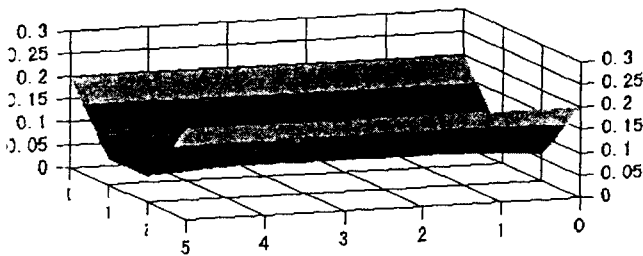
(a) : Wave Direction 0°



(b) : Wave Direction 30°



(c) : Wave Direction 60°



(d) : Wave Direction 90°

Fig. 3 : Change of response by wave directions

◆ 참고 문헌 ◆

- (1) 김성귀, 홍장원, 박상우 : 어촌관광 유형별 개발 방안 연구, 한국해양수산개발원, 2001년도 연구 보고서
- (2) 박성현, 박석주 : 大型 浮游海洋構造物의 波浪中 應答의 低減解析에 관한 研究 (第1報), 한국항해학회지, 제24권, 제1호, pp85~96.
- (3) 박성현, 박석주 : Mega-Float의 동적 응답해석에 관한 연구, 한국소음진동공학회 2001년도 춘계학술대회 논문집, pp161~165.
- (4) 박성현, 박석주 : Mega-Float의 동적 특성해석, 한국항해학회 2001년 춘계학술대회 논문집, pp66~70.
- (5) Park Sung Hyeon, Park Sok Chu : Wave Response Analysis and Future Direction of Mega-Float, KIN-CIN Joint Symposium 2001, pp153~168.
- (6) 박성현, 박석주, 고재용 : 부유체식 Container Yard에 관한 연구, 한국항해항만학회지 제27권 제1호, pp49~54.
- (7) 平山次清, 馬 寧, 西尾フラビオ治 : 長壽命型浮式海上空港の波浪中應答特性, 日本造船學會論文集, 第178 , 1995, pp225~236.
- (8) 矢後清和, 大松重雄, 遠藤久芳 : 淺吃水箱形浮の波浪中彈性應答について, 日本造船學會論文集, 第182 , 1997, pp307~2317.
- (9) 永田修一, 吉田尙史, 一色浩, 大川豊 : 超大型彈性平板浮 の波浪中舉動解析, 日本造船學會論文集, 第182 , pp285~294, 1997.
- (10) C. J.Garrison : Hydrodynamic Loading of Large Offshore Structures : Three-Dimensional Source Distribution Methods, Numerical Methods in Offshore Engineering, Chapter 3, 1978, pp87~111.
- (11) Maurice Petyt : Introduction to Finite Element Vibration Analysis, Cambridge University Press, 1990, pp141~293.